

UFR Sciences
2 Bd Lavoisier
49045 ANGERS Cedex 01

AGROCAMPUS OUEST
65 rue de St Brieuc, CS84 215, BP
35042 – RENNES Cedex
Université de Rennes I
1, 2 rue du Thabor, CS 46510 –
35065 RENNES Cedex

C.D.D.M.
6 rue de la Flamme
Olympique
Z.A. de Vias
44860 PONT St
MARTIN

Master 2 Sciences Technologie Santé
Mention Biologie et Technologie du Végétal
Spécialité : Production et Technologie du Végétal (ProTeV)

Parcours : I Productions Végétales Spécialisées / Options : IA Produits phytosanitaires, règlementations, méthodes alternatives

Année universitaire 2014-2015

Gestion de la conduite climatique dans la lutte contre *Didymella bryoniae* en culture printanière et estivale de concombres sur substrats sous serre verre chauffée

Par : Emeline TIGNON



Maître de stage : Emilie MEUNIER
Tuteur enseignant : Bruno JALOUX

Soutenu à Angers le 14 septembre 2015
© F. M. Blanco

AUTORIATION DE DIFFUSION EN LIGNE

Par l'ETUDIANTE

N°étudiant : 20101525

Email : emline.tignon@etud.univ-angers.fr

Je soussignée **Emeline TIGNON** être l'auteur du document intitulé

Gestion de la conduite climatique dans la lutte contre *Didymella bryoniae* en cultures printanière et estivale de concombres sur substrats sous serre en verre chauffée

Préparé sous la direction de **Mme Meunier**

et soutenu le **14 septembre 2015**

Je certifie la conformité de la version électronique déposée avec l'exemplaire imprimé remis au jury, certifie que les documents non libres de droits figurant dans mon mémoire seront signalés par mes soins et pourront être retirés de la version qui sera diffusée en ligne par le Service Commun de la Documentation de l'Université d'Angers. Agissant en l'absence de toute contrainte, et sachant que je dispose à tout moment d'un droit de retrait de mes travaux, j'autorise, sans limitation de temps, l'Université d'Angers à les diffuser sur internet dans les conditions suivantes:

- diffusion immédiate du document en texte intégral
- diffusion différée du document en texte intégral ; date de mise en ligne :
- n'autorise pas sa diffusion dans le cadre du protocole de l'Université d'Angers

À Angers, le ----- Signature:

- autorise a diffusion immédiate du document en texte intégral
- autorise la diffusion différée du document en texte intégral ; à compter du :
- en libre accès *OU* en accès restreint
- sous réserve de corrections

OU

- n'autorise pas sa diffusion dans le cadre du protocole de l'Université d'Angers

À Angers, le

Signatures :

Nom et signature du maître de stage:

Nom et signature du président de jury:

Engagement de non plagiat

M2 ProTeV

2014 - 2015

Je soussignée: **Emeline TIGNON**

Déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour ce rapport, rédigé au cours de mon master 2 ProTeV.

Je m'engage également à respecter les consignes données pour la rédaction de ce rapport.

A: Pont St Martin

Le: 31/08/2015



Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce rapport.

Je tiens à remercier vivement mon maître de stage Mme Emilie Meunier, conseillère des cultures légumière sous serres verres chauffées au sein du C.D.D.M., pour le temps passé ensemble et le partage de son expérience et de ces conseils. Grâce à ces encouragements et sa confiance, j'ai pu accomplir mes missions. Son aide a été précieuse dans les moments délicats.

Merci à Mme Brigitte Pelletier, directrice du C.D.D.M. et de l'A.R.E.L.P.A.L., pour son aide et ses remarques sur la réalisation de ce rapport.

Merci aux équipes du C.D.D.M. et de la Fédération des Maraîchers Nantais, qui m'ont accueillie et conseillée, en particulier Mme Amélie Boisrobert, dont l'enthousiasme communicatif m'a accompagné tout au long de ce stage.

Je remercie mes enseignants, surtout mon professeur tuteur, M. Jaloux, enseignant anthropologue à Agrocampus Ouest, qui m'a aidé à comprendre les attentes du jury et Mme Travier, responsable du Mater ProTeV, qui nous a accompagnés tout au long de cette année.

Je tiens à remercier tous les membres du jury qui évalueront ce travail.

Table des matières

Glossaire	
Liste des abréviations	
Liste des annexes.....	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
1. Introduction	1
2. Matériel et Méthode	3
2.1. Le matériel végétal : <i>Cucumis sativus</i>	3
2.2. <i>Didymella bryoniae</i> : un problème sanitaire majeur en culture de concombre.....	4
2.2.1. Les symptômes provoqués par <i>D. bryoniae</i>	4
2.2.2. La biologie de <i>D. bryoniae</i>	4
2.2.3. Les méthodes de luttes actuelles	5
2.3. La gestion de l'humidité sous serre.....	6
2.3.1. Le phénomène de condensation	6
2.3.2. Les paramètres climatiques	6
2.3.3. Des moyens de gestions de l'humidité	7
2.3.3.1. Le chauffage	7
2.3.3.2. Le palissage	7
2.4. Les expérimentations.....	8
2.4.1. Les essais	8
2.4.2. Le site expérimental	8
2.4.3. Le matériel de mesures.....	9
2.4.4. Les notations	10
2.4.4.1. Le comptage de <i>D. bryoniae</i> sur collets	10

2.4.4.2. Les comptages sur fruits.....	10
2.4.5. L'analyse du climat	11
2.5. Les analyses statistiques.....	11
3. Résultats	13
3.1. Impact de <i>D. bryoniae</i> sur le rendement	13
3.1.1. Essai positionnement forcas	13
3.1.1.1. 1ère culture	13
3.1.1.2. 2ème culture	13
3.1.2. Essai palissages	14
3.1.2.1. 1ère culture.....	14
3.1.2.2. 2ème culture	15
3.2. Impact du climat sur <i>D. bryoniae</i>	16
3.2.1. Essai positionnement forcas	16
3.2.1.1. 1ère culture	16
3.2.1.2. 2ème culture	17
3.2.2. Essai palissages	19
3.2.2.1. 1ère culture	19
3.2.2.2. 2ème culture	19
4. Discussion	22
4.1. Impact de <i>D. bryoniae</i> sur le rendement	22
4.2. Impact du climat sur <i>D. bryoniae</i>	24
5. Conclusion.....	26
Références bibliographiques	27
Annexe	

Glossaires

Conduite climatique : toute stratégie choisie par le producteur qui a un impact sur le climat de la serre (par exemple : la stratégie de chauffage, la conduite culturelle, la variété utilisée, ...)

Collet : base de la tige

Epicarpe : partie externe du péricarpe

Fil de culture : fil disposé en hauteur, au-dessus du rang de culture, qui permet de tuteurer la plante

Forcas : tuyaux de chauffage placés dans la végétation pour activer/chauffer les plantes

Ouvrants : fenêtres disposées sur le toit des serres en verre et qui permettent leur aération

Palissage : technique de culture qui consiste à tuteurer la plante à un fil de culture

Parthénocarpie : formation du fruit sans fécondation de l'ovule

Péricarpe : enveloppe extérieur du fruit ou de la graine

Thermosiphon : réseau de tuyau de chauffage

Liste des abréviations

ARELPAL : association régionale d'expérimentation légumière des Pays de la Loire

CAB : coordination agro biologique

CDDL : comité départemental de développement légumier à Pont Saint Martin

CDDM : comité départemental de développement maraîcher

CTIFL : centre technique interprofessionnel de fruits et légumes

DH : déficit hydrique

EC : électroconductivité

GDM : groupement développement maraîcher

HR : humidité relative

pH : potentiel hydrogène

Liste des annexes

- Annexe A1 : Tableau des caractéristiques des deux variétés de concombre utilisé pour les essais.....
- Annexe B1 : Section transversale d'un fruit atteint de pourriture noire
- Annexe B2 : Section transversal d'un fruit atteint de pourriture noire, détail de l'annexe B1.....
- Annexe C1 : Pycnide de *D. bryoniae* éclaté laissant échapper des conidies.....
- Annexe C2 : Coupe transversale d'un périthèce de *D. bryoniae* contenant des ascospores.....
- Annexe C3 : Conidies de *D. bryoniae*.....
- Annexe C4 : Ascospores de *D. bryoniae*
- Annexe D1 : Formule du calcul de la température au point de rosé
- Annexe D2 : Formule du calcul du DH.....
- Annexe E1 : Tableau des avantages et inconvénients des palissages en V et sur fil haut
- Annexe F1 : Résumé des tests statistiques des annexes F2 et F3
- Annexe F2 : Poids moyen des fruits commercialisables, des fruits n. i. et des fruits infectés de la première culture dans les trois modalités de l'essai positionnement forcas
- Annexe F3 : Proportion de la répartition du nombre de fruits infectés en fonction de la catégorie de poids lors de la première culture sur l'essai positionnement forcas
- Annexe G1 : Résumé des tests statistiques des annexes G2 et G3
- Annexe G2 : Poids moyen des fruits commercialisables, des fruits n. i. et des fruits infectés de la deuxième culture dans les trois modalités de l'essai positionnement forcas
- Annexe G3 : Proportion de la répartition du nombre de fruits infectés en fonction de la catégorie de poids lors de la deuxième culture sur l'essai positionnement forcas
- Annexe H1 : Résumé des tests statistiques de l'annexe H2
- Annexe H2 : Proportion de la répartition du nombre de fruits infectés en fonction de la catégorie de poids lors de la première culture sur l'essai palissages
- Annexe I1 : Résumé des tests statistiques des annexes I2 et I3
- Annexe I2 : Poids moyen des fruits commercialisables, des fruits n. i. et des fruits infectés de la deuxième culture dans les trois modalités de l'essai palissages.....

Annexe I3 : Proportion de la répartition du nombre de fruits infectés en fonction de la catégorie de poids lors de la deuxième culture sur l'essai palissages

Annexe J1 : Fréquence de collets infectés par rangs en semaine après plantation en seconde culture de l'essai palissages

Liste des figures

- Figure 1 : Production européenne de concombre en 2013, par pays
- Figure 2 : Schéma de *Cucurbita sativus*
- Figure 3 : Symptômes de chancre gommeux sur tige de concombre
- Figure 4 : Symptôme de *D. bryoniae* sur feuille de concombre
- Figure 5a : Concombre atteint de pourriture noire, présentant un amincissement du calice
- Figure 5b : Coupe longitudinale d'un concombre atteint de pourriture noire, avec l'extrémité présentant les symptômes de *D. bryoniae*
- Figure 5c : Coupe longitudinale du calice d'un concombre atteint de pourriture noire
- Figure 6 : Diagramme psychrométrique de Carrier ou diagramme de l'air humide
- Figure 7 : Influences des facteurs climatiques extérieurs sur le climat de serre
- Figure 8 : Positionnement actuelle du forcas dans une culture de concombre en palissage en V
- Figure 9 : Relocalisation du forcas en culture de concombre en palissage en V
- Figure 10 : Système de palissage en V, vue de profil
- Figure 11 : Système de palissage en fil haut, vue de profil
- Figure 12a : Vue aérienne du site expérimental
- Figure 12b : Schéma des deux serres et des différents compartiments
- Figure 13 : Représentation de la répartition des différentes sondes dans les compartiments des deux serres d'expérimentation
- Figure 14 : Représentation des demi-rangs désignés en serre 3 pour chaque notation de l'essai positionnement forcas
- Figure 15 : Représentation des demi-rangs désignés en serre 2 et 3 pour chaque notation de l'essai palissages
- Figure 16 : Moyennes hebdomadaires du nombre de fruits commercialisables, du nombre de fruits n. i. et du nombre de fruits infectés sur les trois modalités de l'essai positionnement forcas lors de la première culture
- Figure 18 : Moyennes hebdomadaires du nombre de fruits commercialisables, du nombre de fruits n. i. et du nombre de fruits infectés sur les deux modalités de l'essai palissages lors de la première culture

- Figure 19 : Moyennes hebdomadaires du nombre de fruits commercialisables, du nombre de fruits n. i. et du nombre de fruits infectés sur les deux modalités de l'essai palissages lors de la seconde culture
- Figure 20 : Fréquence des collets infectés par *D. bryoniae* par rang sur la première culture de l'essai positionnement forcas
- Figure 21 : Moyennes hebdomadaires de DH de la semaine 14 à 20, des trois modalités de l'essai positionnement forcas
- Figure 22 : Caractéristiques climatiques de la serre 3 sur la journée du 1 mai
- Figure 23 : Fréquence des collets infectés par rang sur la deuxième culture en fonction des modalités de l'essai positionnement forcas
- Figure 24 : Nombre de fruits atteints sur deux récoltes hebdomadaires lors de la deuxième culture en fonction des modalités l'essai positionnement forcas
- Figure 25 : Moyennes journalières du DH des différentes modalités de l'essai positionnent forcas lors de la seconde culture
- Figure 26 : Caractéristiques climatiques de la serre 3 sur les journées du 26 juillet et du 2 aout
- Figure 27 : Caractéristiques climatiques de la serre 3 et de la serre 2 sur la journée du 1 mai....
- Figure 28 : Fréquence des collets infectés par rang sur la deuxième culture en fonction des modalités de l'essai palissages
- Figure 29 : Nombre de fruits infectés par demi-rangs sur deux récoltes hebdomadaires sur la deuxième culture en fonction des modalités de l'essai palissages
- Figure 30 : Moyennes journalières de DH des serres 2 et 3, des semaines 27 à 32
- Figure 31 : Caractéristiques climatiques de la serre 2 sur les journées du 26 juillet et du 2 août

Liste des tableaux

Tableau I : Caractéristiques des deux serres et des deux cultures de concombres dans le cadre des essais relocalisation forcas et palissages.....
Tableau II : Résumé des tests statistiques des figures 16 et 17.....
Tableau III : Résumé des tests statistiques de la figure 18 et du tableau IV
Tableau IV : Poids moyens des fruits commercialisables, des fruits n. i. et des fruits infectés lors de la première culture sur l'essai palissages.....
Tableau V : Résumé des tests statistiques des figures 20 et 21.....
Tableau VI : Résumé des tests statistiques des figures 20 et 21
Tableau VII : Résumé des tests statistiques des figures 23 et 24.....
Tableau VIII : Résumé des tests statistiques de la figure 25.....
Tableau IX : Résumé des tests statistiques des figures 28 et 29
Tableau X : Résumé des tests statistiques de la figure 30.....

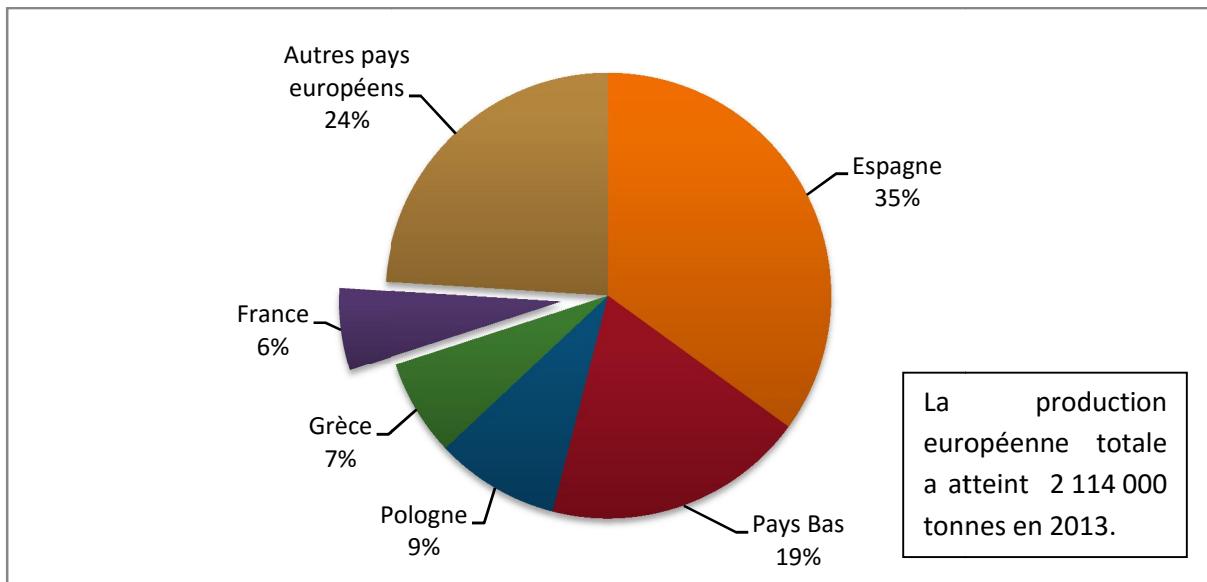


Figure 1 : Production européenne de concombre en 2013, par pays (Source : Agreste, 2014)

1. Introduction

La région nantaise est un important bassin français de production de légumes, tels que la tomate et le concombre cultivés sous serre (Arnoux, 2014). La forte concurrence des autres pays d'Europe, notamment de l'Espagne et des Pays-Bas(Figure1), incite les producteurs français à améliorer en permanence leur conduite culturelle afin d'augmenter leurs performances économiques et rester compétitif (Albert *et al.*, 2014).

Dans le maraîchage nantais, la production sous serre verre chauffée est en constante évolution. Les technologies utilisées sont de plus en plus précises et complexes, et de nouveaux outils sont développés, notamment ceux utilisés pour la gestion du climat sous serres (types de serres, logiciels climatiques,...). Ces équipements permettent de maîtriser plus finement le climat sous serres et ainsi de tendre vers une productivité optimale de la culture. La recherche du rendement maximum est freinée par les problèmes sanitaires qui restent la principale cause de perte de rendements en production sous serres (Jewett et Jarvis, 2001).

Pour parvenir à une productivité maximale, les maraîchers nantais s'appuient sur le Comité Départementale de Développement Maraîcher (C.D.D.M.). Cette structure leur apporte un conseil technique et s'investit dans des démarches d'innovation en production légumière en participant à des programmes de recherches et d'expérimentations régionaux et nationaux. Ce comité est aussi un membre de l'Association Régionale d'Expérimentation Légumière des Pays de la Loire (A.R.E.L.P.A.L.) qui recense et coordonne les projets d'expérimentation dans la région Pays de la Loire (Pelletier, communication personnelle).

Dans ce contexte, le C.D.D.M. ainsi que l'A.R.E.P.A.L. participent au projet régional CONSER. Il a débuté en 2014 pour une période de trois ans. Ce programme a pour vocation d'acquérir des références physiologiques et techniques ainsi que d'élaborer une stratégie visant à optimiser la gestion du climat en culture de concombre sous serres verre. Ce projet est réalisé dans le but d'améliorer la productivité tout en limitant le risque sanitaire et plus particulièrement fongique. En effet, le champignon *Didymella bryoniae* est l'un des pathogènes les plus préjudiciables sur la productivité des cultures de concombres sous serres verre chauffées (Albert *et al.*, 2014). La première année du projet CONSER a permis de recueillir des références physiologiques sur le concombre. Elle a également permis de mettre en évidence des leviers pour lutter contre *D. bryoniae*, grâce à une analyse des pratiques culturelles et des gestions climatiques des producteurs nantais.

L'humidité est un facteur prépondérant dans le développement de *D. bryoniae* (Van Steekelenburg, 1985). La maîtrise de l'humidité des serres et de la condensation sur les plantes se sont avérés être des leviers majeurs dans la gestion de ce pathogène de limiter le développement de *D. bryoniae*, ce qui est en accord les travaux de Camben *et al.*, en 2003.

L'objectif de cette étude, réalisée en 2015, est d'évaluer l'impact de la conduite climatique et culturelle sur la gestion du pathogène *D. bryoniae* et son impact sur la productivité en système de production de concombres hors-sol sous serres verre chauffées.

Dans un premier temps, l'impact de *D. bryoniae*, en fonction de ces différentes stratégies, sur le rendement sera quantifié et analysé. Dans un second temps, l'impact de la conduite climatique sur *D. bryoniae* sera étudié au travers de deux stratégies différentes.

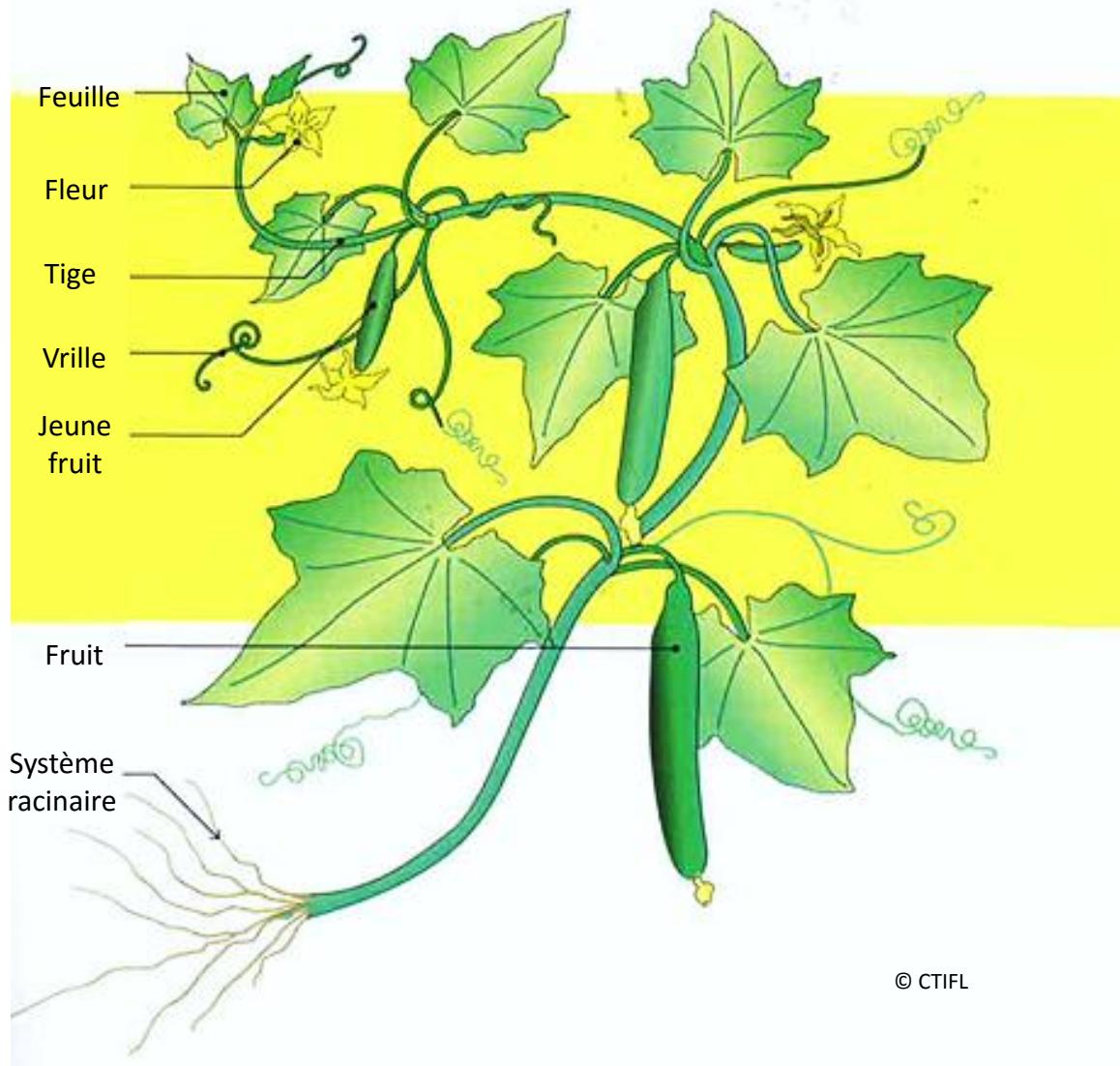


Figure 2 : Schéma de *Cucunis sativus*(Source : Brajeul *et al*, 2001)

2. Matériel et Méthode

2.1. Le matériel végétal : *Cucumis sativus*

Cucumis sativus L. appartient à la famille des cucurbitacées. Il est cultivé sous deux formes. La première forme produit des petits fruits à épicarpe verruqueux qui sont récoltés jeunes appelés cornichons. La seconde forme produit des longs fruits plus imposants à épicarpe lisse ou épineux appelés concombre.

Cette plante est une herbacée annuelle monoïque. Elle possède une tige rampante munie de vrilles qui lui permettent de se fixer à un support. *C. sativus* produit des feuilles simples, palmatilobées et le plus souvent poilues. Son système racinaire est dense et plutôt superficiel suivant le substrat (Figure 2) (Brajeul *et al.*, 2001).

C. sativus possède des petites fleurs jaunes pentamères et sexuées. Le fruit est produit par parthénocarpie et il est composé à 96% d'eau (Brajeul *et al.*, 2001), le reste étant principalement des glucides (2%). Le fruit est récolté avant sa maturité physiologique, une dizaine de jours après la floraison en été (CFPPA, 2015).

C. sativus a une croissance maximale en substrat légèrement acide (pH compris entre 5,5 et 7) (CFPPA, 2015). Le DH (déficit hydrique) optimal pour sa culture est compris entre 3 et 7g/kg d'air (Brajeul *et al.*, 2001). Les températures optimales de croissances de *C. sativus* étaient de 21°C de moyenne le jour et de 18°C de moyenne la nuit (Brajeul *et al.*, 2001). Ces températures sont celles utilisées comme consigne dans les essais de cette étude.

Sur une année, deux à trois cultures de concombres peuvent se succéder. Ce système permet de limiter les risques sanitaires en renouvelant les plantes (Brajeul *et al.*, 2001).

Les variabilités entre les différents cultivars peuvent provenir de la forme des fruits, et des différentes tolérances ou résistances aux bioagresseurs et aux conditions climatiques (Brajeul *et al.*, 2001). Deux variétés ont été utilisées dans ces essais, possédant des caractéristiques différentes (Annexe A1).

La variété Proloog HF1 (RijkZwaan) a été utilisée lors de la première culture. Elle est fréquemment employée dans le bassin de production nantais ce qui permet de disposer de références sur son utilisation. Elle possède une tolérance au mildiou (*Pseudo peronosporacubensis*) et à l'oïdium (*Erysiphe cichoracearum*) ainsi qu'une résistance à la cladosporiose (*Podosphaeria Xanthii*) (Blancard *et al.*, 1991 ; Rijk Zwaan, 2015)

La variété Marbon (RijkZwaan) est une nouvelle variété de concombre en culture hors sol. C'est une variété utilisée en période estivale, en 2^{ème} ou 3^{ème} culture de concombre (Harrault, communication personnelle). Elle présente une tolérance à l'oïdium (*E. cichoracearum*) (Blancard *et al.*, 1991 ; Albert, 2014b).



Figure 3 : Symptômes de chancre gommeux sur tige de concombre



Figure 4 : Symptôme de *D. bryoniae* sur feuille de concombre (Source : Aerts, 2014)

2.2. *Didymella bryoniae* : un problème sanitaire majeur en culture de concombre

D. bryoniae (Fuckel) Rehm (1881) est un pathogène majeur en culture de concombre. Il provoque la maladie du chancre gommeux sur tige et la maladie de la pourriture noire des fruits de cucurbitacées (Dik, *et al.*, 2015). Sur une culture de concombre, il peut causer des pertes de rendement allant de 5 à 7 pièces/m²/an (Meunier, communication personnelle). En cas de symptômes avancés, il peut engendrer la mort de la plante. Les fruits atteints par la pourriture noire ne sont pas commercialisables (Dik, *et al.*, 2015).

2.2.1. Les symptômes provoqués par *D. bryoniae*

D. bryoniae provoque des symptômes sur tiges, feuilles et fruits. Les symptômes à la base des tiges sont des lésions brunes avec des petits points noirs (pycnides) (Figure 3) au niveau des blessures (plaies de tailles, attaches des cotylédons, tissus sénescents...). Ces lésions peuvent se fissurer et une sève gommeuse ambrée peut gouter. Si les symptômes se développent autour de la tige, la nécrose touche les vaisseaux, la plante va alors flétrir puis mourir (Carrier, 2008).

Les symptômes sur feuilles apparaissent à l'extrémité de celle-ci, sous forme de nécroses jaunes brunes. La nécrose se propage dans le reste de la feuille sous la forme d'un V. Comme pour les tiges, les pycnides noires sont visibles (Figure 4) (Carrier, 2008).

Une infection précoce sur jeunes fruits peut entraîner leur avortement. Les symptômes sur fruits sont les plus dommageables en production de concombre. Ils sont peu visibles à l'extérieur du fruit (Figure 5a). Cela se traduit par un amincissement et un assombrissement du calice (extrémité du concombre) dû au développement d'une pourriture noire à l'intérieur du concombre (Figures 5b et 5c). À un stade avancé de la pourriture, le calice prend une couleur noire due à la prolifération des organes de fructification du champignon. Des taches jaunes puis brunes ou grises apparaissent sur le fruit. Ces taches sont molles et humides, et des gouttes d'exsudats gommeux sont visibles au centre. Les symptômes avancés apparaissent souvent lors du stockage (Carrier, 2008).

2.2.2. La biologie de *D. bryoniae*

D. bryoniae est un ascomycète nécrotrophe. Il a pour hôte les plantes de la famille des cucurbitacées. Ce pathogène est très répandu dans la culture des cucurbitacées en serre chauffée en Europe, notamment en France (Blancard *et al.*, 1991).

Ce champignon peut survivre dans le sol, les serres et les débris végétaux non décomposés pendant une année (Aerts, 2014). Les principales sources d'inoculum sont les périthèces qui sont présents sur les tissus sénescents.

Les plantes affaiblies sont particulièrement vulnérables à *D. bryoniae*. Les blessures et les tissus morts sont la voie d'infection privilégiée, comme par exemple les blessures dues à la taille des plantes (Van Steekelenburg, 1985).



© TignonE.

Figure 5a : Concombre atteint de pourriture noire, présentant un amincissement du calice



© TignonE.

Figure 5b : Coupe longitudinale d'un concombre atteint de pourriture noire, avec l'extrémité présentant les symptômes de *D. bryoniae*



© Tignon E.

Figure 5c : Coupe longitudinale du calice d'un concombre atteint de pourriture noire

L'infection des tissus vivants peut également se produire si ceux-ci sont recouverts d'eau libre pendant au moins une heure (Arny and Rowe, 1991). Le champignon va pénétrer dans les cellules à travers la cuticule. Le mycélium est d'abord intercellulaire avant de pénétrer les cellules. Il va alors sécréter des enzymes de macération (Blancard et Mayet, 2014). Ces enzymes vont détruire les cellules et permettre au champignon nécrotrophe de se nourrir (De Neergaard, 1989). Les symptômes apparaissent au moins trois jours après infection (Blancard et Mayet, 2014).

L'infection du fruit se fait via une blessure externe (Van Steekelenburg, 1986), soit via la fleur, par le stigmate et le style. L'infection est lente, il faut deux jours pour que le champignon atteigne le fruit. Il suit la même voie que tube pollinique. Le champignon s'installe dans les tissus du gynosporange (ovule) puis dans les tissus internes du fruit (De Neergaard, 1989).

Dans les plantes en croissance, il y a accumulation de substances phénoliques et de substances granuleuses dans certaines cellules pour restreindre la propagation du champignon (Annexes B1 et B2). Le champignon est encapsulé dans les tissus centraux du fruit. La croissance du fruit est perturbé et le calice est amincit à l'endroit de la pourriture (De Neergaard, 1989).

Sur les tissus nécrosées, *D. bryoniae* forme des structures de dissémination : des pycnides et des périthèces (Annexe C1 et C2). Ils produisent respectivement des conidies (Annexe C3) et des ascospores (Annexe C4). Les spores et les conidies sont produites et expulsées en grande quantité pendant les périodes les plus humides, c'est-à-dire tôt le matin et dans les trois heures qui suivent le coucher de soleil (Diketal., 2015). Les ascospores sont dispersées par le vent au contraire des conidies qui sont transportées par des éclaboussures d'eau ou par les ouvriers (Blancard et Mayet, 2014).

2.2.3. Les méthodes de luttes actuelles

Aucun fongicide curatif n'est homologué contre *D. bryoniae* en France. Il existe des produits à usage préventif comme le Prestop® (VerderaOy) (AMM n°2120177), un produit à base d'un champignon antagoniste est le seul fongicide utilisé comme préventif contre *D. bryoniae* en région nantaise (Ministère de l'agriculture et de l'agroalimentaire, 2015).

Des expérimentations *in vitro* sur la germination des spores de *D. bryoniae* par Fiori *et al.* en 2000 ont montré l'efficacité des huiles essentielles d'*Eucalyptus citriodora* et *Ageratum conyzoides*. L'utilisation d'argile est aussi une piste de recherche pour limiter l'infection de *D. bryoniae* en serre grâce à son pouvoir asséchant (Lamb *et al.*, 2002).

Actuellement, il n'existe pas de variété résistante, ni de gènes de résistance connus (Diketal., 2015). Certaines variétés sont plus tolérantes grâce à des caractères morphologiques qui limitent l'infection du fruit par *D. bryoniae* comme une petite taille des fleurs, un long style ou une période de floraison courte (Van Steekelenburg, 1986).

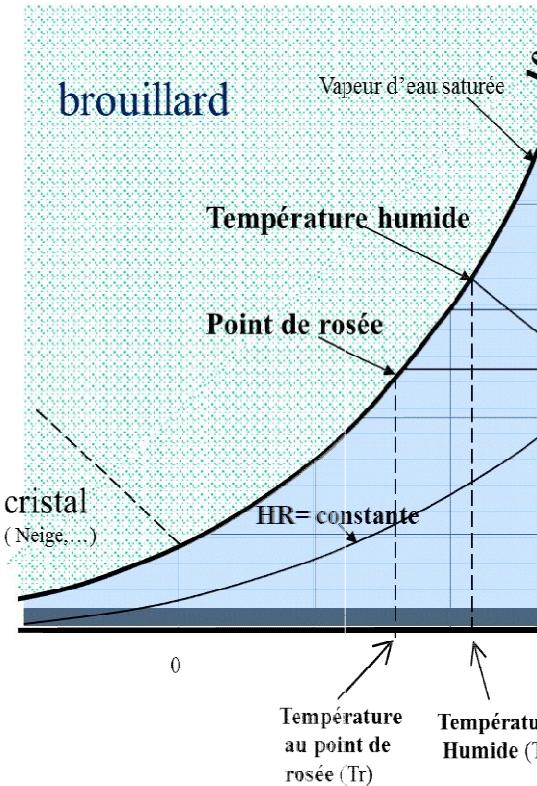


Figure 6 : Diagramme psychrométrique de Carrier ou diagramme de l'air humide (Source: Chasseriaux, 2008)

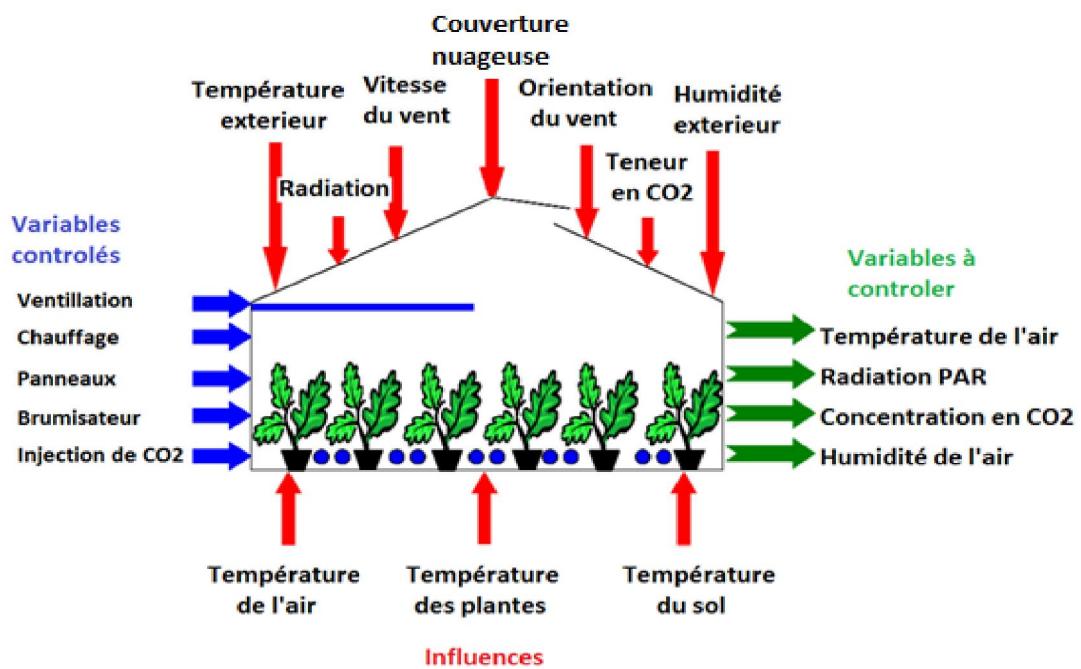


Figure 7 : Influences des facteurs climatiques extérieurs sur le climat de serre (Source : Pawlowski, 2009)

La lutte prophylactique est à ce jour le meilleur moyen de lutte contre ce pathogène. Un système de culture avec 2 ou 3 cultures dans l'année permet de diminuer les impacts de la maladie en assainissant la serre entre les cultures (désinfection des serres) et en introduisant des plantes jeunes et saines au pathogène (Dik *et al.*, 2015).

La gestion du climat est l'un des paramètres les plus importants dans la gestion de ce pathogène. L'humidité est le facteur qui influence le plus le développement du champignon sur tige et sur feuilles. La maladie devient particulièrement dommageable quand la HR (humidité relative) est élevée ($>90\%$) et surtout quand il y a présence d'eau sur les plantes (Blancard *et al.*, 1991). Au contraire des symptômes extérieurs, la pourriture noire des fruits est fortement influencé par la température (Van Steekelenburg, 1980).

2.3. La gestion de l'humidité sous serre

2.3.1. Le phénomène de condensation

Le phénomène de condensation est une transformation physique qui permet la formation d'un liquide à partir d'un gaz. La condensation se forme lorsque la température de l'air (avec une humidité donnée) descend en dessous d'une valeur seuil appelée la température au point de rosée (Annexe D1). Cela correspond à la température à laquelle l'air est saturé en eau (cela correspondant à l'équilibre liquide-vapeur) (Figure 6) (UVED, 2006).

Une surface plus froide que l'air influence la température de l'air. En l'absence de mouvement d'air pour homogénéiser la température, le refroidissement ne se propage que sur une fine couche de l'atmosphère. La température dans cette zone va diminuer et finir par descendre en dessous de la valeur au point de rosée. Il y a alors condensation de la vapeur d'eau dans cette zone sur tous les objets qui s'y trouvent (UVED, 2006).

2.3.2. Les paramètres climatiques

La complexité d'un climat de serre provient de l'effet simultané des différents paramètres les uns sur les autres et de l'influence des paramètres climatiques extérieurs (Figure 7). La gestion de l'humidité sous serre implique de maîtriser un ensemble de paramètres différents mais dépendants les uns aux autres (Pawlowski *et al.*, 2009).

L'hygrométrie sous serre est mesurée grâce à deux unités. L'humidité relative (HR) représente en pourcentage la teneur en eau de l'atmosphère par rapport à sa teneur en eau saturante. Le DH (déficit hydrique) indique la demande en eau de l'atmosphère. Son calcul prend en compte l'humidité de l'air (HR) mais aussi sa température et sa pression (Annexe D2). Le DH est exprimé en gramme d'eau/m³ d'air sec (ou en gramme d'eau/Kg d'air sec). Plus sa valeur est faible, plus la demande en eau de l'atmosphère sera faible (Chasseriaux, 2008).

La température influence le DH de la serre. En effet un air chaud peut contenir plus d'eau sous forme de vapeur qu'un air plus frais (Figure 6) (UVED, 2006).

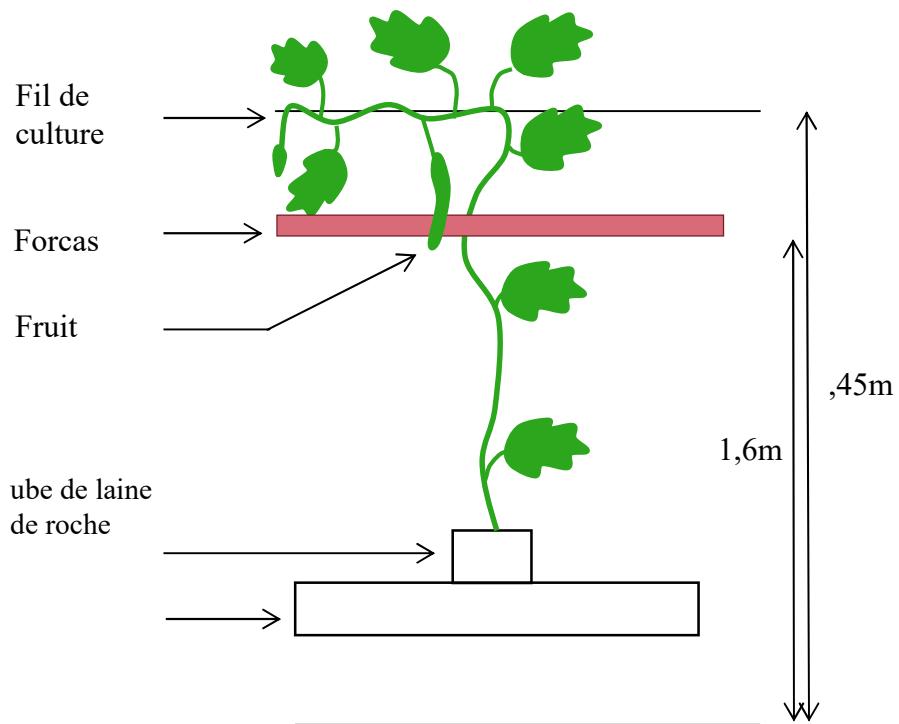


Figure 8 : Positionnement actuelle du forcas dans une culture de concombre en palissage en V (Source : Tignon, 2015)

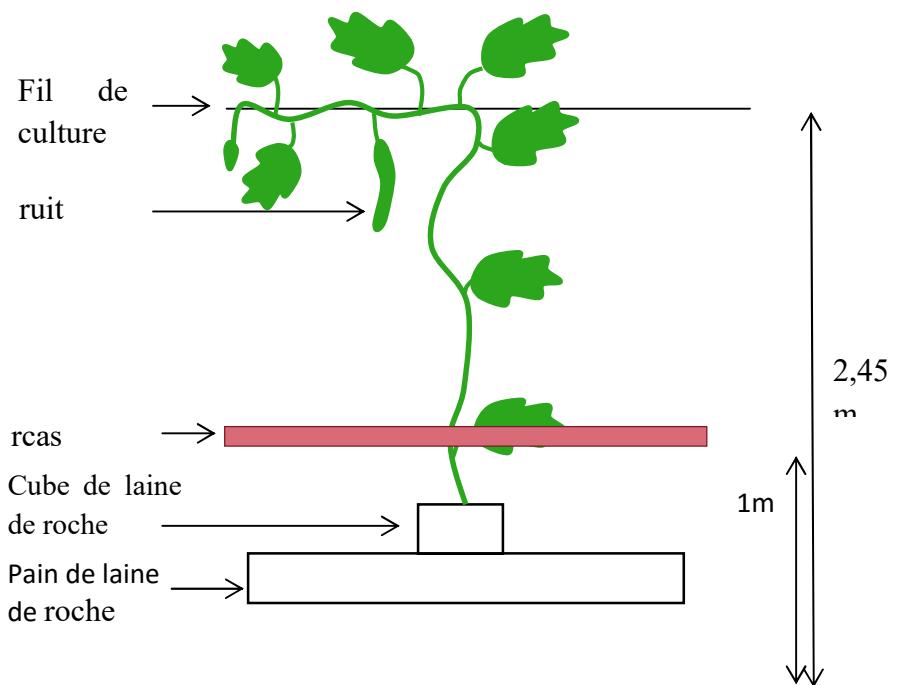


Figure 9 : Relocalisation du forcas en culture de concombre en palissage en V (Source : Tignon, 2015)

La lumière a un rôle indirect sur l'humidité. Une forte radiation lumineuse entraîne une élévation de la température de la serre par effet de serre et donc une augmentation de la capacité de l'air à contenir de l'humidité (Urban et Urban, 2010a).

2.3.3. Des moyens de gestions de l'humidité

2.3.3.1. Le chauffage

Le chauffage en serre est composé de plusieurs réseaux de thermosiphon. Le forcas (ou tuyau de végétation) est un réseau dans lequel l'eau circule à moyenne température ($<50^{\circ}\text{C}$). Il permet d'augmenter la température des plantes par rayonnement (De Werbier, 2009).

En région nantaise, le forcas est majoritairement placé dans la végétation, juste en dessous des fils de culture d'un même rang (Figure 8) (De Webier, 2009). Il est placé de sorte que les feuilles les plus efficaces photosynthétiquement soient réchauffées (Albert, 2014a).

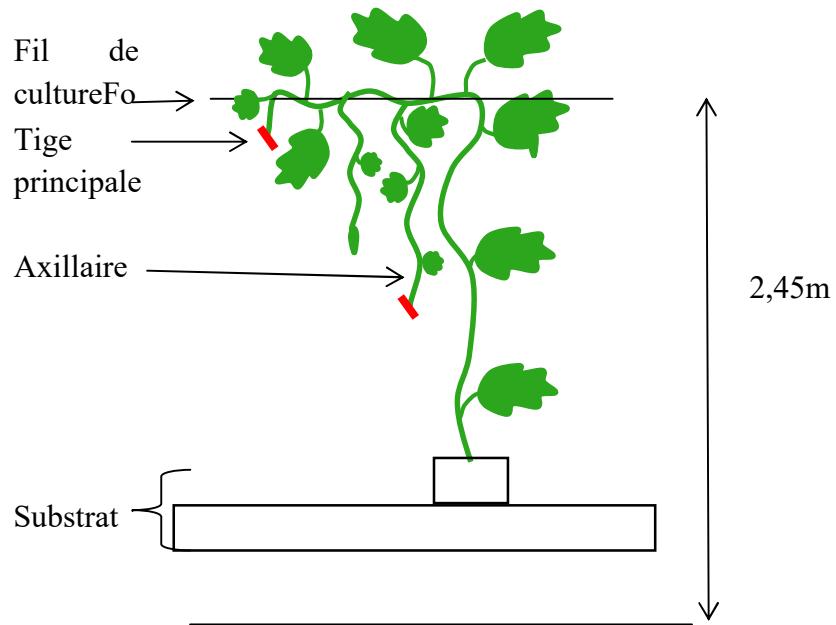
Les expérimentations menées en culture de tomates ont montré que les fruits sont impactés par le rayonnement de façon semblable aux feuilles mais avec une inertie différente du fait qu'il soit en grande partie composé d'eau (Ctifl Centre de Carquefou, 2015). En culture de concombre, l'augmentation de la température, en lien avec l'humidité, est un facteur favorisant le développement de *D. bryoniae*. L'augmentation de la température des fruits peut avoir un effet sur le développement du pathogène dans le fruit (Svedelius et Unestam, 1978). Le forcas, à son positionnement actuel, peut donc avoir un impact sur le développement de la pourriture noire.

Un positionnement du forcas plus proche des collets des plantes (Figure 9) pourrait permettre de limiter l'apparition des symptômes de *D. bryoniae* sur tige, par l'action asséchante du tuyau de chauffage et limiter le rayonnement au niveau des fruits (De Werbier, 2009).

2.3.3.2. Le palissage

Le palissage en « V » est une méthode habituellement utilisée en région nantaise. Le fil de culture est placé à 2,5m environ du sol suivant les serres. La plante se développe sur le fil de culture. Les plantes se développent dans un espace confiné (Figure 10, Annexe E1).

Le palissage sur fil haut consiste à placer le fil de culture en hauteur, à environ 4m du sol. La plante est maintenue à la verticale au contraire de la culture en V. Ce port de plantes favorise la déshumidification (Figure 11, Annexe E1). En outre, cette méthode de palissage nécessite un travail régulier de la taille de la plante (Brajeul *et al.*, 2001) permettant de limiter les tissus morts sur la plante et ainsi diminuer l'inoculum de *D. bryoniae* (De Neergaard *et al.*, 1993).



Légende :

Les traits rouges de la figure 6a représente les coupes de taille.

Figure 10 : Système de palissage en V, vue de profil

(Source : Tignon, 2015)

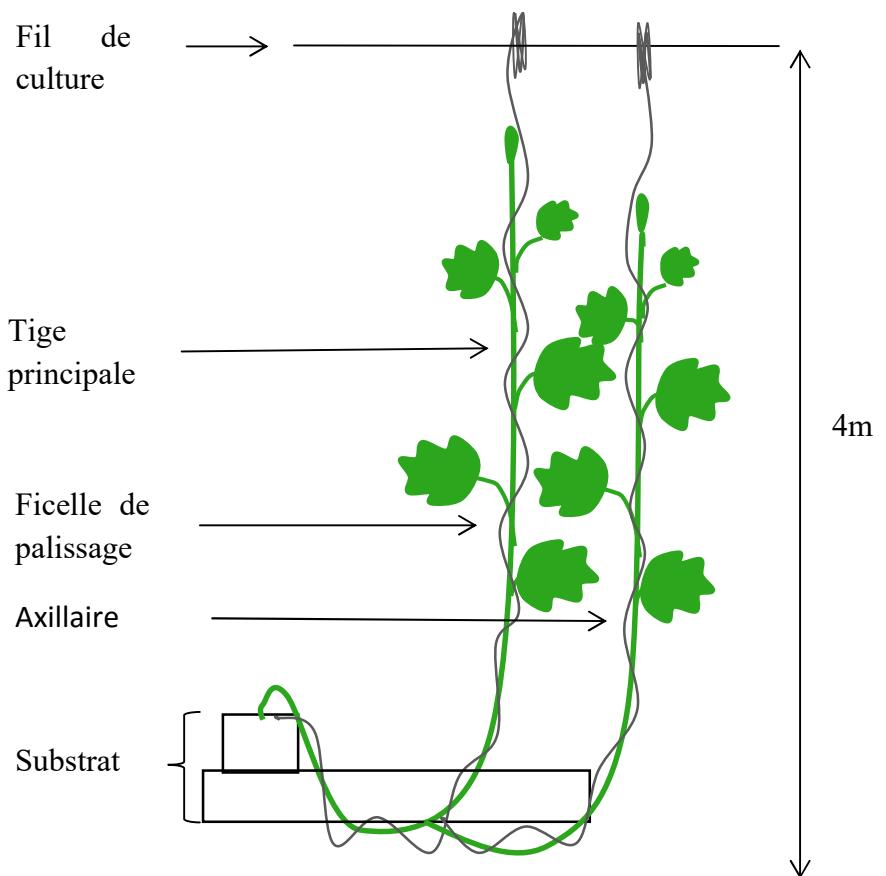


Figure 11 : Système de palissage en fil haut, vue de profil

(Source : Tignon, 2015)

2.4. Les expérimentations

2.4.1. Les essais

Deux essais sont menés dans cette étude. Un premier consiste à vérifier l'efficacité d'une relocalisation du chauffage dans la gestion du pathogène *D. bryoniae*, en déplaçant le tuyau de chauffage de végétation en position basse et en le retirant.

Le second essai est mené pour vérifier l'intérêt de la méthode de palissage en fil haut dans la lutte de ce même pathogène.

Le témoin de ces deux essais est commun. Il est conduit en palissage en V et sont forcas est placé en position haute.

2.4.2. Le site expérimental

La SCEA Cheminant, située à l'est de Nantes, est l'exploitation sur laquelle a été mis en place des essais sur son exploitation. Les essais ont été mis en place dans les serres 2 et 3 (Figure 12a). Ces deux serres font de 20 000 m². Le tableau I ci-contre regroupe les caractéristiques des deux serres et des cultures.

Le forcas est un tuyau au diamètre de 35 mm. Il est placé au-dessus de la gouttière, à 1,6 m du sol et à 0,85 m du fil de culture (Figure 5a). Dans une autre modalité, le forcas est placé plus bas à 1 m du sol et à 1,45 m du fil de culture (Figure 5b). Enfin dans la dernière modalité, le forcas est laissé en position haute (comme pour le témoin) mais l'eau ne circule pas à l'intérieur. Les figures 8 et 9 schématisent les différentes modalités liées à la relocalisation du chauffage.

Dans l'essai sur les différents palissages, la modalité témoin, soit en culture en palissage en V, le fil de culture est placé à 2,45 m du sol. Le fil de culture est placé à 3,5 m du sol dans la modalité en fil haut. Les figures 10 et 11 schématisent les différentes techniques de palissages utilisés comme modalité dans cet essai.

L'essai forcas est réalisé dans la serre 3. Le témoin de l'essai palissage est également dans la serre 3. La seconde modalité de l'essai palissage est dans disposé dans la serre 2. Les serres 2 et 3 sont séparées en quatre compartiments non délimités physiquement (Figure 12b). Les essais sont répartis selon le schéma suivant :

- Les deux premiers compartiments numéros 3 et 4 dans la serre 3, composés de 37 demi-rangs chacun, sont alloués à la modalité Témoin des deux essais. La culture de concombre est conduite en palissage en V avec un forcas placé dans la végétation, proche du fil de culture.
- Un compartiment (numéro 2) de 37 demi-rangs, dans le fond de la serre 3 à gauche pour la modalité où le forcas, proche du fil de culture, n'est pas en fonctionnement. Cette modalité est appelée sans Forcas.

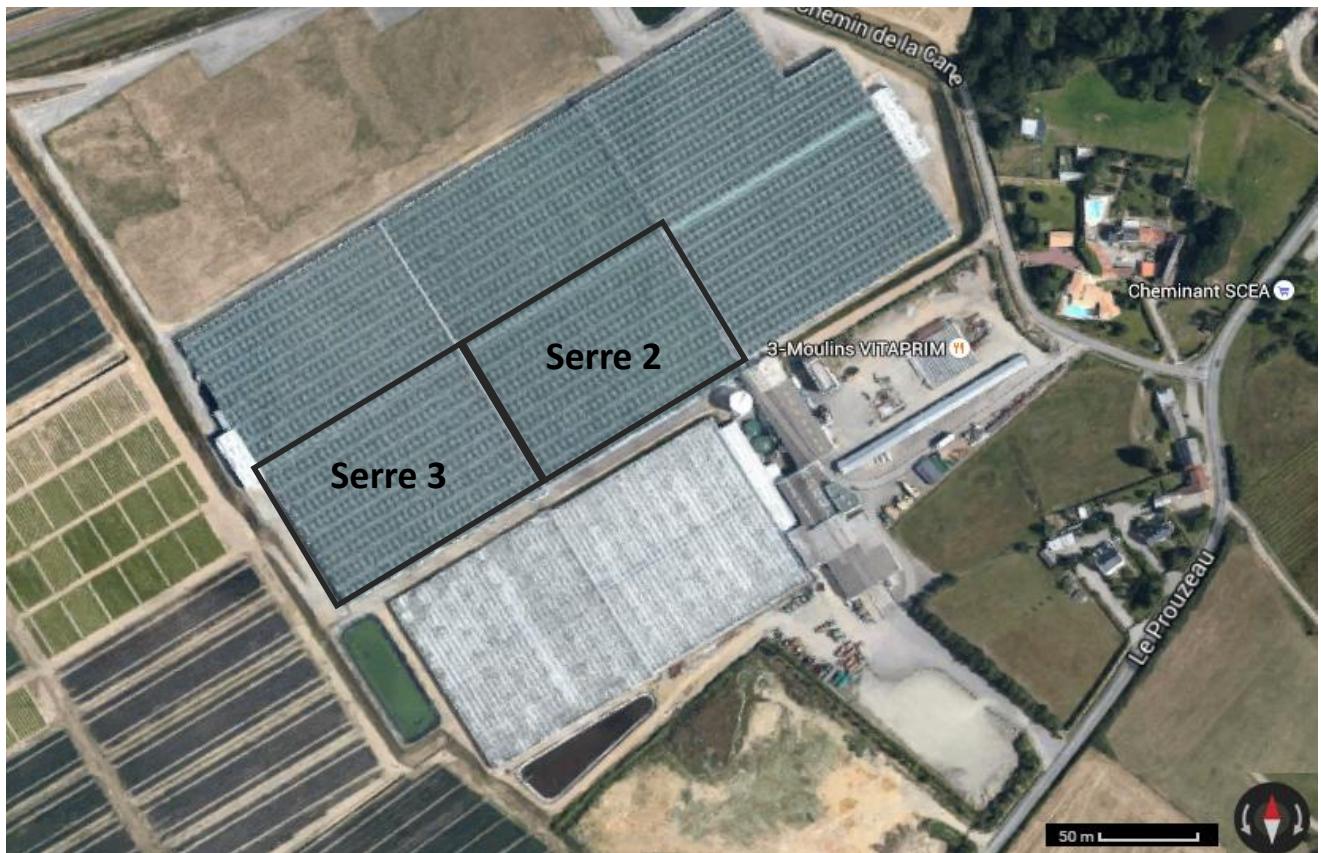
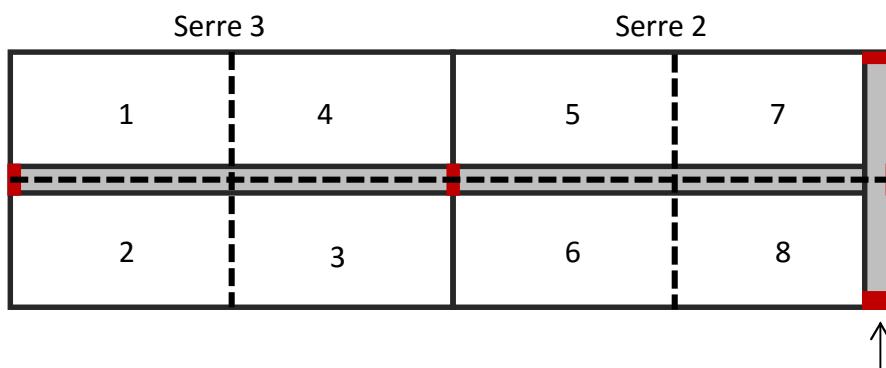


Figure 12a : Vue aérienne du site expérimental (Source : Google map, 2015)



Les chiffres indiquent le nom des compartiments.

Les traits en pointillé représente une délimitation non physique des compartiments

La flèche indique l'entrée de la serre 2.

Les allées sont en gris.

Les portes sont représentées par les rectangles rouges.

Figure 12b : Schéma des deux serres et des différents compartiments (Source : Tignon, 2015)

- Un dernier compartiment (numéro 1) de la serre 3 de 37 demi- rangs également, au fond à droite de la serre 3 est réservé à la modalité avec le forcas proche des collets de plante. Cette modalité est appelé Forcas bas.
- Les quatre compartiments (numéros 5 à 8) de la serre 2, soit 75 rangs, sont conduits en palissage sur fil haut.

2.4.3. Le matériel de mesures

Les sondes du logiciel climatiques sont présentes sur la culture en permanence. Leur collecte de données permet au producteur de piloté le climat de ces serres. Les données climatiques du logiciel climatique Priva® sont mesurées avec des sondes ventilées Priva® placées dans chaque compartiment des deux serres. Les données sont des moyennes sur 5min. Elles sont extraites par le logiciel Let's grow®. Ce logiciel permet de présenter les variables climatiques sous forme de graphique ou de tableau de moyennes journalières ou hebdomadaires, en temps réel et en gardant en historique toutes les données mesurées. Les données du compartiment 3 de la serre 3 ont été extraites grâce à ce logiciel tout au long des deux cultures alors que les données du compartiment 8 n'ont pu être obtenues que pour la seconde culture.

Des sondes Hobo® (Prosensor®) permettent de mesurer la température et l'HR et de calculer la température au point de rosée. Leur utilisation l'année précédente a permis de valider les données du logiciel Let's grow® (Bombail, 2014). Les sondes Hobo® sont disposées proches des sondes Priva®, dans chaque compartiment des deux serres, afin d'augmenter le volume de données et leurs fiabilités. Elles ont été placées à 1,50 m dans la serre 3 et à 3,20 m dans la serre 2.

Ces hauteurs correspondent à un placement à 20 cm sous le fil de culture dans les deux serres, afin de pouvoir mesurer les données climatiques au niveau des têtes de plantes. Les mesures sont prises toutes les 5 minutes à un instant t, afin d'avoir la même fréquence de données que le logiciel climatiques du producteur.

La température des feuilles est mesurée par des caméras infrarouges (caméras CT11 GH) positionnés au-dessus de la culture et orienté vers le nord-ouest. La première caméra est placée dans la modalité témoin dans la serre 3 (compartiment numéro 3) et la seconde est placée dans la modalité fil haut dans la serre 2 (compartiment numéro 8).

La figure 13 schématise l'emplacement des différentes sondes placées dans les deux serres de la SCEA Cheminant.

Les balances utilisées sont calibrées. L'une est précise à 20g pour un poids maximum de 100kg. La seconde est une balance précise à 2g, avec un poids maximum de 6000g.

Tableau I : Caractéristiques des deux serres et des deux cultures de concombres dans le cadre des essais relocalisation forcas et palissages

	Serre 2	Serre3
Superficie	20000 m ²	20000 m ²
Hauteur	4,70 m	4,70 m
Largeur de l'allée centrale	4 m	4 m
Longueur des demi-rangs	80 m	80 m
Largeurs des rangs	1,35m	1,35m
Hauteur de la gouttière	32 cm	45 cm
Hauteur du fil de culture	4 m	2,45m
Hauteur du forcas	1,80m	1,60m 1m
Diamètre du forcas	35 mm	35 mm
Diamètre du rail	51 mm	51 mm
Equipement	ouvrants ventilateurs	ouvrants ventilateurs
Nombre de rangs	75	75
Substrat	Pain laine de roche (15*10*135 cm) + cube de laine de roche (10*10*7 cm)	Pain laine de roche (15*10*135 cm) + cube de laine de roche (10*10*7 cm)
Date première culture	09/02 au 23/06	02/02 au 19/05 (modalité témoin) 02/02 au 25/05 (modalités forcas absent et bas)
Variété première culture	Proloog	Proloog
Densité première culture	1,30 plantes / m ²	1,30 plantes / m ²
Date seconde culture	25/06 au 02/09	21/05 au 28/08(modalité témoin) 27/05 au 28/08 (modalités forcas absent et bas)
Variété seconde culture	Marbon	Marbon
Densité seconde culture	1,35 plantes / m ² 2,7 têtes / m ²	1,8 plantes / m ²



Légende :

L'emplacement des sondes Hobo est représenté par de ronds. Les ronds clairs représentent les sondes posées durant la première culture, alors que les ronds foncés représentent les sondes placés au début de la seconde culture.

Les sondes ventilées du producteurs, qui fournissent les données du logiciel let'sgrow sont représentées en triangles.

Figure 13 : Représentation de la répartition des différentes sondes dans les compartiments des deux serres d'expérimentation (Source : Tignon, 2015)

2.4.4. Les notations

Le but de ces notations est de mettre en évidence l'évolution et l'impact du pathogène *D. bryoniae* sur différents organes de concombre. Pour cela des comptages de symptômes sur fruits et sur tiges seront effectués au long des deux cultures.

Les paramètres observés sont les mêmes dans les deux essais et sont décrit plus précisément ci-dessous. Les figures 14 et 15 montrent les rangs désignés pour les différentes notations dans les deux serres. Les annexes I, II et III regroupent les feuilles de notations utilisées pour les comptages.

Les demi-rangs observés sont répartis régulièrement dans les modalités pour garantir une homogénéité des répétitions. Les quatre premières chapelles de la serre 2 sont volontairement laissées sans comptage, car cette zone est connue par le producteur pour être plus sèche à cause de la présence de l'allée (Figures 14 et 15). Les deux premières chapelles de la serre 3 ainsi que la dernière chapelle des serres 2 et 3 ne contiennent pas de notation pour éviter les biais dus aux bords de serres et aux portes. Cette répartition a pour objectif de limiter au maximum les influences d'une éventuelle hétérogénéité du climat dans les serres.

2.4.4.1. Le comptage de *D. bryoniae* sur collets

Cette observation permettra de recenser le nombre de collets infectés par *D. bryoniae* par modalité. L'objectif est de déterminer l'effet des différentes modalités sur l'évolution des symptômes. Le but est également de déterminer si une période avec un climat précis favorise le passage du stade dormant à actif de *D. bryoniae* et déterminer s'il existe une corrélation entre le nombre de symptômes sur collets et le nombre de symptômes sur fruits.

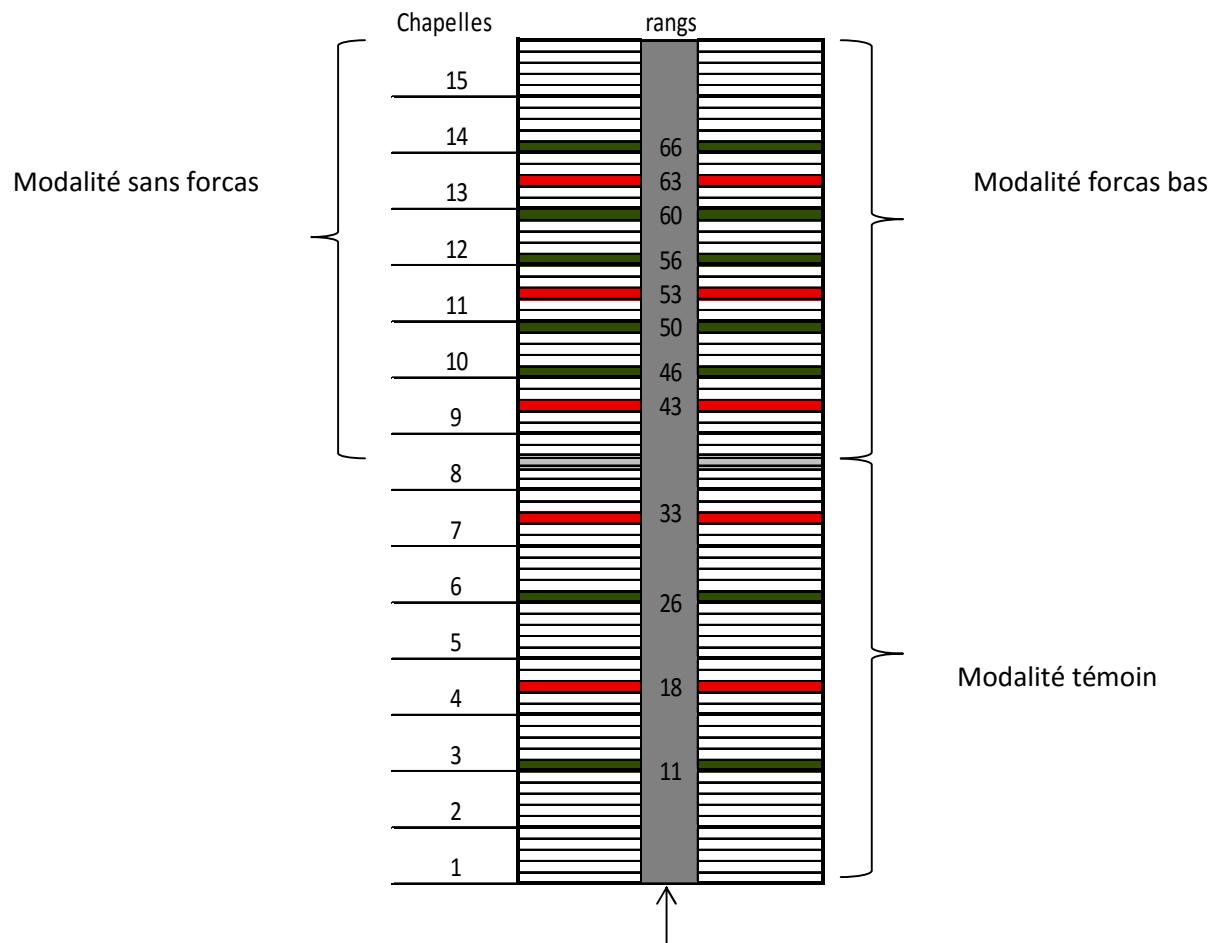
Les comptages sont effectués toutes les deux semaines sur huit demi-rangs définis répartis de façon homogène dans les différentes modalités dans les deux essais. Les notations sont effectuées toutes les deux semaines car les symptômes observés restent visibles ensuite.

Chaque rang contenant 178 plantes en première culture dans les deux serres et en deuxième culture en serre 2, et 236 plantes en deuxième culture en serre 3. Les symptômes observés correspondent à ceux visibles sur la figure 3.

2.4.4.2. Les comptages sur fruits

Ces notations ont pour but d'évaluer, en fonction des différentes modalités, l'impact de *D. bryoniae* sur le rendement hebdomadaire, ainsi que de pouvoir déterminer quel est le calibre majoritaire des fruits infectés. Comme pour les symptômes sur collets, ces notations ont également pour but de mettre en évidence des périodes favorables au pathogène.

Sur des demi-rangs définis (Figures 14 et 15), lors des récoltes du lundi et du vendredi, seront comptabilisés le nombre de fruits commercialisables, de nombre de fruits non vendables (déchets) et le nombre de fruits atteints par *D. bryoniae*.



Légende :

Les demi-rangs surlignés en rouges sont ceux sélectionnés pour effectuer les comptages sur les déchets fruits et le calcul du rendement. Les demi-rangs rouges et les demi-rangs verts sont ceux sélectionnés pour faire les comptages des collets atteints par *D. bryoniae*. Le rang en gris représente la délimitation entre les différents compartiments de la serre 3.

Figure 14 : Représentation des demi-rangs désignés en serre 3 pour chaque notation de l'essai relocalisation forcas (Source : Tignon, 2015)

Les fruits non vendables et les fruits infectés seront ensuite pesés afin de connaître la quantité en poids des deux variables. Les fruits infectés seront ensuite réparties et comptabilisés suivant les catégories de poids de poids suivantes :

- Classe a :** < 300g
- Classe b :** 300 - 400g
- Classe c :** 400 - 500g
- Classe d :** > 500g

Les catégories b, c et d correspondent à des calibres qui peuvent être commercialisé. Les fruits impactés par *D. bryoniae*. Les catégories de déchets ont été choisies en fonction du calibre des fruits commercialisés par le producteur afin de pouvoir effectuer des comparaisons. La classe b a été ajouté à ce classement afin de pouvoir observer les petits fruits, qui sont plus susceptible d'être infectés (De Neergaard, 1989).

Ces notations sur fruits seront répétées sur 4 demi-rangs dans les modalités Témoin et Fil haut. Elles sont répétées sur 3 demi-rangs sur les modalités forcas bas et forcas absent. La différence entre le nombre de demi-rangs par modalité est due des contraintes liées à l'exploitant.

Les récoltes du lundi et du vendredi seront additionnées afin d'obtenir une valeur hebdomadaire pour éviter les biais dus à l'absence de récolte le dimanche, qui pourrait avoir un impact sur le calibre des fruits.

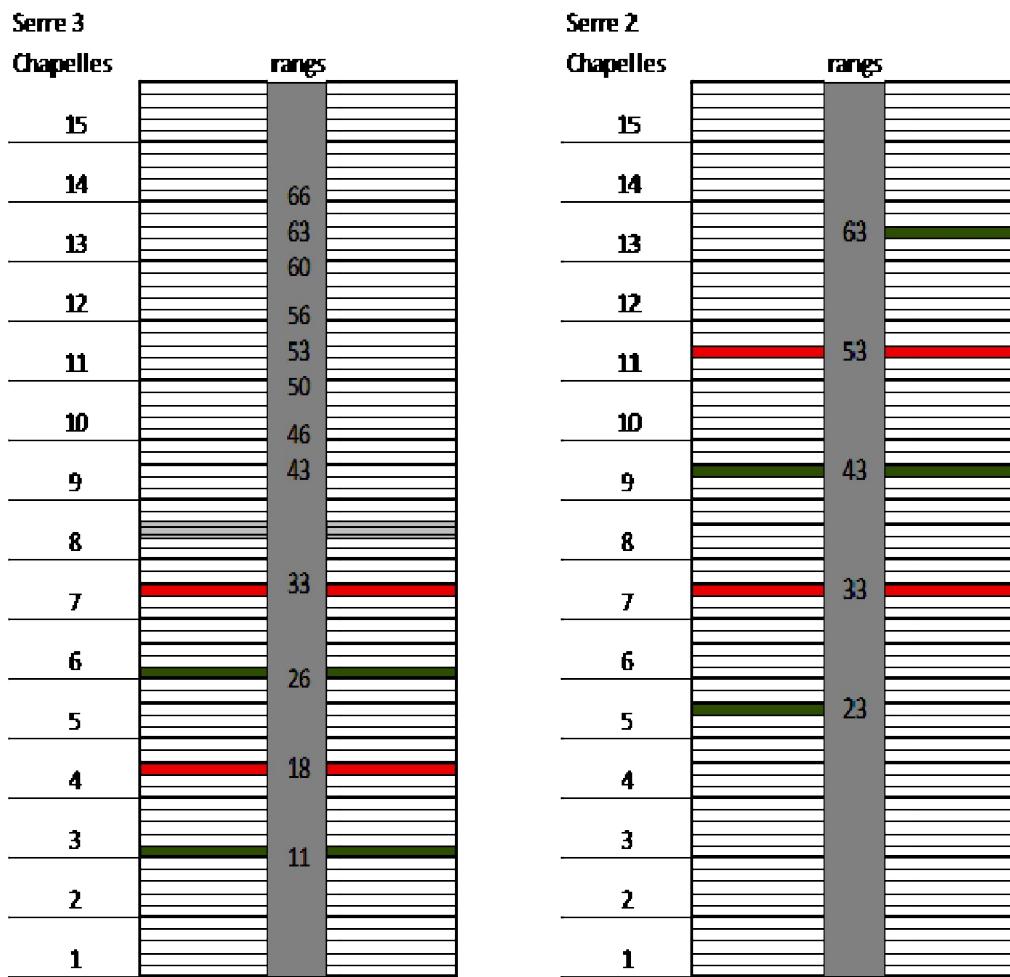
2.4.4.3. L'analyse du climat

Les données des sondes Hobo® ont été extraites toutes les deux semaines, afin de pouvoir analyser le climat au sein des modalités régulièrement. L'analyse du climat globale de la serre a été effectué quotidiennement grâce au logiciel Let's grow®. L'analyse de journée avec un climat atypique, tel que des valeurs climatiques (HR, DH Température, Luminosité) élevée ou au contraire faible, a permis de mettre en évidence des périodes à risque de formation de condensation. Ces périodes à risques sont déterminées grâce à la différence entre la température des feuilles et la température au point de rosée. Plus cette valeur est faible, plus le risque de condensation est important.

2.4.5. Les analyses statistiques

Les tests statistiques ont été effectués avec le logiciel Stabox®. Le risque d'erreur α admis pour les tests est de 5%.

Les variables quantitatives et continues, comme les nombres de tiges ou de fruits infectés, ont été traitées avec un test de comparaison de variances. Le test ANOVA a été utilisé lorsque les conditions requises étaient réunies, si les données sont indépendantes, et qu'elles suivent les lois de normalité et d'homoscédasticité.



Légende :

La modalité témoin (culture en palissage en V) est répartie sur les 37 rangs deux premiers compartiments de la serre 3. La modalité en fil haut est répartie dans les quatre compartiments de la serre 2.

Les demi-rangs surlignés en rouges sont ceux sélectionnés pour effectuer les comptages sur les déchets fruits et le calcul du rendement. Les demi-rangs rouges et les demi-rangs verts sont ceux sélectionnés pour faire les comptages des collets atteints par *D. bryoniae*. Le rang en gris représente la délimitation entre les différents compartiments de la serre 3.

Figure 15 : Représentation des demi-rangs désignés en serre 2 et 3 pour chaque notation de l'essai palissages (Source : Tignon, 2015)

La limitation de biais d'expérimentation dans les essais permet de considérer que les variables sont indépendantes. La normalité sera vérifiée en comparant les coefficients de K. Pearson, fourni par le logiciel, avec le risque d'erreur α de 5%. L'homoscédasticité est vérifiée avec un test de Fisher sur les résidus.

Lors de l'utilisation de l'ANOVA comme test statistique, si celui-ci montre que les différences entre les valeurs sont dues aux facteurs étudiés, les différents groupes de variables peuvent être discriminés ou regroupés en fonction de leur moyenne grâce au test de Newman-Keuls. Ce test permet de faire de comparaison multiple des moyennes en contrôlant avec le risque α .

Si l'une des conditions n'est pas validée, alors les données ont été traitées avec un test non paramétrique, le test de Khi².

Ces tests ont pour hypothèses H_0 « la différence entre les moyennes n'est due qu'au hasard et n'est pas due à l'influence de l'un des facteurs étudiés», et H_1 « la différence entre les moyennes est due au(x) facteur(s) étudié(s) ». Lorsque la probabilité du test de comparaison de variances est supérieure à α , alors l'hypothèse H_0 ne peut pas être rejetée (avec un risque d'erreur inconnu). A l'inverse, lorsque la probabilité du test de comparaison de variances est inférieure à α , alors l'hypothèse H_1 est acceptée (avec un risque d'erreur α de 5%).

Lors de l'utilisation de l'ANOVA comme test statistique, si celui-ci montre que les différences entre les valeurs sont dues aux facteurs étudiés, les différents groupes de variables peuvent être discriminés ou regroupés en fonction de leur moyenne grâce au test de Newman-Keuls. Ce test permet de faire de comparaison multiple des moyennes en contrôlant avec le risque α .

Les variables qualitatives et les fréquences ont été traitées avec un test de Khi² d'indépendance. Il prend pour base les hypothèses H_0 « les fluctuations sont le fait du hasard, il y a indépendance entre les variables en colonnes et les variables en lignes» et H_1 « les fluctuations sont dues aux facteurs testés, il y a dépendance entre les variables». Si la p value du test est supérieur au risque α , alors l'hypothèse H_0 ne peut pas être rejetée. Dans le cas contraire on peut accepter l'hypothèse H avec un risque α de 5%.

Les résultats statistiques sont présentés sous la forme :

$$F(ddl1, ddl2)=n.nn; p=x.xxx$$

ddl1 est le nombre de degrés de liberté intra-groupe

ddl2 est le nombre de degrés de liberté inter-groupe

n.nn le résultat du test de Fisher

p=x.xxx le résultat du test statistique

Tableau II : Résumé des tests statistiques des figures 16 et 17

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Figure 16	Nombres de fruits commercialisés	ANOVA	$F(2, 17)=1,14$; $p=0,352$	Non
Figure 16	Nombres de fruits n. i.	ANOVA	$F(2,15)=0,49$; $p=0,629$	Non
Figure 16	Nombres de fruits infectés	ANOVA	$F(2, 15)=0,02$; $p=0,983$	Non
Figure 17	Nombres de fruits commercialisés	ANOVA	$F(2, 51)=2,22$; $p=0,117$	Non
Figure 17	Nombres de fruits n. i.	ANOVA	$F(2,51)=0,76$; $p=0,475$	Non
Figure 17	Nombres de fruits infectés	ANOVA	$F(2, 51)=0,21$; $p=0,816$	Non

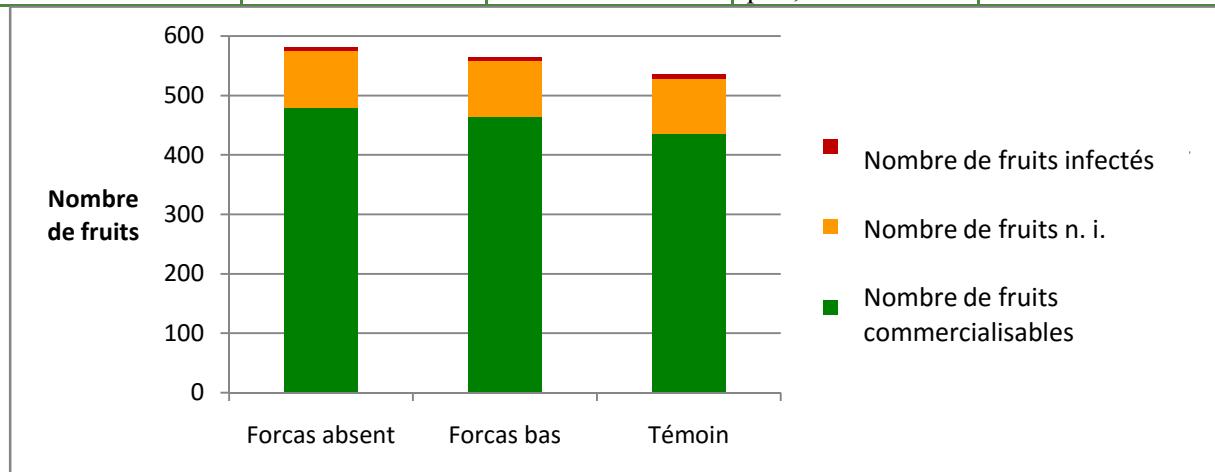


Figure 16 : Moyennes hebdomadaires du nombre de fruits commercialisables, du nombre de fruits n. i. et du nombre de fruits infectés sur les trois modalités de l'essai positionnement forcas lors de la première culture

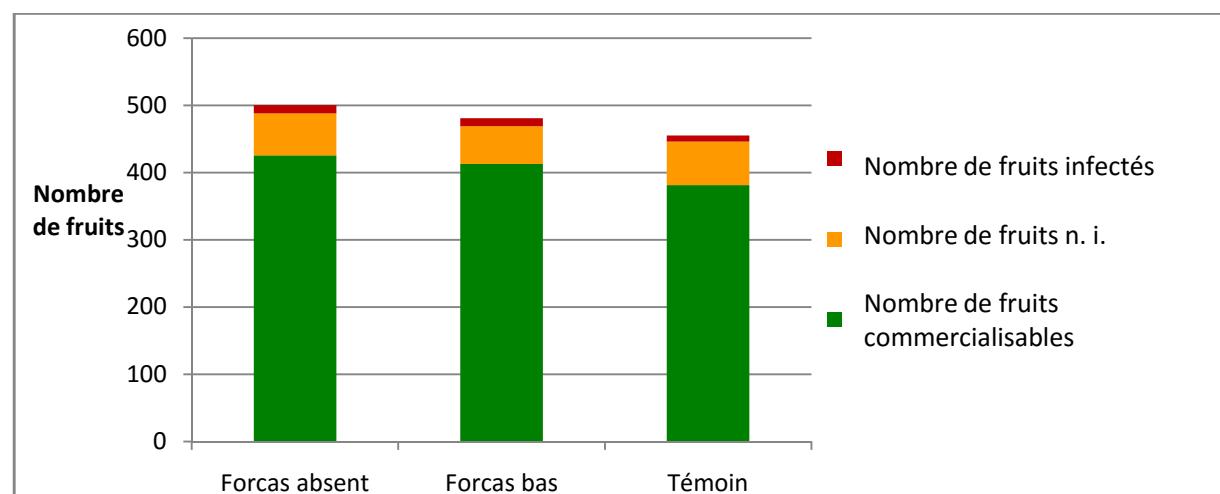


Figure 17 : Moyennes hebdomadaires du nombre de fruits commercialisables, du nombre de fruits n. i. et du nombre de fruits infectés sur les trois modalités de l'essai positionnement forcas lors de la deuxième culture

3. Résultats

3.1. Impact de *D. bryoniae* sur le rendement

3.1.1. Essai positionnement forcas

3.1.1.1. 1^{ère} culture

Les tests statistiques indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois modalités pour les trois facteurs présentés (Tableau II). Le positionnement du forcas n'a pas eu d'influence ni sur le nombre de pièces commercialisables, ni sur le nombre de pièces de déchets non infecté (fruits n. i.), ni sur le nombre de fruits infecté par la pourriture noire.

La Figure 16 présente le nombre de fruits commercialisables, le nombre de fruits infectés et le nombre de fruits n. i. par demi-rangs sur 2 récoltes par semaine lors de la première culture.

Le nombre de fruits commercialisables est de 435 fruits en moyenne sur deux récoltes par semaine, que l'on juge représentatives des récoltes moyennes par semaine. Les fruits n. i. sont au nombre de 92 en moyenne et les fruits infectés sont au nombre de 6 en moyenne. Les fruits infectés représentent 0,5% du nombre total de fruits récoltés.

Les tests statistiques n'ont pas montré de différence significative du poids moyen des fruits infectés en fonction des trois modalités. De plus, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence dans la répartition en classe de poids des fruits infectés en fonction des différentes modalités (Annexe F1).

Le poids moyens des fruits infectés dans la modalité témoin est de 465g. Les fruits commercialisables ont un poids moyen de 457g (Annexe F2). Le poids moyen des fruits infectés est proche du poids moyen des fruits commercialisables.

La répartition des fruits infectés en fonction de leur poids montre que 68% des fruits infectés ont un point inférieur à 400g, dont une majorité avec un poids inférieur à 300g (Annexe F3). La majorité des fruits infectés dans les trois modalités lors de la première culture ont un poids inférieur au poids moyen des fruits récolté dans la serre 3.

3.1.1.2. 2^{ème} culture

On n'observe aucune différence significative entre les différentes modalités c'est-à-dire en fonction du nombre de fruits commercialisables, du nombre de fruits n. i. et du nombre de fruits infectés par demi-rangs sur 2 récoltes par semaine lors de la seconde culture (Tableau II).

Dans la Figure 17, on observe dans la modalité témoin 381 fruits commercialisables en moyenne par demi-rangs sur deux cultures par semaine lors de la seconde culture, 64fruits n. i. en moyenne, et 8 fruits infectés. Les fruits infectés représentent 2,3% du nombre total de fruits récoltés.

Tableau III : Résumé des tests statistiques de la figure 18 et du tableau IV

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Figure 18	Nombres de fruits commercialisés	ANOVA	$F(1, 14)=0,6$; $p=0,457$	Non
Figure 18	Nombres de fruits n. i.	ANOVA	$F(1,14)=1,87$; $p=0,191$	Non
Figure 18	Nombres de fruits infectés	ANOVA	$F(1,14)=1,18$; $p=0,017$	Non
Tableau IV	Poids moyens des fruits infectés en fonction des modalités	ANOVA	$F(1,6)=13,94$; $p=0,010$	Oui
Tableau IV	Poids moyens des fruits n. i. en fonction des modalités	ANOVA	$F(1,6)=33,31$; $p=0,001$	Oui

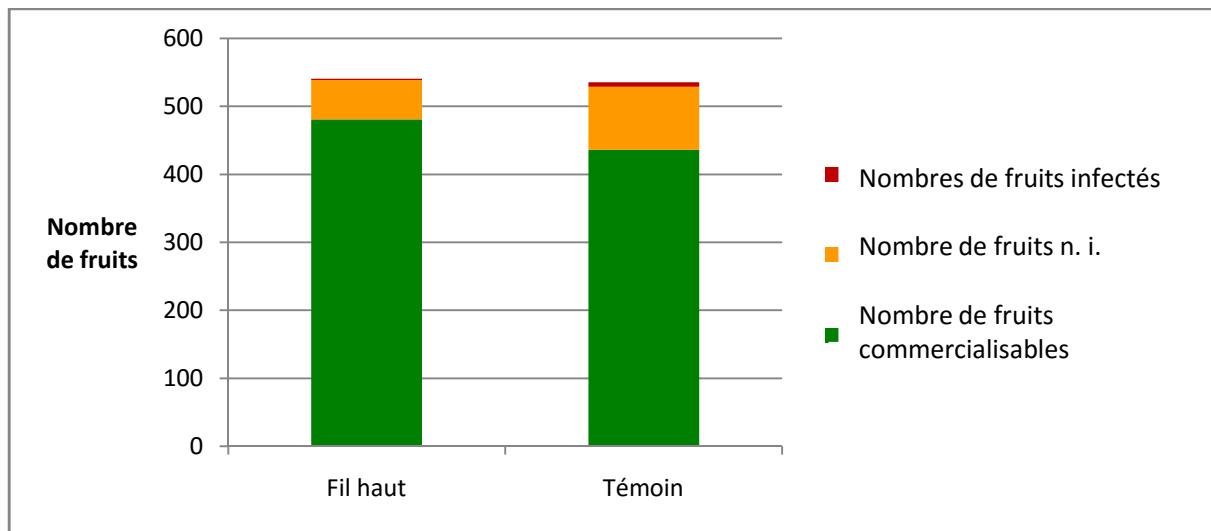


Figure 18 : Moyennes hebdomadaires du nombre de fruits commercialisables, du nombre de fruits n. i. et du nombre de fruits infectés sur les deux modalités de l'essai palissages lors de la première culture

Tableau IV : Poids moyens des fruits commercialisables, des fruits n. i. et des fruits infectés lors de la première culture sur l'essai palissages

	Poids moyen des fruits infectés	Poids moyen des fruits n. i.	Poids moyen des fruits commercialisables
Fil haut	184 g <i>a</i>	218 g <i>a</i>	457 g
Témoin	467 g <i>b</i>	232 g <i>b</i>	458 g

Les lettres représentent des groupes significatifs

Il n'y a pas de différence significative dans les poids moyens des fruits infectés entre les différentes modalités. Par contre, le poids moyen des fruits infectés est significativement inférieur à celui des fruits commercialisables (Annexe G1).

Dans la modalité témoin, le poids moyen des fruits infectés est de 266g lors de la seconde culture. Le poids moyen des fruits commercialisés dans cette serre est plus élevé, avec 470 g (Annexe G2).

Le poids moyen des fruits infectés est inférieur à celui des fruits commercialisables.

3.1.2. Essai palissages

3.1.2.1. 1^{ère} culture

Il n'y a pas de différence significative entre les modalités fil haut et témoin en nombre de fruits commercialisés et en nombre fruits n. i.. Par contre, il y a significativement moins de fruits infectés dans modalité fil haut par rapport au témoin (Tableau III).

On observe dans la Figure 18, dans la modalité témoin, on observe qu'il y a 435 fruits commercialisables en moyenne par demi-rangs sur deux récoltes par semaine, 92 fruits n. i. et 6 fruits infectés en moyenne sur deux récoltes par semaine. Les fruits infectés représentent 1% du nombre total de fruits récoltés.

Dans la modalité fil haut, il y a 1 fruit infecté en moyenne sur deux récoltes par semaine, soit 0,3% du nombre total de fruits récoltés.

Le poids moyen des fruits atteints de pourritures noires est comparé dans le Tableau IV avec le poids moyens des autres fruits n. i. et des fruits commercialisables.

Les tests statistiques montrent que la moyenne de poids moyens des fruits infectés sur la première culture de la modalité fil haut est significativement inférieure à la moyenne de poids moyens des fruits infectés (Annexe H1).

Dans la modalité témoin, les fruits infectés ont un poids moyen identique au poids moyen des fruits commercialisables, soit 467g. Le poids moyen des fruits infectés dans la modalité fil haut est de 186g (Annexe H2).

La majorité (68%) des fruits infectés dans les deux modalités lors de cette première culture avait un poids inférieurs à 400g et aucun fruit infecté dans la modalité fil haut ne dépassait les 400g (Annexe H3).

Tableau V : Résumé des tests statistiques de la figure19

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Figure 19	Nombres de fruits commercialisés	ANOVA	$F (1, 22)=29,08; p=0,006$	Oui
Figure 19	Nombres de fruits n. i.	ANOVA	$F (1, 22)=8,44; p=0,008$	Oui
Figure 19	Nombres de fruits infectés	ANOVA	$F (1, 22)=17,07; p=0,000$	Oui

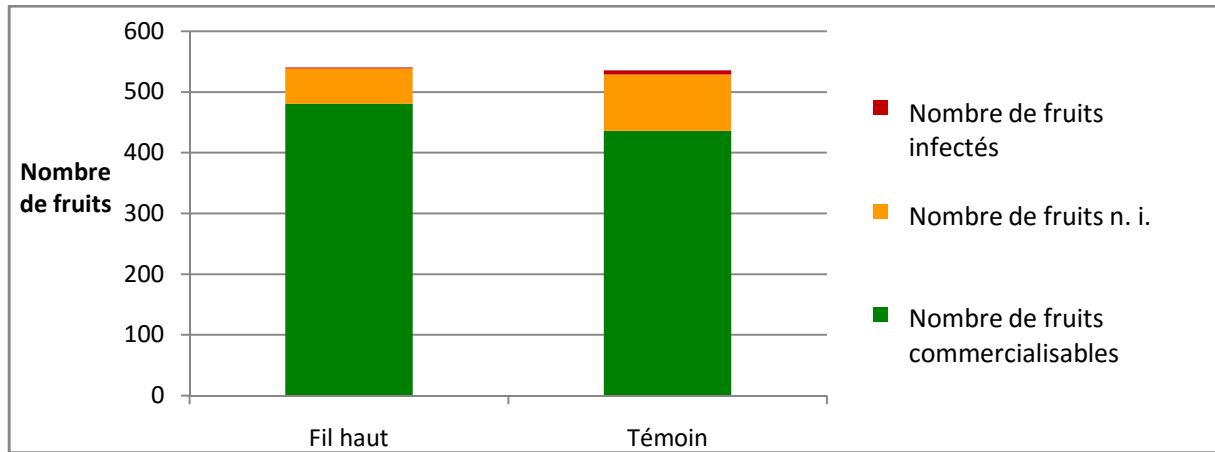


Figure 19 : Moyennes hebdomadaires du nombre de fruits commercialisables, du nombre de fruits n. i. et du nombre de fruits infectés sur les deux modalités de l'essai palissages lors de la seconde culture

3.1.2.2. 2^{ème} culture

Il y a significativement un nombre supérieur de fruits commercialisables et un nombre inférieur de fruits infecté dans la modalité fil haut par rapport au témoin dans la seconde culture (Tableau V).

Dans la figure 19, on observe la présence de 435 fruits commercialisables, 92 fruits n. i. et 6 fruits infectés en moyenne par demi-rangs sur deux récoltes hebdomadaires lors de la seconde culture dans la modalité témoin. Les fruits infectés de la modalité témoin représentent 3% du nombre total de fruits récoltés. Dans la modalité fil haut, le nombre de fruits commercialisables est de 481 et le nombre de fruits infectés est de 1. Les fruits infectés dans la modalité fil haut représentent 0,3% du nombre total de fruits récoltés.

Il n'y a pas de différence significative du poids moyen des fruits infectés, du poids moyen des déchets en fonction des différentes modalités (Annexe I1).

Dans la modalité témoin, le poids moyen des fruits infectés est de 266g. Le poids moyen des fruits infectés dans la modalité fil haut est de 227g. Le poids moyen des fruits commercialisables est de 455g dans la serre 2 (Annexe I2).

Tableau VI : Résumé des tests statistiques des figures 20 et 21

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Figure 20	Fréquence d'attaque des collets en fonction modalités : semaine 14 semaine 16 semaine 18 semaine 20	Khi ²	$F(2)=9,60 ; p=0,008$ $F(2)=10,47 ; p=0,005$ $F(2)=6,98 ; p=0,031$ $F(2)=7,79 ; p=0,020$	Oui Oui Oui Oui
Figure 20	Evolution des symptômes entre la semaine 18 et la semaine 20 de la modalité témoin	ANOVA	$F(1,14)=82,26 : p=0,000$	Oui
Figure 21	Différence de la moyenne hebdomadaire de DH en fonction : semaine 14 semaine 15 semaine 16 semaine 17 semaine 18 semaine 19 semaine 20	Khi ²	$F(2,18)=0,39 ; p=0,689$ $F(2,18)=0,36 ; p=0,703$ $F(2,18)=0,24 ; p=0,789$ $F(2,18)=0,10 ; p=0,908$ $F(2,18)=0,05 ; p=0,951$ $F(2,18)=0,07 ; p=0,929$ $F(2,18)=0,05 ; p=0,954$	Non Non Non Non Non Non Non

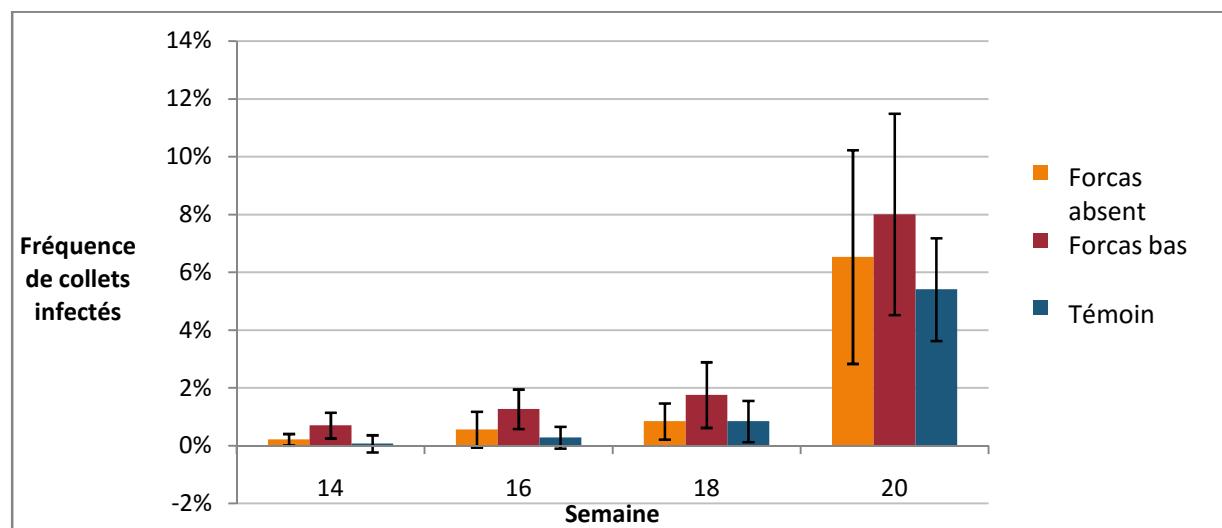


Figure 20 : Fréquence des collets infectés par *D. bryoniae* par rang sur la première culture de l'essai positionnement forcas

3.2. Impact du climat sur *D. bryoniae*

3.2.1. Essai positionnement forcas

3.2.1.1. 1^{ère} culture

Evolution des symptômes au cours de la première culture de l'essai positionnement forcas

Les notations sur le nombre de fruits infectés par la pourriture noire n'ont été effectuées que sur deux semaines lors de la première culture, ne permettant pas de mettre en avant une évolution des symptômes.

Le test de Khi2 sur la fréquence d'infection des collets par demi-rangs par semaines a montré que les trois modalités de l'essai positionnement forcas ont des fréquences d'attaques différentes significativement lors de la première culture. En effet, la modalité forcas bas est la plus impacté et la modalité témoin est la moins infectée. L'augmentation entre la semaine 18 et la semaine 20 de la fréquence du nombre de collets infectés dans la modalité témoin est significative (Tableau VI).

Sur la Figure 20, on observe que la fréquence de collets infectés est de 0,7% dans la modalité forcas bas, contre 0,2% dans la modalité forcas absent et de 0,07% dans la modalité témoins sur la semaine 14. La fréquence de collets infectés reste inférieure à 2% dans toutes les modalités sur les semaines 14, 16 et 18. En semaine 20, la fréquence de collets infectés est de 8,0% dans la modalité forcas bas, contre 6,5% dans la modalité forcas absent et de 5,4% dans la modalité témoins.

Etude du climat sur la première culture de l'essai positionnement forcas

L'objectif est de comparer le climat des différentes modalités et de mettre en évidence des périodes à risques qui favoriseraient le développement de *D. bryoniae*. Sachant que l'humidité est le facteur majeur dans le développement de *D. bryoniae*, le DH sera utilisé.

Il n'y a pas de différence significative de la moyenne hebdomadaire des moyennes journalières DH en fonction des trois modalités sur les semaines 14 à 20 (Tableau VI).

La figure 21 est une représentation des moyennes journalière des DH des différentes modalités. Les semaines choisies correspondent aux périodes de notation des symptômes sur collets.

Les moyennes journalières d'HR des trois modalités varient au long de la période entre la semaine 14 et la semaine 20. Les moyennes d'HR sont semblables dans les trois modalités. On peut remarquer deux journées avec des moyennes d'HR les plus élevées de la période observée. Les 1 et 2 mai ont des moyennes de DH comprises entre 1,1 g/m³ et 1,2 g/m³ pour les trois modalités.

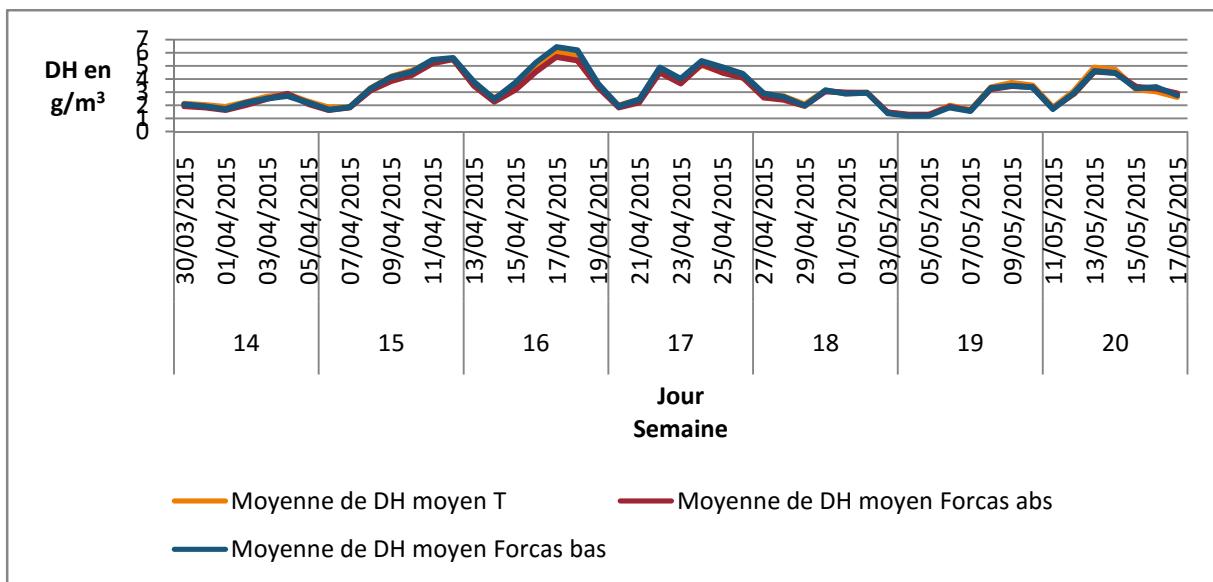


Figure 21 : Moyennes hebdomadaires de DH de la semaine 14 à 20, des trois modalités de l'essai positionnement forcas

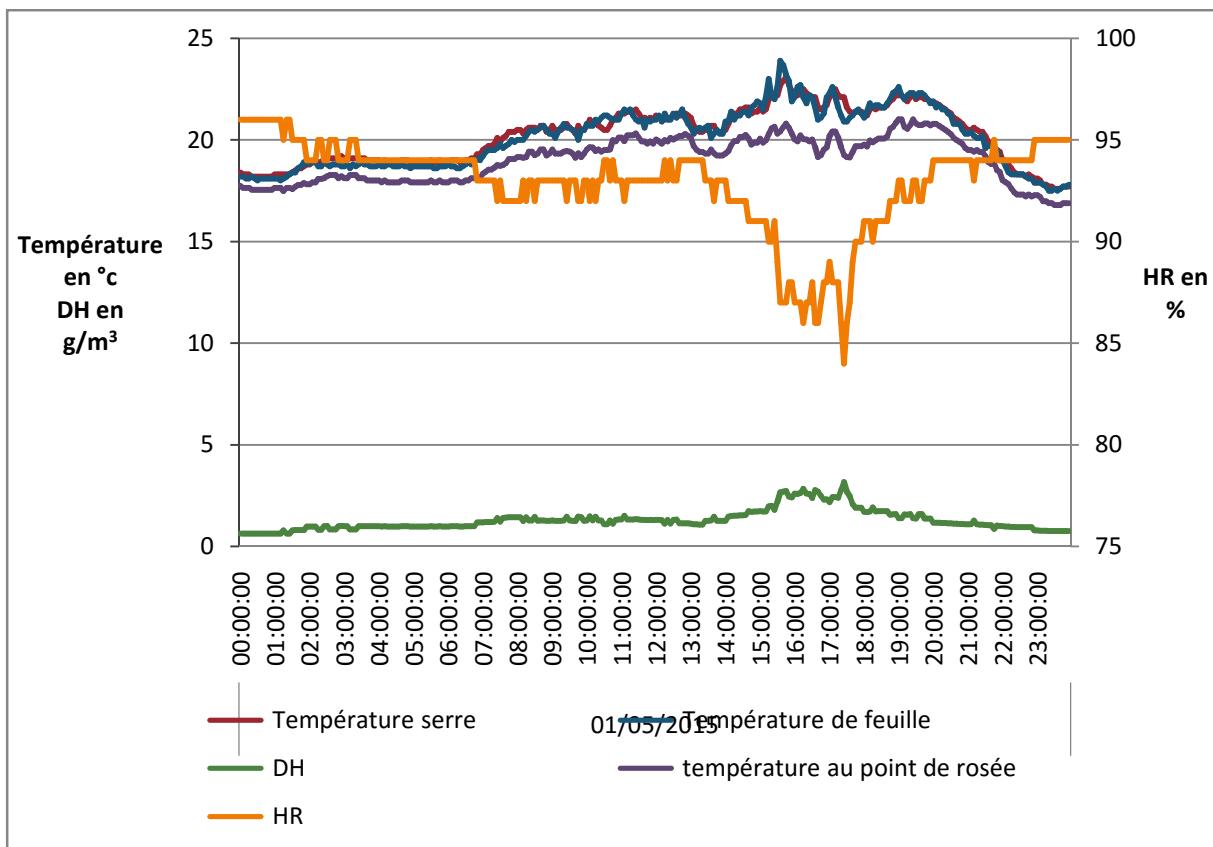


Figure 22 : Caractéristiques climatiques de la serre 3 sur la journée du 1 mai

La journée du 1 mai étant la journée avec la moyenne de HR la plus élevé de la semaine 18, les caractéristiques climatiques sont présentées dans la Figure 22. Elle permet de mettre en évidence la relation entre les valeurs élevées d'HR, les valeurs faibles de DH et les périodes à risque de formation de condensation.

Pendant la journée du 1 mai, il y a eu peu de variations de la température de la serre. Les températures ont été comprises entre 17,5°C et 20,6°C.

L'HR est restée supérieure à 90% sauf sur la période de 15h20 à 17h45, où elle est descendu à 84%. Il y a des périodes où l'HR a atteint 95% : en tout début de journée jusqu'à 2h du matin et en toute fin de journée à partir de 23h. Les valeurs d'HR les plus élevées correspondent aux valeurs de DH les plus faibles. Le DH est resté faible sur toute la journée, inférieur à 2,5 g/m³ d'air.

Les périodes où la température au point de rosée, la température de la serre et de la température de feuille sont restées proche, correspondent aux périodes où l'HR est supérieur à 92%, soit de minuit à 14h30 et de 20h à minuit. Ces périodes présentent un risque de formation de condensation sur plantes.

Cette Figure 22 permet de mettre en évidence un risque de condensation pendant la nuit, surtout lorsque l'HR est supérieur à 95%, ou que le DH est faible, inférieur à 1,5 g/m³ d'air.

3.2.2.2. 2^{ème} culture

Evolution des symptômes au cours de la seconde culture de l'essai positionnement forcas

La Figure 23 présente la fréquence des collets infectés par demi-rangs par semaines sur la seconde culture, de la semaine 24 à la semaine 34, sur les modalités témoin, forcas bas et forcas absent.

Les tests statistiques indiquent une différence des fréquences d'infection entre les trois modalités. A partir de la semaine 26, la modalité témoin a les fréquences d'infections les plus élevées. A partir de la semaine 26, la modalité forcas bas a des fréquences d'infections plus faibles que le témoin. La modalité forcas absent a des fréquences d'infection plus faible que le témoin, les semaines 26 et 28 (Tableau VIII, Figure 23). L'étude de l'évolution du nombre d'infection sur collets au cours de la culture a été faite avec les résultats de la modalité témoin. La fréquence d'infection est en augmentation de la semaine 28 à la semaine 34 (Tableau VII).

Il n'y a pas eu de symptômes sur les collets en semaines 24. La fréquence est restée faible en semaine 26, avec 2,6% de tiges infectées en modalité témoin et aucune tige n'a été infectée dans les modalités forcas bas et forcas absent. Les fréquences de collets infectées augmentent au fur et à mesure des semaines. La fréquence de tiges infectées a atteint, en fin de culture, 50% en modalités témoin, 45% en modalité forcas bas et 40% en modalité forcas absent.

Tableau VII : Résumé des tests statistiques des figures 23 et 24

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Figure 23	Fréquence d'attaque des collets en fonction des modalités : semaine 26 semaine 28 semaine 30 semaine 32 semaine 34	Khi ²	$F(2)=43,18 ; p=0,000$ $F(2)=228,38 ; p=0,000$ $F(2)=92,501 ; p=0,000$ $F(2)=82,337 ; p=0,000$ $F(2)=39,556 ; p=0,000$	Oui Oui Oui Oui Oui
Figure 23	Evolution des symptômes de la modalité témoin entre la semaine 28 et la semaine 34	ANOVA	$F(4,35)=64,10 ; p=0,000$	Oui
Figure 24	Nombres de fruits atteints par la pourriture noire : semaine 27 semaine 28 semaine 29 semaine 30 semaine 31 semaine 32	ANOVA	$F(2, 6)=1,46 ; p=0,304$ $F(2, 6)=4,00 ; p=0,079$ $F(2, 6)=0,74 ; p=0,518$ $F(2, 6)=1,01 ; p=0,420$ $F(2, 6)=0,63 ; p=0,570$ $F(2, 6)=1,50 ; p=0,296$	Non Non Non Non Non Non
Figure 24	Evolution des symptômes entre la semaine 30 et la semaine 31	ANOVA	$F(5,12)=4,61 ; p=0,014$	Oui

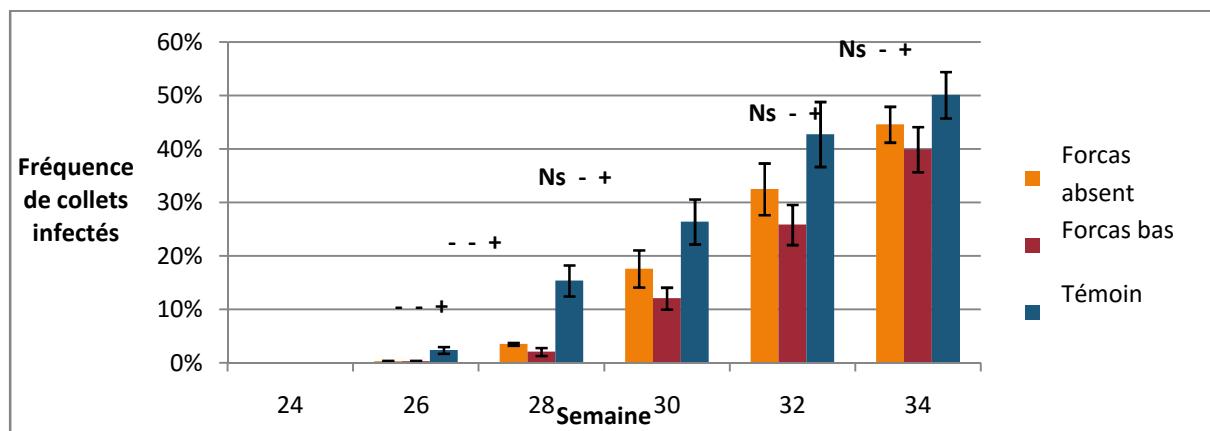


Figure 23 : Fréquence des collets infectés par rang sur la deuxième culture en fonction des modalités de l'essai positionnement forcas

La Figure 24 est une représentation graphique du nombre de fruits infecté par demi-rangs sur deux notations par semaines durant la seconde culture.

Il n'y pas de différence significative entre les trois modalités dans le nombre de fruits atteints par la pourriture noire de la semaine 27 à la semaine 32. L'étude de l'évolution du nombre de fruits infectés au cours de la culture a été faite avec les résultats de la modalité témoin. Le nombre de fruits infectés augmente à partir de la semaine 30 (Tableau IV).

L'incidence de la maladie est restée faible sur les semaines 27 à 30. On observe sur cette période, quel que soit la modalité, que moins de 10 fruits infectés ont été récolté sur deux récoltes par semaine. A partir de la semaine 30, l'incidence de la maladie a augmenté, avec 3 fruits infectés récolté. En semaine 32, 24 fruits infectés ont été récoltés.

Etude du climat sur la seconde culture de l'essai positionnement forcas

L'objectif est de comparer le climat des différentes modalités et de mettre en évidence des périodes à risques qui favoriseraient le développement de *D. bryoniae*.

Les moyennes hebdomadaires des moyennes journalières de DH sont significativement plus élevées dans la modalité témoin que dans les modalités forcas bas et forcas absent les semaines 25 et 26 (Tableau VII).

On voit sur la Figure 25 qu'il n'y a pas de moyennes journalières de DH très faible comme lors de la première culture, aucune valeur de DH n'est inférieure à 2 g/m³ d'air. Le DH de la modalité témoin a été pendant les semaines 26 et 27 plus élevées que le deux autres modalités.

Le graphique 26 montre le climat de deux journées dans la serre 3 (contenant l'essai positionnement forcas). Ces deux journées ont été choisies car elles représentaient deux journées avec deux moyennes des DH opposées et étaient suffisamment proche pour que le stade de la culture soit le même. La journée du 26 juillet est la journée avec la moyenne de DH la plus faible et le 2 aout est la journée avec la moyenne de DH la plus élevée.

Le DH reste faible, inférieur à 1,5 g/m³ de minuit à 5h du matin. A 5 h du matin le DH a brusquement augmenté à 2,1 g/m³. Le DH est resté stable sur le reste de la journée sauf de 15h30 à 20h30 où il a augmenté. La température au point de rosée est restée proche de la température de feuille (moins de 1°C d'écart) sauf de 16h30 à 20h. Sur la période de 22h à minuit, les courbes de température au point de rosée et de température de feuille se superposent, formant une zone de risque de formation de condensation sur les plantes.

Sur la journée du 2 aout, le DH a fortement augmenter l'après-midi et en soirée. On observe la même augmentation du DH à 5h du matin que sur la journée du 26 juillet. La température au point de rosée est éloignée de la température des feuilles et l'écart augmente au fur et à mesure de la journée. La journée présente peu de risque de formation de condensation sur les plantes dans cette serre.

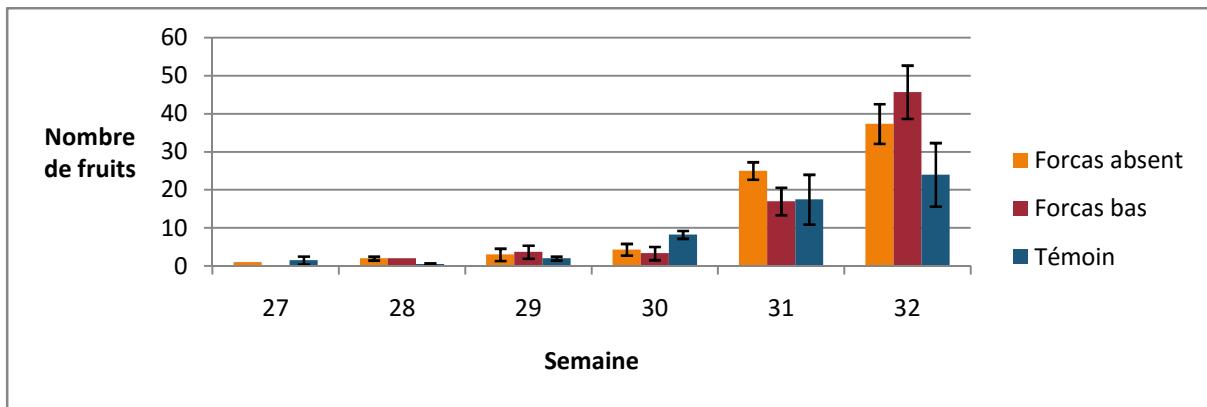


Figure 24 : Nombre de fruits atteints sur deux récoltes hebdomadaires lors de la deuxième culture en fonction des modalités l'essai positionnement forcas

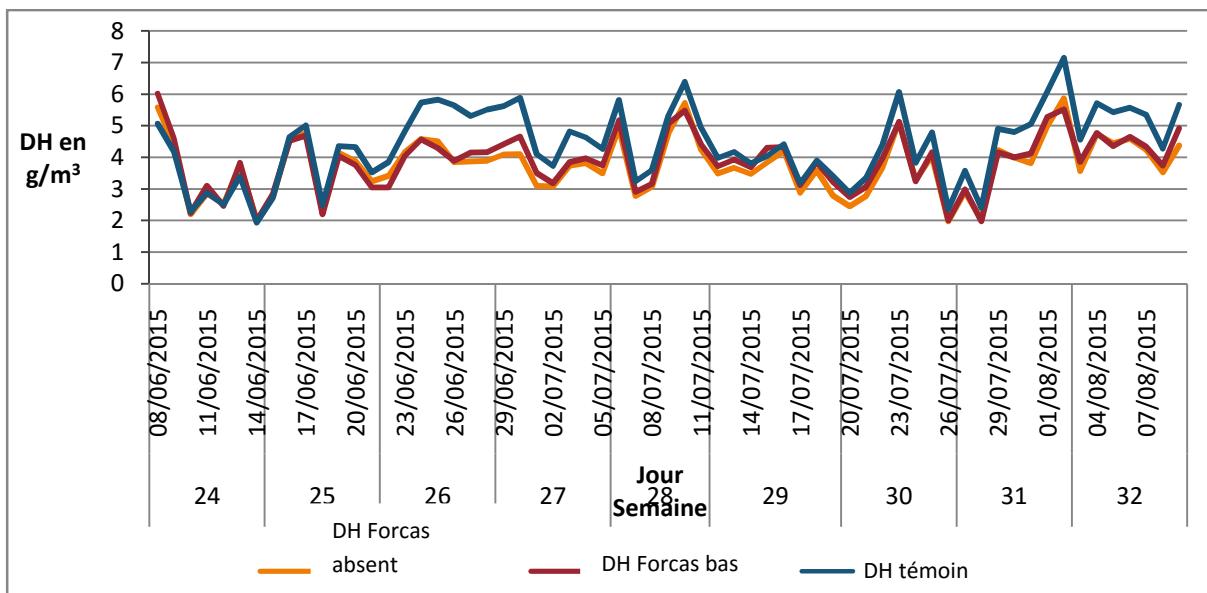


Figure 25 : Moyennes journalières du DH des différents modalités de l'essai positionnement forcas lors de la seconde culture

Tableau : VIII Résumé des tests statistiques de la figure 25

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Figure 25	Différence entre les moyennes de DH des trois modalités semaine 24 semaine 25 semaine 26 semaine 27 semaine 28 semaine 29 semaine 30 semaine 31 semaine 32	ANOVA	F (2, 18)=0,08 ; p=0,923 F (2, 18)=0,17 ; p=0,845 F (2, 18)=11,62 ; p=0,001 F (2, 18)=6,34 ; p=0,008 F (2, 18)=0,61 ; p=0,558 F (2, 18)=1,11 ; p=0,350 F (2, 18)=0,60 ; p=0,564 F (2, 18)=0,94 ; p=0,411 F (2, 18)=8,16 ; p=0,003	Non Non Oui Oui Non Non Non Non Oui

3.2.2. Essai palissages

3.2.2.1. 1^{ère} culture

Evolution des symptômes au cours de la première culture de l'essai palissages

Les notations sur le nombre de fruits infectés par la pourriture noire n'ont été effectuées que sur deux semaines lors de la première culture, ne permettant pas de mettre en avant une évolution des symptômes.

La fréquence d'infection sur collet par demi-rangs devient significativement différente entre les deux modalités à partir de la semaine 16 (Tableau VIII).

La fréquence de tiges infectées dans la modalité témoin est de 0,8% en semaine 18 et de 5,4% la semaine 20 (Figure 28). Il n'y pas eu de collets infectés par le chancre gommeux dans la modalité fil haut. Il n'y pas eu d'évolution du nombre d'infection sur collet sur la première culture dans la modalité fil haut.

Etude du climat sur la première culture de l'essai palissages

La journée du 1 mai étant la journée avec la moyenne de DH la plus faible sur la première culture de la semaine 14 à 20, les caractéristiques climatiques des serres 2 et 3 sont présentés en Figure 27.

Les DH des deux serres étaient semblables. La température de la serre en palissage en fil haut est plus élevée que la température de la serre contenant le témoin. La température au point de rosée est plus éloignée de la température de serre en serre en fil haut que dans la serre contenant le témoin. Le risque de condensation est donc moins important en serre en fil haut.

3.2.2.2. 2^{ème} culture

Evolution des symptômes au cours de la seconde culture de l'essai palissages

Les tests statistiques ont montré des différences significatives entre les fréquences de collets infectés de la modalité fil haut et de la modalité témoin des semaines 28 à 34 de la seconde culture. Les collets ont été moins infectés dans la modalité fil haut que dans le témoin (Tableau IX).

Les symptômes en modalité témoin sont visibles de la semaine 28. Au contraire, les symptômes dans la modalité fil haut ne sont apparus qu'à partir de la semaine 32. Lors de la semaine 34, la fréquence de collets infectés est de 2% dans la modalité fil haut contre 50% chez le témoin.

L'évolution de la maladie est différente dans les deux serres. L'évolution des symptômes sur collets dans la modalité fil haut est en faible augmentation, avec un retard par rapport au témoin.

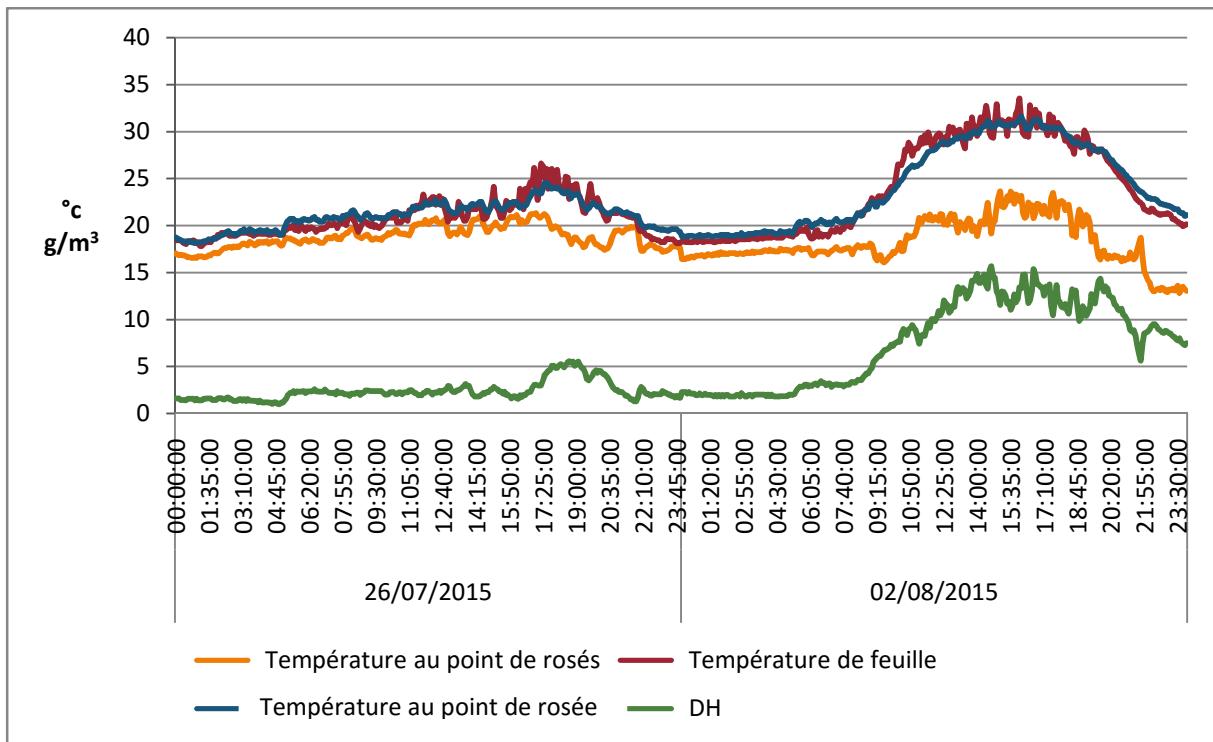


Figure 26 : Caractéristiques climatiques de la serre 3 sur les journées du 26 juillet et du 2 août

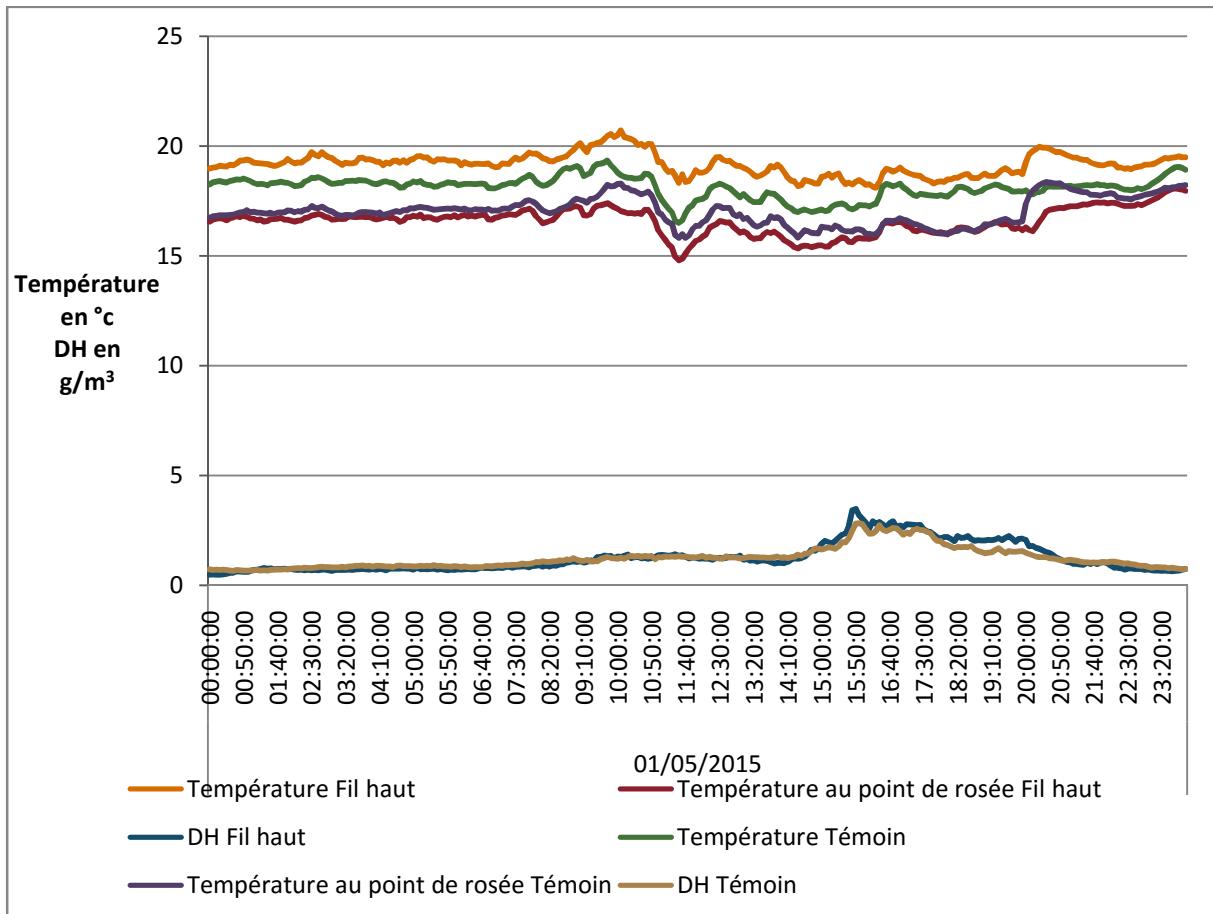


Figure 27 : Caractéristiques climatiques de la serre 3 et de la serre 2 sur la journée du 1 mai

Sachant que la culture en fil haut a été plantée en semaine 26, soit 5 semaines après la modalité témoin, une étude de la fréquence d'attaque des collets en fonction du stade de la culture a également été faite (Annexe J). L'étude en fonction de l'âge de la culture après plantation a montré le même résultat que la figure 12. La modalité fil haut à moins de collets infectés que la modalité témoin. Neuf semaines après plantations, il y avait 2% de tiges infectés en modalité fil haut contre 20% en modalité témoin.

Les différences sont significatives entre le nombre de fruits infectés par demi-rangs des deux modalités, sur les trois semaines de récoltes (Tableau IX).

On observe sur la figure 32, que la modalité fil haut est moins impactée par *D. bryoniae* que la modalité témoin. Sur les semaines 30 et 31 dans la modalité fil haut, aucun fruit infecté n'a été récolté, au contraire de la modalité témoin. Les premiers fruits infectés en palissage en fil haut ont été récoltés en semaine 32. 5 fruits infectés ont été récoltés dans la modalité fil haut, contre 24 fruits en modalité témoin sur la semaine 32.

La culture témoin est rentrée en production en semaine 24 (trois semaines après plantation) alors que la culture en fil haut est rentrée en production la semaine 29 (trois semaines après plantation).

Le calendrier a fait qu'il n'est pas possible de comparer le nombre de fruits infectés en fonction du stade de la culture.

Etude du climat sur la seconde culture de l'essai palissages

L'objectif est de comparer le climat des différentes modalités qui pourrait expliquer la différence de fréquence de symptômes dans la modalité fil haut et la modalité témoin et de mettre en évidence des périodes à risques qui favoriseraient le développement de *D. bryoniae*.

Les moyennes hebdomadaires des moyennes journalières de DH sont significativement plus élevées en serre en fil haut par rapport au témoin sur les semaines 28 et 29 (Tableau X).

On peut observer sur la figure 30 que deux journées ont des moyennes de DH faibles dans les deux serres. Le 26 et le 28 juillet ont présenté un DH de 2,4 g/m³.

Ce graphique n'a pas permis de mettre en évidence des journées à risques avec des moyennes de DH faible (inférieur à 1,5g/m³), comme lors de la première culture.

Le graphique 31 montre le climat de deux journées en serre en palissage en fil haut et en serre en palissage en V. Ces deux journées ont été choisies car elles représentaient deux journées avec deux moyennes des DH opposées et étaient suffisamment proches pour que le stade de la culture soit le même. La journée du 26 juillet est la journée avec la moyenne de DH la plus faible et le 2 aout est la journée avec la moyenne de DH la plus élevée.

Tableau IX : Résumé des tests statistiques des figures 28 et 29

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Figure 28	Fréquence d'attaque des collets en fonction des modalités : semaine 28 semaine 30 semaine 32 semaine 34	Khi ²	$F(1)= 178,90 ; p=0,000$ $F(1)= 323,49; p=0,000$ $F(1)= 562,55 ; p=0,000$ $F(1)= 915,98 ; p=0,000$	Oui Oui Oui Oui
Figure 28	Evolution des symptômes de la modalité témoin entre la semaine 28 et la semaine 34	ANOVA	$F(4,35)=64,10 ; p=0,000$	Oui
Figure 28	Evolution des symptômes de la modalité fil haut entre la semaine 28 et la semaine 34	ANOVA	$F(1,14)=17,66 ; p=0,001$	Oui
Figure 29	Nombres de fruits atteints par la pourriture noire : semaine 30 semaine 31 semaine 32	ANOVA	$F(1, 6)=19,44; p=0,000$ $F(1, 6)=9,35; p=0,022$ $F(1, 6)=6,25 ; p=0,046$	Oui Oui Oui

Semaine	Fréquence de collets infectés (Fil haut)	Fréquence de collets infectés (Témoin)
28	~0%	~12%
30	~0%	~20%
32	~0%	~32%
34	~2%	~50%

Figure 28 : Fréquence des collets infectés par rang sur la deuxième culture en fonction des modalités de l'essai palissages

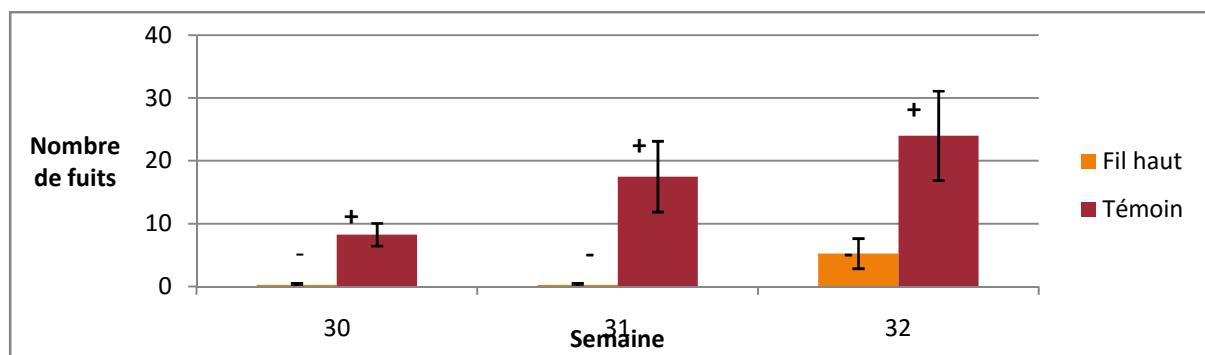


Figure 29 : Nombre de fruits infectés par demi-rangs sur deux récoltes hebdomadaires sur la deuxième culture en fonction des modalités de l'essai palissages

Sur la journée du 26 juillet, la température de la serre a peu augmenté durant l'après-midi, de 6°C. La température des feuilles est inférieure à la température de serre avant le lever du soleil.

La température au point de rosée est restée proche de la température de feuille, sauf pendant la période où le DH est plus élevé, de 17h à 21h30. Sur la période de 22h à minuit, les courbes de température au point de rosée et de température de feuille se superposent, formant une zone de risque de formation de condensation sur les plantes. Les courbes sont également très proches de minuit à 5h. A partir de 5h le DH augmente, augmentant la distance entre la température des feuilles et la température au point de rosée.

Sur journée du 2 aout, le DH, la température de la serre et la température des feuilles augmentent fortement l'après-midi, de 10°C. La température des feuilles est inférieure à la température de serre, sauf pendant la période où la température de la serre augmente. On observe la même augmentation du DH à 5h du matin que sur la journée du 26 juillet. Le DH reste plus faible en culture en fil haut surtout dans l'après-midi.

Les courbes de la température au point de rosée et de la température de feuille se superposent (dans les deux serres) de 6h à 8h du matin formant une période de risque de formation de condensation sur les plantes.

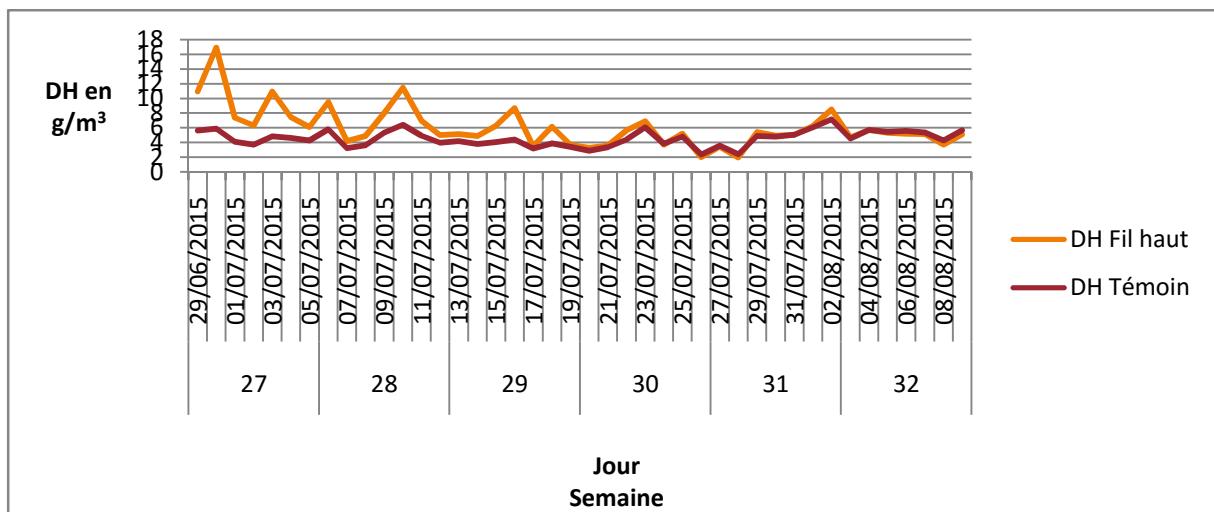


Figure 30 : Moyennes journalières de DH des serres 2 et 3, des semaines 27 à 32

Tableau X : Résumé des tests statistiques de la figure 30

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Figure 30	Différence entre les moyennes de DH des deux modalités semaine 27 semaine 28 semaine 30 semaine 32 semaine 34	ANOVA	F (1, 12)=4,70 ; p=0,049 F (1, 12)=5,60 ; p=0,034 F (1, 12)=0,25 ; p=0,631 F (1, 12)=0,06 ; p=0,808 F (1, 12)=0,45 ; p=0,520	Oui Oui Non Non Non

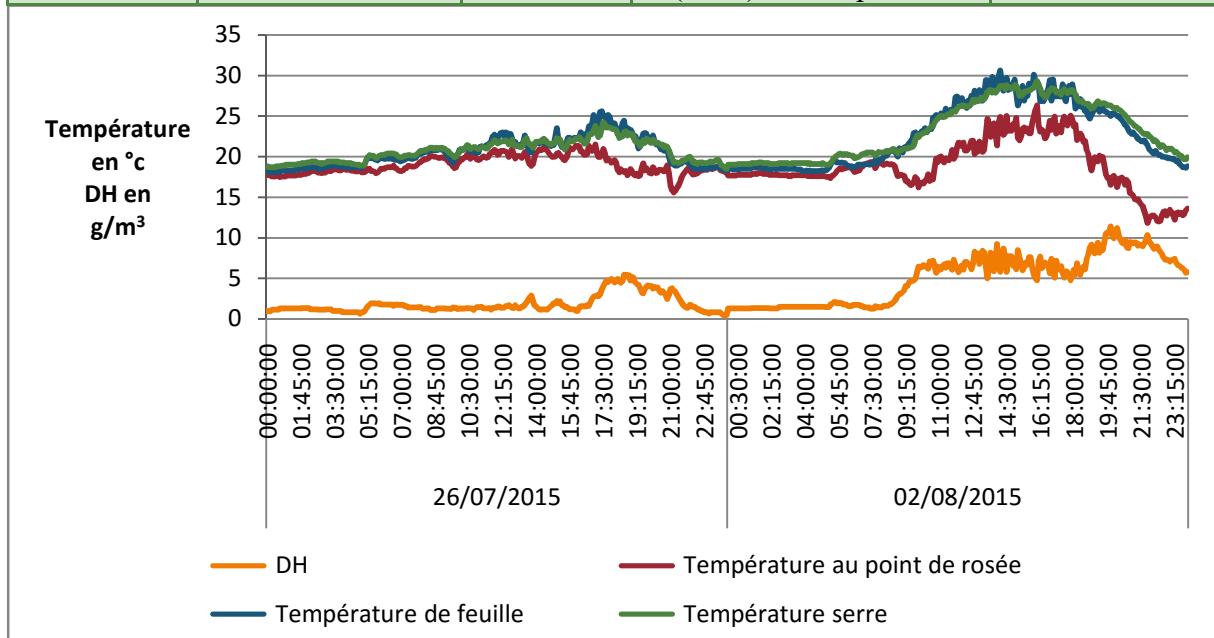


Figure 31 : Caractéristiques climatiques de la serre 2 sur les journées du 26 juillet et du 2 août

4. Discussion

4.1. Impact de *D. bryoniae* sur le rendement

L'un des objectifs de la mise en place de cette étude est de vérifier l'impact du pathogène *D. bryoniae* sur la production de concombre.

Lors de la première culture, *D. bryoniae* a eu un faible impact sur la culture de concombre. Il a provoqué une perte de fruits représentant 0,5% du nombre total de fruits récoltés (Figures 16 et 18) et une attaque sur les collets qui a touché 5,5% des tiges observées (Figure 20).

Lors de la seconde culture ce pathogène a eu un impact plus important. Il a occasionné une perte au niveau des fruits de 2,3% du nombre total de fruits récoltés (Figures 17 et 19). L'impact sur les collets a par contre fortement augmenté, atteignant 50% des tiges infectées (Figures 23 et 28).

Cette différence peut être expliquée par le fait que le pathogène peut se développer tout au long de l'année dans la serre, mais son incidence devient plus importante en été, après le mois de mai (Dik, 2015), lorsque les conditions climatiques extérieures font augmenter rapidement la température de la serre.

Le manque d'information sur la variété Marbon, cultivé en seconde culture, ne permet pas de savoir si le changement de variété a eu un impact dans l'augmentation des symptômes entre les deux cultures.

Le poids moyen des fruits infectés dans la modalité fil haut lors de la première culture est de 168g (Tableau IV). En seconde culture, ce poids moyen est de 227g (Annexe I2). Le poids moyen des fruits infectés des trois modalités de l'essai positionnement forcas en deuxième culture est de 263g (Annexe G2). Les fruits infectés ont donc un poids moyen inférieur au poids moyen des fruits commercialisables des deux serres (supérieur à 450g dans les deux cultures) (Tableau IV, Annexes F2, G2 et I2).

La taille moyenne des fruits infectés par *D. bryoniae* en première culture est plus importante dans les trois modalités de l'essai positionnement forcas est de 465g (Tableau IV). Ce poids moyen est similaire au poids moyen des fruits commercialisables dans cette serre (457g) (Tableau IV). Le poids moyen des fruits infectés dans les trois modalités témoin, forcas bas et forcas absent lors de la première culture est à pondérer. Près de 70% des fruits infectés avaient un poids inférieur à 400g, dont 46% ont un poids inférieur à 300g (Annexe F3). Cela signifie que la majorité des fruits infectés sont petits.

Sur les deux cultures et dans les deux essais, la majorité des fruits infectés avaient un poids inférieur au poids moyen des fruits commercialisés (Tableau IV, Annexes F2, G2 et I2). Cela signifie qu'il y a eu des attaques sur des stades jeunes du fruit. Les fruits peuvent avoir été infectés lors de la floraison comme le proposait Van Steekelenburg, en 1986. Les fruits infectés de grosses tailles sont minoritaires. Ils ont pu être infectés par la fleur fanée qui serait restée sur le calice (Van Steekelenburg, 1986).

Cette infection est plus difficile pour le champignon, le nombre de gros fruits est moins important que le nombre de petits fruits infectés. Cette hypothèse est en adéquation avec les résultats de cette étude.

La relocalisation du chauffage n'a pas eu d'influence sur le nombre de fruits atteints par la pourriture noire en première et en deuxième culture (Figures 16 et 17). Van Steekelenburg (1980) avait déterminé que la pourriture interne est 2 fois plus importante à une température de 26°C par rapport à une température de 23°C. La température est le facteur qui influence le plus le développement du champignon dans le fruit. Le forcas étant un tuyau de chauffage par rayonnement, son action aurait pu réchauffer les fruits favorisant ainsi la pourriture noire du fruit. L'hypothèse que le forcas en position haute favoriserait la pourriture noire des fruits n'est pas donc pas vérifiée avec cette étude.

Le forcas en position basse a engendré une augmentation des symptômes de chancre gommeux sur tiges durant la première culture (Figure 20). Lors de la seconde culture, le forcas en position basse a eu un effet inverse et a permis de retarder les symptômes sur tiges. L'absence du forcas a eu aussi un effet positif, retardant l'apparition des symptômes sur tiges, mais n'a pas diminué le nombre de tiges infectés en fin seconde culture (Figure 23). Ces résultats confirment les résultats des essais effectués lors de la première année du programme CONSER (Bombail, 2014). Le forcas bas en deuxième culture peut-être un moyen de retarder les symptômes de chancre gommeux sur collet.

En observant la figure 23, le nombre de tiges infectées dans les modalités de l'essai positionnement forcas commence à augmenter à partir de la semaine 28 et le nombre de fruits infectés commence à augmenter à partir de la semaine 30. Les symptômes sur collets semblent avoir influencé les symptômes sur fruits en deuxième culture, l'augmentation du nombre de fruits infectés arrivant deux semaines après l'augmentation du nombre de tiges infectées. Les symptômes sur collets sont une source potentielle d'inoculum pour l'infection des fruits. Les symptômes sur tiges signifient la présence de pycnide (Blancard *et al*, 1991). Une plus forte proportion de tiges infectées entraîne une plus grande proportion d'inoculum. La proportion de tiges atteignant un certain seuil, non déterminé, pourrait entraîner une augmentation de fruits infectés dans les semaines qui suivront à cause de l'augmentation de l'inoculum. Une forte augmentation des symptômes sur collets peut donc prévenir d'une future augmentation du nombre de fruits infectés.

Ce seuil de collets infectés qui entraîneraient une augmentation de symptômes sur fruits serait intéressant à déterminer dans une prochaine étude. Cela pourrait permettre au producteur de mettre en place des actions préventives pour limiter les infections sur fruits lorsque les symptômes sur collets dépasseraient ce seuil. Il pourrait par exemple, mettre en place l'enlèvement des fleurs fanées, cette technique étant trop couteuse en main d'œuvre et en temps pour être effectué tout le long de la culture.

Le palissage en fil haut a eu un impact positif sur le nombre de fruits atteints par la pourriture noire par rapport au palissage en V en première et en deuxième culture (Figures 18 et 19).

Concernant les attaques sur collet, le palissage en fil haut a permis de réduire le nombre de tiges infectées. En effet, aucune tige infectée n'a été observée lors de la première culture et seulement 2% des tiges en seconde culture, contre 50% pour le témoin (Figure 28). Cette information peut être mise en relation avec la diminution du nombre de fruits infectés par *D. bryoniae*.

Sachant que cette observation a été relevée dans la serre 3 contenant l'essai sur la relocalisation du chauffage, cela confirme le fait que les infections sur tiges favoriseraient les infections sur fruits.

4.2. Impact du climat sur *D. bryoniae*

Le second objectif de ce rapport est de déterminer l'impact du climat sur le pathogène *D. bryoniae*.

L'eau libre sur la plante étant un facteur d'infection du pathogène *D. bryoniae* des parties aériennes externes, la mise en évidence des périodes favorisant la formation de condensation sur les plantes pourrait permettre de mettre en évidence des périodes à risque dans le développement du pathogène. L'observation des moyennes journalières de DH(Figure21) a montré que les journées du 1 et 2 mai (semaine 18) présentaient les moyennes journalières de DH les plus faibles. Cela coïncide avec l'augmentation des symptômes sur collets entre la semaine 18 et la semaine 20

En détaillant le climat de la serre 3 sur la journée du 1^{er}mai (Figure 22), qui possède la moyenne de HR la plus élevé sur la figure, une relation est identifiable entre les périodes avec une HR très élevée (supérieur à 95%) et les périodes avec un DH faible (inférieur à 1 g/m³). Ces périodes correspondent aux intervalles où la température au point de rose est proche de la température de feuilles (moins de 1°C sur la majorité de la journée), donc des périodes où le risque de condensation est fort.

Les faibles valeurs de DH semblent avoir un rôle dans le développement des symptômes de chancre gommeux sur tiges. L'augmentation du DH de la serre sur la période de 13h30 à 18h, où la différence entre la température des feuilles et la température au point de rosée augmente, diminuant donc alors le risque de condensation, en est un exemple. Il serait intéressant de pouvoir se référer à cette valeur sachant que le DH est utilisé par certains logiciels climatiques comme valeur de référence pour la conduite climatique. Le DH est en effet une valeur qui permet de savoir quelles conditions de températures et d'humidités associées sont idéales pour la croissance de la plante. Y associer le risque de développement du pathogène serait un atout dans la gestion climatique de la culture.

Toutefois, un biais dans les mesures peut être soulevé. Le placement des différents instruments de mesures n'est pas au même niveau dans les serres. La caméra, qui permet de mesurer la température des feuilles, est au-dessus de la canopée, donc directement influencé par le rayonnement solaire. Au contraire, les sondes Hobo® et les sondes du producteur, qui servaient au calcul de la température au point de rosée, étaient placées au sein de la végétation.

L'étude du climat des journées du 1^{er} mai, 26 juillet et 2 aout (Figures 22, 26, 27et 31) ont permis de mettre en évidence plusieurs périodes à risque de formation d'eau qui favoriseraient le développement du pathogène.

La nuit correspond à une période où l'humidité est la plus élevée de la journée, notamment les journées où la température augmente peu (Figures 22 et 27). En effet l'humidité de l'air est élevée et la température des feuilles est plus faible que la température de l'air, favorisant les risques de condensations.

La période du réchauffement de la serre au moment du lever du soleil est une autre période qui peut entraîner la formation de condensation (Figures 26 et 31). La montée de DH que l'on peut observer le matin à 5h sur les figures 26 et 31 est due à la reprise du chauffage permettant de passer de la température de nuit à la température de jour. La reprise du chauffage a lieu une heure avant le lever du soleil (Météo France, 2015) chez le producteur accueillant l'essai. Van Steekelenburg (1986) avait déterminé qu'une reprise du chauffage 3h avant le lever du soleil pouvait diminuer les risques de condensation car cela permettait de faire monter doucement la température dans la serre. Une montée de température de serre de 0,5°C par heure est suffisant pour limiter les risques de condensation (Van Steekelenburg, 1986).

Une troisième période de risque intervient au moment de la fermeture des ouvrants le soir (Figures 26 et 31). En effet, la fermeture rapide des ouvrant sa provoqué une montée de l'humidité dans la serre à cause du confinement et de la transpiration des plantes (Yang *et al.*, 1990) provoquant une montée rapide de l'HR, une chute du DH et donc de la température au point de rosée. En parallèle on observe une diminution de la température des feuilles due à la diminution de la luminosité (Ctifl Centre de Carquefou, 2015). La température de la feuille influence la température de l'air immédiat. Dans cette zone l'air devient plus humide alors que sa capacité à contenir de l'eau sous forme de vapeur diminue à cause sa baisse de chaleur, provoquant de la formation d'eau sur les surfaces de la serre (UVED, 2006).

L'étude du climat a montré peu de différence des moyennes journalière de DH entre les trois modalités de l'essai sur positionnement du forcas sur les deux cultures. Cela peut être mis en relation avec le fait qu'il n'y a pas eu de différence du nombre fruits infectés dans ces modalités (Figures 16 et 17). Par contre, la position forcas a eu un impact sur le nombre de collets infectés en deuxième culture (Figure 23). Le placement des sondes à hauteur des fruits n'a pas permis de mesurer les changements climatiques aux environs immédiats des collets. Il serait intéressant de disposer des sondes qui mesureraient la température et l'HR au niveau du forcas en position basse.

Dans le second essai, l'infection des collets et des fruits a été plus faible dans la modalité fil haut en comparaison avec le témoin (Figure 28). Les moyennes journalières de DH ont été peu différentes. Là encore, les sondes de mesures n'étaient pas disposées au même niveau dans la serre.

La conduite climatique différente en culture en palissage en fil haut a permis de réduire l'influence de *D. bryoniae* sur fruits et sur collets.

5. Conclusion

Le positionnement du forcas en position basse peut être un moyen de gestion de *D. bryoniae* sur la culture estivale seulement, car il possède un effet inverse sur la culture de printemps. Le positionnement du forcas n'a par contre pas d'impact sur le nombre de fruits infectés par *D. bryoniae*. La conduite climatique différente en palissage en fil haut permet de retarder et de diminuer l'impact de *D. bryoniae* sur fruits et sur collets.

L'incidence du pathogène fut la plus importante pendant la période estivale. Trois périodes favorisant le développement de *D. bryoniae* ont pu être mises en évidence. La première période est lors de la nuit avec une humidité de l'air élevée et des valeurs d'HR supérieures à 95%, la seconde période est au moment de la relance de chauffage le matin. Une anticipation dès la relance du chauffage plusieurs heures avant le lever du soleil permettrait de faire monter lentement la température de la serre, limitant la condensation sur les plantes. La dernière période à risque est au moment de la fermeture des ouvrants de la serre. La montée de l'humidité, liée au confinement et à la transpiration des plantes, couplée à la descente de la température des feuilles entraîne des conditions favorables à la condensation. Eviter le confinement le soir, ou ralentir la fermeture des ouvrants permettrait de limiter les risques de formation de condensation.

Afin de pouvoir confirmer ces hypothèses, il faudrait suivre le risque de condensation avec une réelle formation d'eau sur les plantes. L'utilisation de sondes d'humectation pourrait permettre de mesurer le risque réel de condensation et de déterminer un seuil avec les valeurs de DH et d'HR.

Il serait intéressant de renouveler ces expérimentations en augmentant la fréquence des notations. Faire des notations hebdomadaires sur les symptômes sur collets permettrait de détecter plus finement les augmentations de symptômes sur tiges. Cela permettrait de pouvoir déterminer un seuil correspondant à un nombre de collets infectés qui entraînerait une augmentation des symptômes sur fruits. Ce seuil pourrait être un indicateur de l'augmentation de la pression d'inoculum favorisant les symptômes sur fruits. Cela permettrait de pouvoir prendre rapidement des mesures pour lutter contre la pourriture noire sur fruits, comme enlever les fleurs mortes sur les jeunes fruits, ou gérer l'humidité de la serre pour éviter des valeurs de DH trop faibles.

Bibliographie

Sitographie

Blancard D., & Mayet V. (2014). *Didymella bryoniae (fuckel) Rehm (1881)*. Consulté le 15/05/2015 <http://ephytia.inra.fr/fr/C/7680/Melon-Didymella-bryoniae>

CDDM. (s.d.). *Le maraîchage en Loire Atlantique*. Consulté le 25/05/2015 <http://www.cddm.fr/page/le-mara%C3%A9chage-en-loire-atlantique>

Google map. (2015). *SCEA Cheminant*. Consulté le 05/12/2015
<https://www.google.fr/maps/place/Cheminant+SCEA/@47.2938348,-1.4391941,17z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x4805fad80f0549cb:0x577cc6e68bc2e674>

Météo France. (2015). *Météo france Nantes : prévisions actualisées*. Consulté le 08 14, 2015, sur Météo France: <http://www.meteofrance.com/previsions-meteo-france/nantes/44000>

Ministère de l'agriculture et de l'agroalimentaire. (2015, 06 24). *Intrant : PRESTOP*. Consulté le 06 26, 2015, sur e-phy: <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>

Rijk Zwaan. (2015). *Légumes fruits gammes professionnels 2015*. Consulté le 19/06/2015
<http://www.rijkzwaan.fr/wps/wcm/connect/caea9738-dd65-42b5-888f-6700b49013fa/RZ13LegumesFruits2015+BAT.pdf?MOD=AJPERES>

UVED. (2006). *Processus de condensation*. Consulté le 04/05/2015 <http://sup.ups-tlse.fr/urved/Ozone/BasesScientifiques/projet/site/html/ProcessusCondensation.html>

Communications personnelles :

Harrault R. Représentant commercial Rijk Zwaan (12/07/2015). Informations relatives à la variété de concombre Marbon.

Meunier E., conseillère culture légumière sous serres verre chauffées (28/03/2015). Impact du pathogène *D. bryoniae* sur les cultures de concombre.

Ouvrages :

Aerts R. (2014). Mycospharella ou Didymella bryoniae sur concombre. Présentation d'un spécialiste, Nantes.

Albert B. (2014a). Concombre hors sol sous serre 2014 : Essai d'optimisation du pilotage de la température en serre. Compte rendu d'essai, Ctifl.

Albert B. (2014b). Concombre hors sol sous serre 2014 Testvariétal - Culture de printemps-été. Compte rendu d'essai, CTIFL, Carquefou.

- Albert B., Pelletier B., Berge L., Meunier E., Bournet P., Aubret V., et al. (2014). Mise au point d'une méthodologie pour accroître la compétitivité et l'efficience des cultures de concombre hors sol sous serre - CONSER. *Appel à projet 2014*.
- Arnoux P. (2014). Concombre. *Agreste conjoncture*, p. 4.
- Arny C., & Rowe R. (1991). Effects of temperature and duration of surface wetness on spore production and infection of cucumbers by *Didymella bryoniae*. *Phytopathology*, 81(2), pp. 206-209.
- Blancard D., Lacoq H., & Pitrat M. (1991). Maladies des curcubitacées: Observer, Identifier, Lutter. (INRA, Éd.) Limoges.
- Bombail A., Meunier E., & Brigitte, P. (2014). Synthèse de l'essai 2014: Effet de la position du Forcas sur le *Didymella* en culture de concombre. CDDM.
- Brajeul E., Javoy M., Pelletier B., & Letard M. (2001). Le concombre. Issoudum: CTIFL.
- Carrier A. (2008). Un problème méconnu: le chancre gommeux de la tige du concombre. 13, pp. 1-6.
- Chasseriaux G. (2008). Deshumidification de l'air. 30-31 janviers 2008, Angers.
- Ctifl Centre de Carquefou. (2015). *Travaux écophysiologie cultures hors sol sous serre 2015*. Visite d'essais .
- De Neergaard E. (1989). Histological investigation of flower parts of cucumber infected by *Didymella bryoniae*. *Canadian journal of plant pathology*(11), pp. 28-38.
- Dik A., consultant I., & McPherson, M. (2015). Cucumber : Epidemiology and control of *Mycosphaerella*. *HDC*, pp. 1-8.
- Fiori A., Schwan-estrada, K., Stangarlin, J., Vida, J., Scapim, C., Cruz, M., et al. (2000). Antifungal activity of leaf extracts and essential oils of some medicinal plants against *Didymella bryoniae*. *J. phytopathology*148, pp. 483-487.
- Jewett T. J., & Jarvis W. R. (2001). Management of greenhouse microclimate in relation to disease control: a review. *Agronomie*21, 351-366.
- Lamb, E., Rosskopf, E., & Koblegard, C. (2002). Use of kaolin clay for disease control in greenhous cucumbers. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*(115), pp. 180-182.
- Svedelius, G., & Unestam, T. (1978). Experimental factors favouring infection of attached cucumber leaves by *Didymella bryoniae*. (71), pp. 89-97.

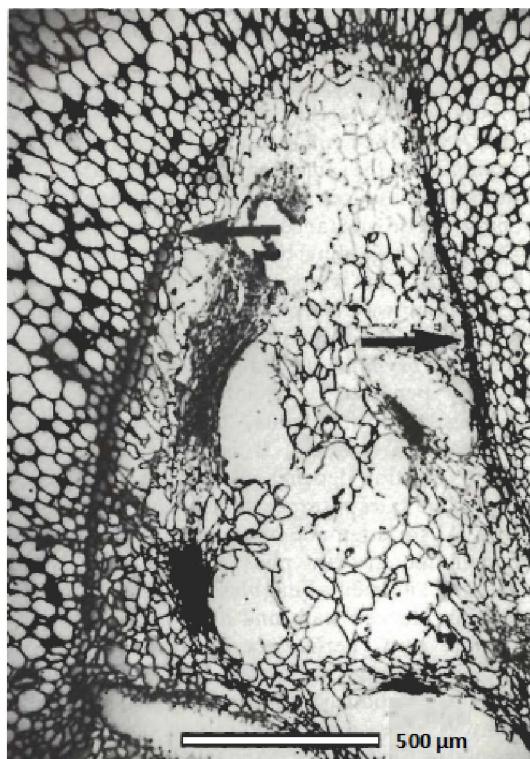
- Svedelius G., & Unestam T. (1978). Experimental factors favouring infection of attached cucumber leaves by *Didymella bryoniae*. 71, pp. 89-97.
- Urban I., & Urban I. (2010a). *La production sous serre : La gestion du climat*. Paris: Lavoisier.
- Urban I., & Urban I. (2010b). *La production sous serre : L'irrigation fertilisante en culture hors sol* (éd. 2e). Paris, France: Lavoisier.
- Van Steekelenburg N. (1985). Influence of humidity on incidence of *Didymella bryoniae* on cucumber leaves and growing under controlled environmental conditions. *Neth. J. Pl. Path.* 91, pp. 277-283.
- Van Steekelenburg N. (1986). Factors influencing internal fruit rot of cucumber caused by *Didymella bryoniae*. *Neth. J. Pl. Path.* 92, pp. 81-91.
- Von Elsner B., Briassoulis, D., Waaijenberg D., Mistriotis, A. V., Grataud, J., Russo, G., et al. (2000). Review of structural and functional characteristics of greenhouse in European Union Countries : Part I, Design requirements. *J. agric. Engng. Res.*, 75, pp. 1-16.
- Yang X., Short T.H., Fox R. D. & Bauerle W.L. (1990). Transpiration, leaf temperature and stomatal resistance on a greenhouse cucumber crop. *Agricultural and forest meteorology*, 51, pp. 197-209.

ANNEXE A

Annexe A1 : Tableau des caractéristiques des deux variétés de concombre utilisé pour les essais (Source : Harrault, communication personnel, 2015)

	Proloog	Marbon
Port de la plante	une plante aérée avec des entre nœuds courts	<i>sans information</i>
Taille des feuilles	des feuilles petites	des feuilles plus larges
Longueur du fruit	long fruit	long fruit
Qualité des fruits	Bonne	Bonne

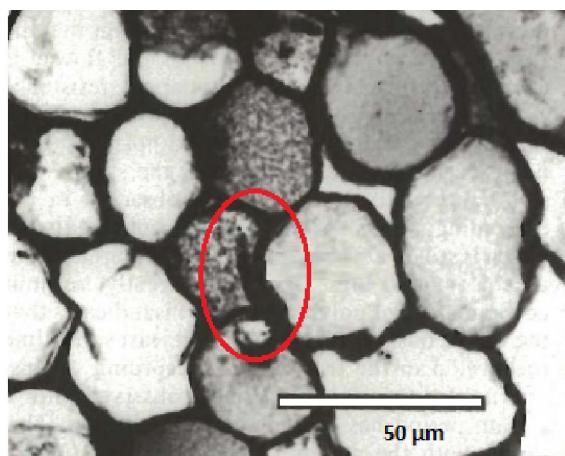
ANNEXES B



Légende :

Les flèches indiquent les cellules des tissus de transmission qui accumule les substances granuleuses et phénoliques dans le but de limiter l'expansion du mycélium.

Annexe B1 : Section transversale d'un fruit atteint de pourriture noire (Source : de Neergaard, 1989)

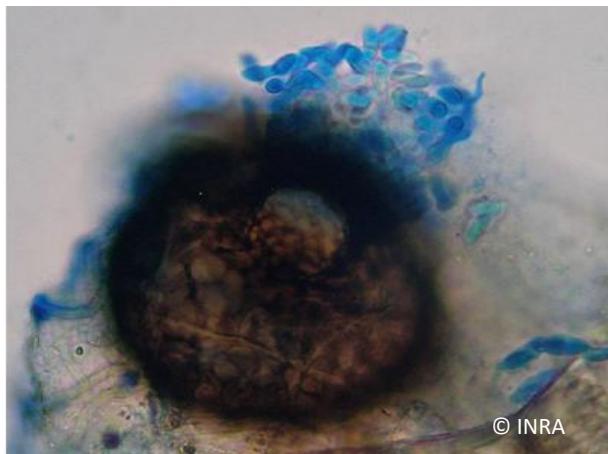


Légende :

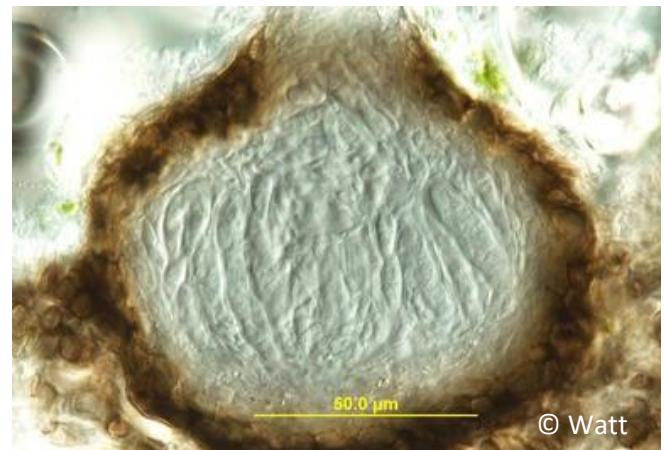
Le cercle montre un hyphe dans une cellule accumulant des substances granuleuses.

Annexe B2 : Section transversal d'un fruit atteint de pourriture noire, détail de l'annexe B1 (Source : de Neergaard, 1989)

ANNEXES C



Annexe C1 : Pycnide de *D. bryoniae* éclaté laissant échapper des conidies (Source : Blancard et Mayet, 2014)



Annexe C2 : Coupe transversale d'un périthèce de *D. bryoniae* contenant des ascospores (Source: Watt, 2015)



Annexe C3 : Conidies de *D. bryoniae*



Annexe C4 : Ascospores de *D. bryoniae*

ANNEXES D

Annexe D1 : Formule du calcul de la température au point de rosé (Source : Ctifl centre de Carquefou, communication personnel)

$$T^{\circ}\text{rosé} = \left(\left(HR^{\frac{1}{8}} \right) * \left(112 + (0,9 * T^{\circ}) \right) \right) + (0,1 * HR) - 112$$

Avec :

T° rosé : température au point de rosé ($^{\circ}\text{c}$) ; HR : Humidité relative (%) ; T° : température de l'air ($^{\circ}\text{c}$)

Annexe D2 : Formule du calcul du DH (Source : Ctifl centre de Carquefou, communication personnel)

$$\text{DH} = ((0,622 * ((1 * \text{PVS}) / (\text{Ptotal} - \text{PVS} * 1)) * 1000)) - \text{r}$$

Avec :

PVS : pression de vapeur à saturation (kPa) ; Ptotal: pression atmosphérique totale (kPa) ; r : teneur en eau (g d'eau par Kg d'air sec).

ANNEXE E

Annexe E1 : Tableau des avantages et inconvénients des palissages en V et sur fil haut

	Avantages	Inconvénients
Système en V	Optimisation de la répartition du couvert végétal (meilleur interception lumineuse) Facilitation de la taille des plantes	Rendement inférieur
Système en fil haut	Optimisation de l'espace Limitation des déformations mécaniques des fruits Facilité des travaux d'entretien de la plante Meilleur rendement	Temps de main d'œuvre important

ANNEXES F

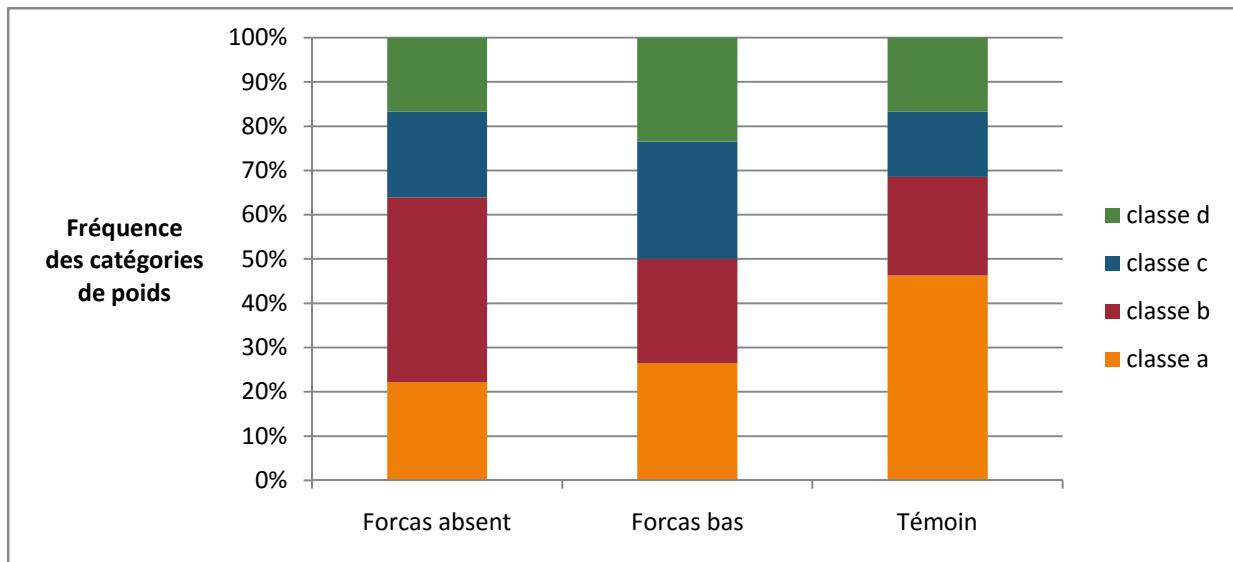
Annexe F1 : Résumé des tests statistiques des annexes F2 et F3

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Annexe F2	Différence du poids moyen des fruits infectés en fonction des trois modalités	ANOVA	$F(2, 12)=1,19 ; p=0,340$	Non
Annexe F2	Différence du poids moyen des fruits n. i. en fonction des trois modalités	ANOVA	$F(2,12)=0,07 ; p=0,375$	Non
Annexe F2	Différence entre le poids moyen des fruits infectés et des fruits n. i. dans la modalité témoin	ANOVA	$F(1, 10)=0,61 ; p=0,458$	Non
Annexe F2	Différence entre le poids moyen des fruits infectés et des fruits n. i. dans la modalité forcas absent	ANOVA	$F(1, 10)=0,48 ; p=0,508$	Non
Annexe F2	Différence entre le poids moyen des fruits infectés et des fruits n. i. dans la modalité forcas bas	ANOVA	$F(1,10)=0,20 ; p=0,670$	Non
Annexe F3	Différence de la répartition par classe en fonction des modalités	χ^2	$F(3) = 6,14 ; p=0,104$	Non

Annexe F2 : Poids moyen des fruits commercialisables, des fruits n. i. et des fruits infectés de la première culture dans les trois modalités de l'essai positionnement forcas

	Poids moyen des fruits infectés	Poids moyen des fruits n. i.	Poids moyen des fruits commercialisables
Forcas absent	360 g n.s.	324 g n.s.	458 g
Forcas bas	338 g n.s.	303 g n.s.	458 g
Témoin	467 g n.s.	232 g n.s.	458 g

n.s. non significatif



Annexe F3 : Proportion de la répartition du nombre de fruits infectés en fonction de la catégorie de poids lors de la première culture sur l'essai positionnement forcas

ANNEXES G

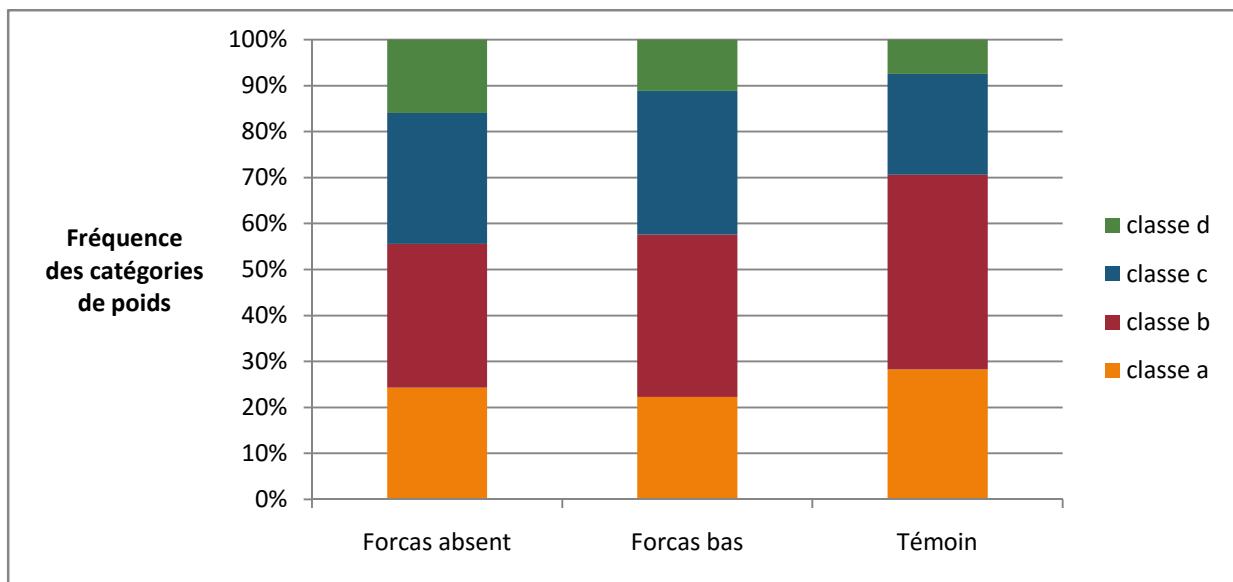
Annexe G1 : Résumé des tests statistiques des annexes G2 et G3

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Annexe G2	Différence du poids moyen des fruits infectés en fonction des trois modalités	ANOVA	$F(2, 24)=0,31 ; p=0,737$	Non
Annexe G2	Différence du poids moyen des fruits n. i. en fonction des trois modalités	ANOVA	$F(2,24)=0,09 ; p=0,913$	Non
Annexe G2	Différence entre le poids moyen des fruits infectés et des fruits n. i. dans la modalité témoin	ANOVA	$F(1, 24)=18,53 ; p=0,000$	Oui
Annexe G2	Différence entre le poids moyen des fruits infectés et des fruits n. i. dans la modalité forcas absent	ANOVA	$F(1, 24)=25,86 ; p=0,000$	Oui
Annexe G2	Différence entre le poids moyen des fruits infectés et des fruits n. i. dans la modalité forcas bas	ANOVA	$F(1,24)=22,49 ; p=0,000$	Oui
Annexe G3	Différence de la répartition par classe en fonction des modalités	Khi ²	$F(6)=11,68 ; p=0,007$	Non

Annexe G2 : Poids moyen des fruits commercialisables, des fruits n. i. et des fruits infectés de la deuxième culture dans les trois modalités de l'essai positionnement forcas

	Poids moyen des fruits infectés	Poids moyen des fruits n. i.	Poids moyen des fruits commercialisables
Forcas absent	398 g <i>a</i>	285 g <i>b</i>	470 g
Forcas bas	373 g <i>a</i>	274 g <i>b</i>	470 g
Témoin	361 g <i>a</i>	364 g <i>b</i>	470 g

Les différentes lettres représentent des groupes significatifs

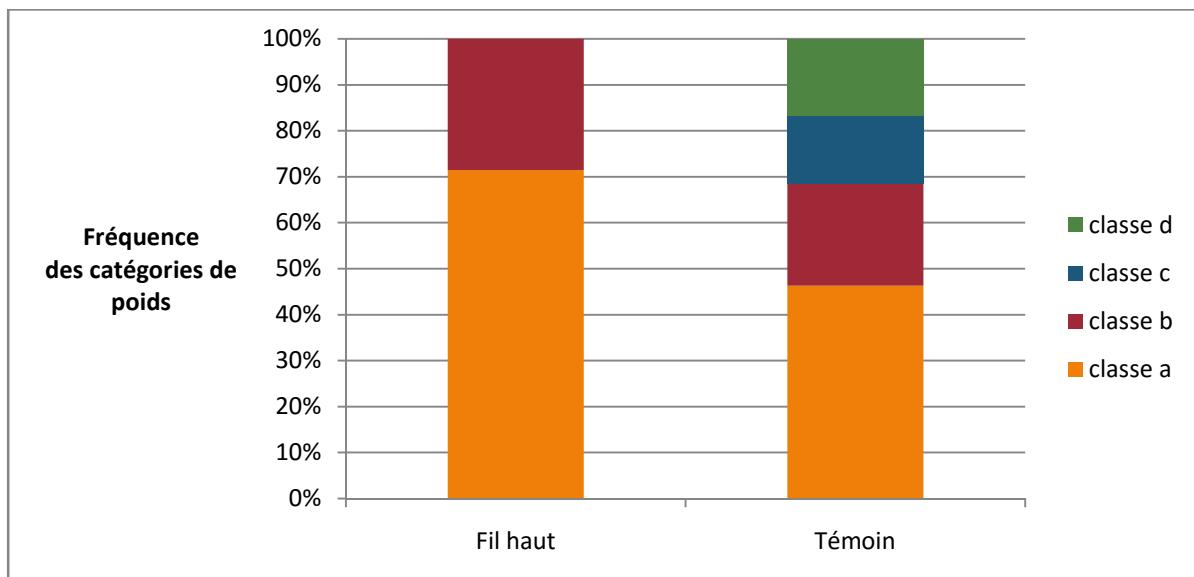


Annexe G3 : Proportion de la répartition du nombre de fruits infectés en fonction de la catégorie de poids lors de la deuxième culture sur l'essai positionnement forcas

ANNEXES H

Annexe H1 : Résumé des tests statistiques de l'annexe H2

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Annexe H2	Différence de la répartition par classe en fonction des modalités	Khi ²	F(3) = 6,14 ; p=0,104	Non



Annexe H2 : Proportion de la répartition du nombre de fruits infectés en fonction de la catégorie de poids lors de la première culture sur l'essai palissages

ANNEXES I

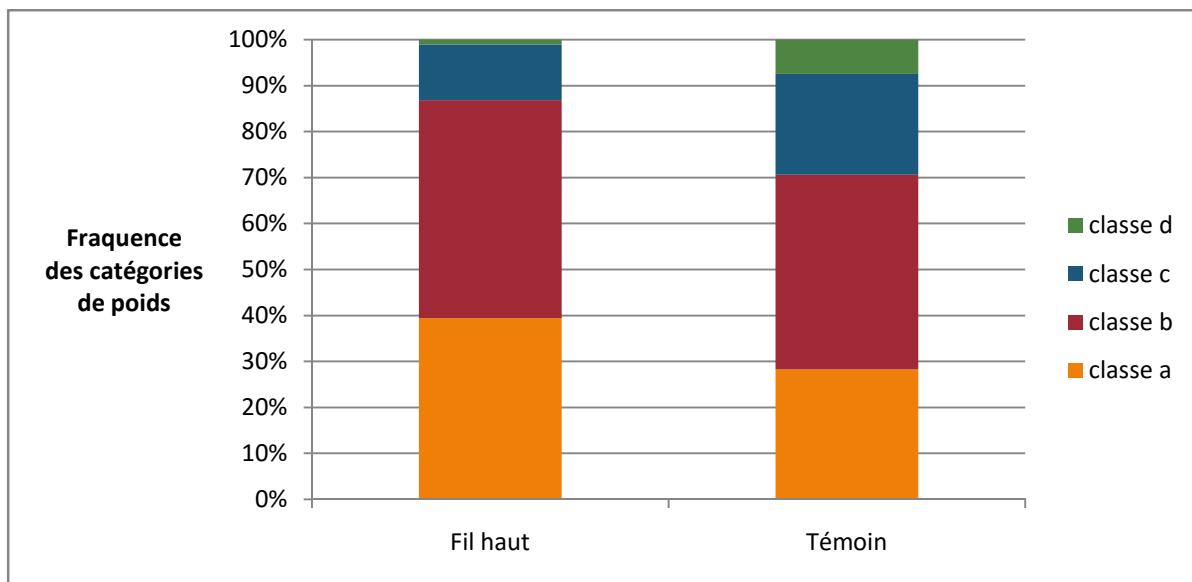
Annexe I1 : Résumé des tests statistiques des annexes I2 et I3

Numéro de la figure	Variables analysées	Test statistique	Résultats	Significativité
Annexe I2	Différence du poids moyen des fruits infectés en fonction des deux modalités	ANOVA	$F(1, 8)=0,34 ; p=0,583$	Non
Annexe I2	Différence du poids moyen des fruits n. i. en fonction des deux modalités	ANOVA	$F(1, 8)=0,59 ; p=0,470$	Non
Annexe I2	Différence entre le poids moyen des fruits infectés et des fruits n. i. dans la modalité fil haut	ANOVA	$F(1, 8)=2,62 ; p=0,155$	Non
Annexe I3	Différence de la répartition par classe en fonction des modalités	Khi^2	$F(3)=3,73 ; p=0,293$	Non

Annexe I2 : Poids moyen des fruits commercialisables, des fruits n. i. et des fruits infectés de la deuxième culture dans les deux modalités de l'essai palissages

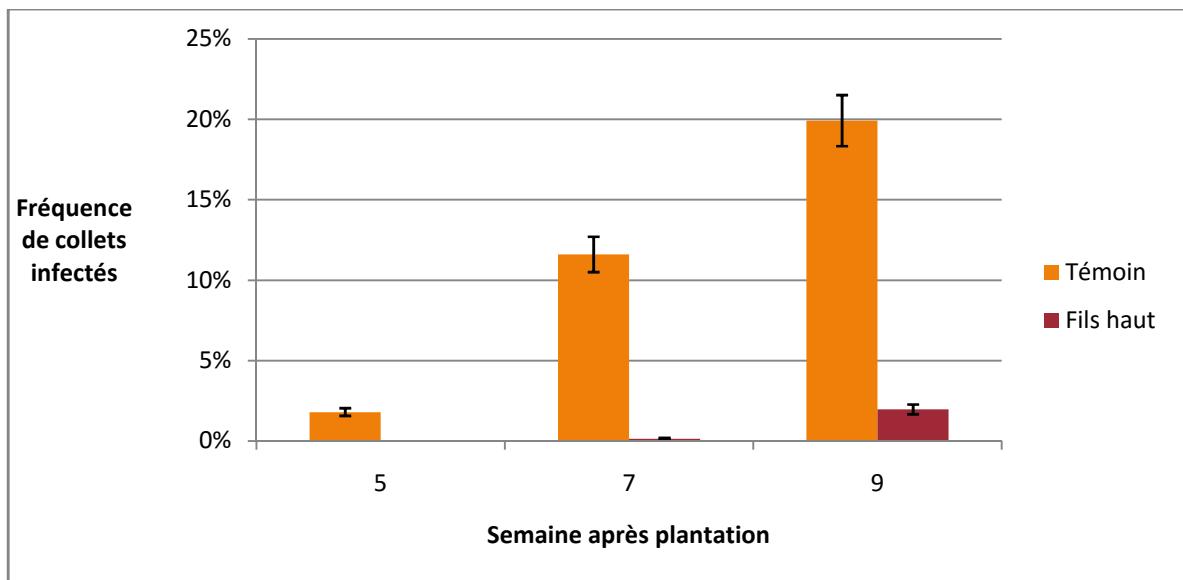
	Poids moyen des fruits infectés	Poids moyen des fruits n. i.	Poids moyen des fruits commercialisables
Fil haut	303 g n.s.	227 g n.s.	455 g
Témoin	364 g n.s.	266 g n.s.	458 g

n.s. non significatif



Annexe I3 : Proportion de la répartition du nombre de fruits infectés en fonction de la catégorie de poids lors de la deuxième culture sur l'essai palissages

ANNEXE J



Annexe J1 : Fréquence de collets infectés par rangs en semaine après plantation en seconde culture de l'essai palissages

  UNIVERSITÉ ANGERS UNIVERSITÉ DE RENNES 1	<p>Diplôme / Mention: Sciences Technologie Santé Spécialité: Production et Technologies du Végétal (ProTeV) Parcours : Productions Végétales spécialisées Option : Produits phytosanitaires, réglementations, méthodes alternatives</p>
Auteur : Emeline Tignon	Organisme d'accueil : C.D.D.M. Adresse : 6 rue de la flamme Olympique
Nb pages: 29 Annexes: 20	Z.A. de Vias 44860 Pont Saint Martin
Année de soutenance: 2015	Maître de stage: Emilie MEUNIER
<p>Titre en français: Gestion de la conduite climatique dans la lutte contre <i>Didymella bryoniae</i> en cultures printanière et estivale de concombres sur substrats sous serre verre chauffée</p> <p>Titre en anglais: Driving climatic management in the fight against <i>Didymella bryoniae</i> in spring and summer hydroponics cucumber crops under heated glasshouse</p>	
<p>Résumé : L'objectif de cette étude, réalisée en 2015, est d'évaluer l'impact de la conduite climatique et culturale sur la gestion du pathogène <i>Didymella bryoniae</i> et son impact sur la productivité en système de production de concombres hors-sol sous serres verre chauffées. La première stratégie testée est la relocalisation du forcas, un tuyau de chauffage déjà utilisé en culture de concombre. La position haute, proche des fruits, est comparée à une position plus basse, proche des collets et à une absence de forcas. La seconde stratégie consiste à étudier un système de palissage en « fil haut », inspiré de la culture de tomate, et de le comparer au palissage en « V ». Les résultats ont montré que ce pathogène infecte les fruits au moment de la floraison. De plus, le positionnement du forcas en position basse a un effet bénéfique sur le nombre de collets infectés en culture estivale, mais il augmente le nombre de collets infectés en première culture. Le palissage en fil haut permet, lui, de réduire le nombre de fruits et de collets infectés sur les cultures printanière et estivale. L'humidité étant le facteur qui influence le plus le développement de <i>D. bryoniae</i>, trois périodes de risque de condensation sur plantes ont été mises en évidence : la nuit lorsque l'humidité est élevée, au moment du lever du soleil lors de la reprise du chauffage et le soir à la fermeture des ouvrants.</p>	
<p>Abstract: This study's goal, made in 2015, is to estimate the influence of the climatic and cultivated management on the <i>Didymella bryoniae</i> pathogen and his impact on the productivity of hydroponics cucumber under heated glasshouse. The first strategy is to relocate the positioning of the heating pip, called "forcas", already in use in cucumber's crop. The upper position, close to the fruits, is compared to a lower position next to the bottom of the stem and to an absence of forcas. The second one involve testing a new trellising different to the classic "V" system, the high string trellising, inspired by the tomato's crop. Results point out that the pathogen infects the fruits during blossoming. The forcas' positioning in low position had a good impact on the number of infected stem in summer crop, but also increased the number of infected stem in first crop. The high string trellising allows decreasing the number of infected fruits and stems on the spring and summering crop. Dampness being the most influent factor in the <i>D. bryoniae</i>'s development, three hazardous periods of dew on plant has been revealed: the night when the humidity is high, during the sunrise and the resumption of the heating system, and the evening when the opening are closed.</p>	
<p>Mots-clés: <i>Didymella bryoniae</i>, <i>Cucumis sativus</i>, gestion climatique, relocalisation du chauffage, système de palissage</p> <p>Key Words: <i>Didymella bryoniae</i>, <i>Cucumis sativus</i>, climatic management, positioning of the heating pip, trellising system</p>	

