

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE BLIDA -1
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIES

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de master académique
Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème

EFFETS DES EXSUDATS RACINAIRES ET DU STADE
PHENOLOGIQUE DE L'AUBERGINE SUR LA DYNAMIQUE DU
VERTICILLIUM SP

Présenter par :

BENALI Loubna

MEZIANE Souad Amel

Devant le jury composé de :

B. KIRDI	Maître assistant B	U.Blida 1	Président
M. ABBAD	Maître assistant A	U.Blida 1	Examineur
F. BOUCHENAK	Maître de conférences B	U.Blida 1	Promotrice
H. DEGAÏCHIA	Thésard	U.Blida 1	Co-promoteur

Année universitaire 2016/ 2017

Remerciement

Nous tenons à remercier avant tout Dieu tout puissant de nous avoir accordé la force, la patience, la santé et le courage pour accomplir ce travail.

*Nous tenons à exprimernos vifs remerciements et notre profonde gratitude à notre promotrice Mme **Fatima BOUCHENAK** ainsi qu'à notre Co-promoteur Mr **Housseem DEGAICHIA** qui nous ont beaucoup aidée à réaliser ce mémoire.*

Nos vifs remerciements vont aux membres du jury :

*Mr **Bilal KIRDI**, d'avoir bien voulu présider ce jury, Mr **Mohamed ABBAD**, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous exprimons également nos remerciements à **Mme karima** pour son aide sa gentillesse.*

Nous remercions également toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Souad et Loubna

SOMMAIRE

Liste Des Figures

Liste Des Tableaux

Introduction.....01

Chapitre I : Données bibliographique

I. Généralités sur l'aubergine.....	03
I.1 Origine.....	03
I.2 Description botanique de la plante.....	03
I.2.1 Classification botanique da l'aubergine.....	04
I.3 Les exigences climatiques de la plante.....	04
I.4 Principes variétés cultivées.....	05
I.4.1 Violette longue hative	05
I.4.2 Violette longue-race caminal	05
I.4.3 Aubergine imperial black beauty	05
I.4.4 Aubergine Goyo-Kumba	05
I.5 Les stades phénologique de la plante	06
I.6 La fertilisation.....	06
I.6.1 Production de matière sèche	06
I.7 Gestion de la santé des sols	07
I.8 Les maladies et ravageurs de l'aubergine.....	07
I.9 Intérêt commerciale	08
I.10 La production d'aubergine dans le monde.....	09
I.11 La production d'aubergine en Algérie	09
II. La verticilliose.....	10
II.1 <i>Verticillium sp.</i> : L'agent causal de la verticilliose.....	10
II.2 Taxonomie.....	10
II.3 Cycle biologique.....	13
II.4 Facteurs de développement.....	14

II.5 Mécanismes de transmission et dispersion	15
II.6 Symptômes observés sur les cultures maraichères	15
II.7 Traitements préventifs et curatifs contre la verticilliose	16
II.8 Importance économique de la verticilliose dans le monde et en Algérie	18
III. Rhizosphère et exsudations racinaires	19
III.1 Rhizosphère	19
III.2 Exsudation racinaire	19
IV. Rôle des exsudats racinaires dans les étapes précoces des interactions Racinaires- microorganismes telluriques	21

Chapitre II : Matériels et méthodes

I. Objectif de l'expérimentation	24
II. Détermination l'humidité du sol et sa capacité de rétention	24
III. Matériel végétal	24
III.1. pré- germination	25
III.2. Taux de germination	25
III.3. Transplantation des plantules	26
III.4. Choix du stade de prélèvement des exsudats racinaires	26
III.5. Détermination du poids frais et sec de la partie aérienne et souterraine des plantules d'aubergine	27
IV. Matériel fongique	28
V. Evaluation de la vitesse de déplacement du <i>Verticillium</i> en présence des exsudats racinai	29
V.1. L'extraction des exsudats racinaires	29
V.2. Inoculation du tube d'Evans	30
V.2.1. Préparation de l'inoculum	30
V.2.2 Préparation du tube d'Evans	30
V.2.2.1. Description du tube d'Evans	30
V.2.2.2. Préparation du tube d'Evans	30
V.2.2.3. Inoculation du tube d'Evans	31
V.2.3. Prélèvement des échantillo	31
V.2.3.1. Stérilisation de l'emporte-pièce pour les prélèvements	31
V.2.3.2. Prélèvement	32

V.2.4. Ré-isolement et identification du <i>Verticillium</i> sp.....	32
V.2.4.1. Ensemencement.....	32
V.2.4.2. Observations des caractères macroscopiques et microscopiques.....	33
VI. évaluation de la vitesse de déplacement du <i>Verticillium</i> sp. dans le sol en fonction de la composition chimique des exsudats racinaires.....	33
VI.1. Teneur en sucres solubles totaux.....	33
VI.1.1. Extraction.....	33
VI.1.2. Dosage	33
VI.2. Teneur en acides aminés solubles.....	34
VI.2.1. Extraction.....	34
VI.2.2. Dosage	35
VII. Modélisation de la vitesse de <i>Verticillium</i> sp.	35
VIII. Analyses statistiques	35

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Humidité du substrat et sa capacité de rétention	36
II. Taux de germination	37
III. Paramètre de croissance.....	38
III.1. Le pois frais et le pois sec de la partie aérienne et souterraine de l'aubergine aux deux stades phénologiques.....	38
IV. Évaluation de la Vitesse de déplacement du <i>Verticillium</i> sp dans le sol en fonctions de la qualité des exsudats racinaires	41
IV.1. Teneur en sucres solubles totaux et acides aminées des racines de l'aubergine.....	41
IV.2. Vitesse de déplacement du <i>Verticillium</i> sp.....	41
V. Modélisation de la vitesse du déplacement du <i>Verticillium</i> sp.....	43
VI. Discussion Générale.....	47
Conclusion	49

Références Bibliographiques

Annexe

LISTE DES FIGURES

1. Figure 1 .1 :les stades phénologique de l'aubergine (<i>Solanum melongena</i> L.).....	06
2. Figure 1.2 : Morphologie des conidiphares (a), phalides (b), et conidies (c) de <i>V. dahliae</i> (A), <i>V. albo-atrum</i> (B), <i>V. tricorpus</i> (C) et <i>V. nigrescens</i> (D) après 21 jours d'incubation le PDA à 20C° (×400).....	12
3. Figure 1.3 : Détail au microscope photonique des microsclérotés formés par <i>verticillium dahliae</i>	12
4. Figure 1.4 : Cycle de maladie de <i>Verticillium</i> sp.....	14
5. Figure 1.5 .A : Jaunissement et léger flétrissement d'une partie du limbe (en forme de V par rapport au pétiole).	16
6. Figure 1.5.B : coupe transversale de tige de tomate montre des zones brunies relatives à la présence de <i>verticillium dahliae</i>	16
: Symptômes de la maladie de <i>Verticilliose</i> sur plante.....	20
8. Figure 1.6 :dialogues moléculaire au niveau de la rhizosphère.....	20
Présentation du Thermocontrôle.....	24
: Mise en germination des graines d'aubergine.....	25
11. Figure 2.3: alvéoles contenant des plantules d'aubergine.....	25
12. Figure 2.4 : Transplantation des plants d'aubergine.....	26
13. Figure 2.5 : Stade 1 ^{er} bouton floral de l'aubergine.....	27
14. Figure 2.6 : Stade fleur épanouie de l'aubergine.....	27
15. Figure 2.7 : partie aériennede l'aubergine.....	27
16. Figure 2.8 :partie souterrainede l'aubergine.....	27
17. Figure 2.9: Aspect macroscopique (a) et microscopique (X500) du <i>Verticillium</i> sp (b : conidiophore et conidies ; c : microsclérotés).....	28
18. Figure 2.10 : Perméabilisation des racines de l'aubergine.....	29

19. Figure 2.11 : Présentation du tube d'Evans.....	30
20. Figure 2.12 : inoculation de <i>verticillium</i> sp.....	31
21. Figure 2.13 : L'emporte-pièce pour les prélèvements.....	32
22. Figure 2.14 : Ensemencement de la dilution 10^{-1} sur milieu PDA.....	33
23. Figure 3.1 : Poids moyen (g) du substrat en fonction de la fréquence d'irrigation (h).....	36
24. Figure 3.2 : Humidité relative (%) du substrat en fonction de la fréquence d'irrigation (h).....	37
25. Figure 3.3 : Poids frais moyen (g) des deux parties de l'aubergine aux deux stades phénologiques.....	38
26. Figure 3.4 : Poids sec moyen (g) des deux parties de l'aubergine aux deux stades phénologiques.....	39
27. Figure 3.5 : Contenu relatif en eau moyen (CRE%) des deux parties de l'aubergine aux deux stades phénologiques.....	40
28. Figure 3.6 : Teneur des racines de l'aubergine en Sucres solubles totaux (A) et en acides aminés (B) aux deux stades phénologiques.....	41
29. Figure 3.7 : Distance de translation (cm) du <i>Verticillium</i> sp. en fonction des stades phénologiques de l'aubergine.....	42
30. Figure 3.8 : Effet prédictif <i>in-silico</i> du temps (h) sur vitesse du déplacement du <i>Verticillium</i> sp. Basé sur le modèle de la régression linéaire simple (A : sol témoin ; B : en présence d'exsudats racinaires du stade 1 ; C : en présence d'exsudats racinaires du stade 2.....	46

LISTE DES TABLEAUX

1. **Tableau.1.1** : Besoins de la culture06
2. **Tableau 1.2** : Les principales maladies et ravageurs rencontrés sur l'aubergine
(*Solanum melongena L.*).....07
3. **Tableau 1.3** : pertes économiques causées par la verticilliose.....18
4. **Tableau 3.1** : Analyse de variance pour le modèle de régression.....44
5. **Tableau 3.1** : Analyse de variance pour le modèle de régression.....45

INTRODUCTION

La verticilliose, causée par *Verticillium dahliae* Kleb. Et *V. albo-atrum* Reinke & Berthold est l'une des maladies vasculaires les plus importantes rapportée sur des plantes appartenant à 45 familles botaniques (**Harrington et Dobinson 2000**). Ces deux espèces sont d'une importance économique majeure (**McCain et al., 1981**) et sont distribuées dans le monde entier (**Pegg, 1984**).

Verticillium dahliae, champignon très polyphage, a été signalé sur tomate dans de nombreux pays producteurs des zones tempérées et subtropicales. Il affecte plusieurs centaines de plantes hôtes herbacées et ligneuses, et notamment plusieurs autres solanacées : le tabac, la pomme de terre, le poivron et surtout l'aubergine, qui est particulièrement sensible

En Algérie, la verticilliose est considérée comme un sérieux problème pour les cultures maraichères et l'olivier car les dégâts occasionnés sont énormes (**Belhassen 2000, 2004**).

Actuellement, il n'existe aucune méthode permettant de lutter efficacement contre cette maladie en Algérie. Elle est toujours au stade prospection notamment sur cultures maraichères (**INPV 2009**)

L'agent pathogène survit dans le sol sous forme de microsclérote fortement persistant. Ce microsclérote restent inactif jusqu'à ce que les exsudats racinaire d'une racine étroitement située induisent leur germination, (**Bejarano J et al., 1999**). Selon **Waligora C.(2010)** les exsudats racinaires composés de molécules de plus petite taille comme des sucres simples, des acides aminés, des acides organiques, des enzymes, des phénols, des stérols ou encore des vitamines favorisent le déplacement des champignons.

Dans le cas des maladies provoquées par des champignons pathogène telluriques, il a été clairement montré que les exsudats des semences et des racines dans le sol ont une influence nette sur l'activité du parasite (**Nelson, 1990**). Pour que l'infection puisse se réaliser, il est nécessaire que le champignon soit dans des conditions nutritives qui lui permettent une croissance mycélienne vigoureuse et une activité métabolique intense. (**Nelson1990**).

La quantité et la qualité des exsudats racinaires dépendent de l'espèce, du cultivar, du stade de développement de la plante et des facteurs environnementaux. Ces derniers favorisent la

stimulation des agents pathogènes telluriques les plus redoutables et leurs dynamiques dans le sol (Xiao-gang Li, 2013).

C'est dans ce contexte que notre travail vise à mieux comprendre la dynamique de *Verticillium sp* dans un sol inoculé artificiellement en fonction de la composition chimique des exsudats racinaires et du stade phénologique de l'aubergine .

Notre objectif aussi est de voir :

- Si il existe des corrélations entre la nature chimique des exsudats racinaires et la vitesse de déplacement.de cet agent pathogène tellurique ?.
- Ainsi que la corrélation entre sa vitesse de déplacement et le stade phenologique de l'aubergine.
- Voir l'intensité de la relation de ce pathosthème : *Verticillium sp*-Aubergine (*Solanum. melongena*L.)
- Modéliser statistiquement la vitesse de déplacement du *Verticillium sp.* et aboutir à une formule mathématique prédisant le déplacement du champignon en fonction du temps et du stade phénologique de l'aubergine.

I-GENERALITES SUR L'AUBERGINE

I-1-ORIGINE

L'aubergine fait partie du genre *Solanum*, dans lequel il y a près de 1000 espèces. Parmi le grand nombre d'espèces cultivées, semi-sauvages ou sauvages de *Solanum*, on en trouve trois principales : *S. melongena* L., très commune en Asie et dans le bassin méditerranéen, *S. aethiopicum* L. et *S. macrocarpon* L. ; ces deux dernières sont surtout cultivées en Afrique, bien que l'on rencontre *S.aethiopicum* en Amérique du Sud et *S.macrocarpon* en Amérique tropical et en asie (Daunay ; 1997).

La culture de l'aubergine dans les régions méditerranéennes européennes est relativement récente (rubatzky et yamaguchi, 1997) puisqu'elle ne s'implante en Italie et en France (région de Barbantane, en Provence) qu'à la fin de la Renaissance, mais elle n'a pris une réelle importance qu'au milieu du XIX^e siècle. On la rencontre à présent même dans les zones septentrionales de l'Europe.

I-2-DESCRIPTION BOTANIQUE DE LA PLANTE

L'aubergine est une plante annuelle sous nos climats méditerranéenne mais elle est pérenne courte en climat tropical et en conditions non gélives des régions méditerranéennes méridionales (Grèce et Maroc).

Comme chez la tomate, la croissance est monopodiale (3) pendant 6 a 10 feuilles, jusqu'à la première ramification à l'aisselle de laquelle se développe la première fleur, puis sympodiale<4> avec développement dichotomique généralement toutes les deux feuilles. La plante présente ainsi un port buissonnant, pouvant atteindre une hauteur de 0,5 m à 2,5 m. D'autres fleurs apparaissent aux bifurcations suivantes, parfois solitaires, mais souvent groupées en cyme de deux, trois, voire cinq fleurs (Daunay et al., 1997).

I-2-1-CLASSIFICATION BOTANIQUE

Suivant la classification de (Hequet et al.,2009) nous avons la systématique suivante :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Embranchement Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : Solanum

Espèce : *melongena L*

I-3-LES EXIGENCES CLIMATIQUE DE LA PLANTE

De nature, l'aubergine est bien adaptée aux conditions tropicales et aux régions tempérées à étés chauds. C'est une espèce thermophile qui pousse d'autant mieux qu'il fasse chaud. L'aubergine est plus sensible aux basses températures que la tomate et le piment, surtout à l'implantation. Les minima thermiques optimums sont 22-26 °C de jour et de 16-20°C de nuit, L'aubergine est théoriquement moins exigeante en humidité ambiante que le piment, mais plus que la tomate. L'humidité relative optimale est comprise entre 50 et 65, cette espèce exige une bonne luminosité, tant pour son développement végétatif que pour la floraison et la nouaison (**ctifl, 2003**).

Dans la famille des Solanacées, l'aubergine est la plante la moins exigeante concernant la nature du sol. Les sols sablo-argileux ou limono-argileux, légers et riches en éléments minéraux lui conviennent bien. Son système racinaire puissant lui permet de pousser là où d'autres espèces ont du mal à le faire. Toutefois, dans les premiers stades de son développement, elle peut s'avérer plus sensible (**ctifl, 2003**).

I-4-PRINCIPALES VARIETES CULTIVEES

La diversité variétale n'est pas aussi grande que la tomate et le poivron, donc on utilise dans la pratique quelques variétés fixées et hybrides à savoir :

I-4-1-VIOLETTE LONGUE HATIVE

Plante vigoureuse, les fruits sont volumineux allongés (jusqu'à 25cm) violet rougeâtre, variété précoce et productive, très répandue et appréciée en Algérie (**kolév, 1979**).

I-4-2-VIOLETTE LONGUE-RACE CAMINAL

Plante vigoureuse, les fruits sont volumineux, allongés épais et violètes, variété précoce et très productive (kolév, 1979).

I-4-3-AUBERGINE IMPERIAL BLACK BEAUTY

Selon anonyme(2012),c'est une variété ancienne populaire également appelée black beauty résultant d'un croisement en 1902 entre la violette longue hâtive et la noire de PEKIN(cette dernière avait été introduire de chine, aux états unis) gros fruits ovoïde, de couleur noire, très grande capacité de conservation, plantes de 45cm de hauteur.

I-4-4-AUBERGINE GOYO-KUMBA

Variété ancienne originaire d'Afrique et très ornementale, les plantes pouvant atteindre 1m d'hauteur, produisant une abondance de petites fruits de couleur rouge brillant (Anonyme, 2012).

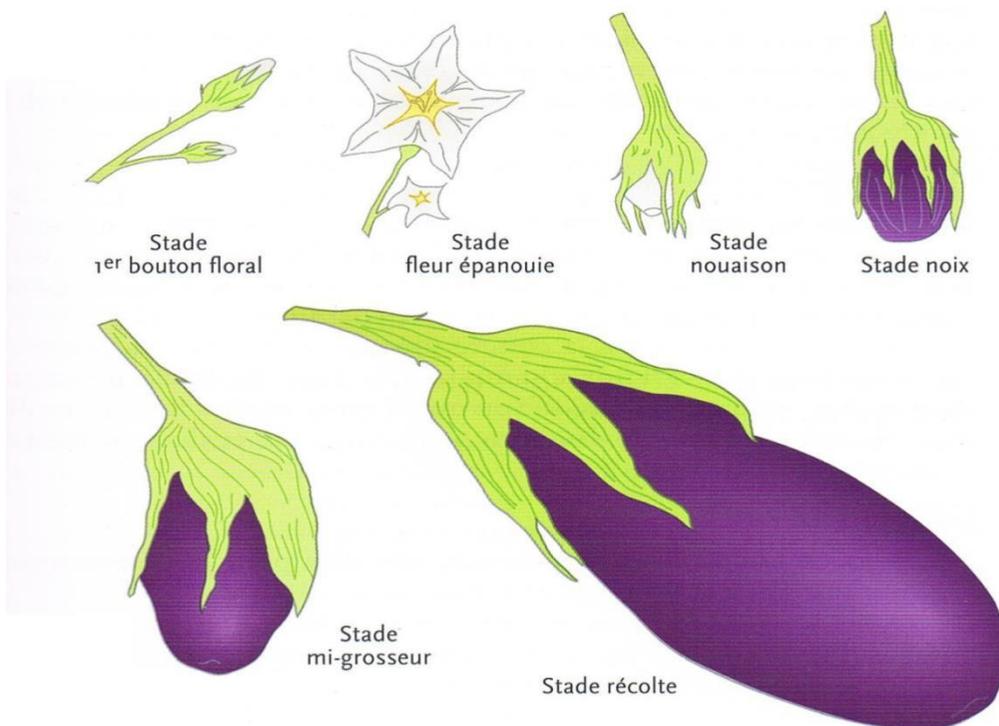
I-5-LES STADES PHENOLOGIQUE DE LA PLANTE

Fig.1.1 les stades phénologique de l'aubergine (Solanum melongena L.)(ctifl ,2003)

I-6-LA FERTILLISATION

De ses origines indo-birmanes. L'aubergine a gardé, malgré des sélections adaptées au climat européen, des exigences élevées en température.

La forte production de matière sèche (plus de 16 t/lia pour une culture de 5-6 mois sous abri) conduit à des besoins importants en sels minéraux (ctifl,2003). Ces besoins sont résumés dans le Tableau 1

Tableau.1.1 Besoins de la culture (chaux et foury, 1994)

Mode de culture	Rendement brute	Consommation (kg/ha)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
Plein champs	30-50	180-300	30-75	180-375	20-40	
Sous serre verre en sol	65	490	105	465	55	230

I-7-GESTION DE LA SANTE DES SOLS

Jusqu'à récemment, la gestion de la fertilité des sols se réduisait à leurs composantes physiques et chimiques : leur structure et la présence ou l'absence des éléments fertilisants nécessaires au bon développement de la culture, c'est-à-dire l'offre du sol (ou biodisponibilité). Dans le contexte actuel et dans l'optique d'une production intégrée, ce sont toutes les composantes du sol qui doivent être prises en compte par les producteurs et faire l'objet de pratique permettant de préserver sa santé. Le sol est à la fois un outil de production, un élément de terroir et présente une dimension patrimoniale difficilement renouvelable. Il faut conjuguer les différentes composantes de sa fertilité, qui peuvent être : physique ; chimique ; biologique (ctifl,2003).

I-8-LES MALADIES ET RAVAGEURS DE L'AUBERGINE

Les principales maladies et ravageurs rencontrés sur l'aubergine (*Solanum melongena* L.) sont résumés dans le tableau 2 :

Tableau 1.2 : Les principales maladies et ravageurs rencontrés sur l'aubergine (*Solanum melongena L.*).

les maladies cryptogamiques	les maladies bactériennes	Les maladies virales	Les ravageurs
les rouilles (Blancard et al., 1991)	Fletrissement bactérienne (provoquent un flétrissement des Solanacées) (tilma, fontaine, 2015)	virus de mosaïque de concombre (albouj, deveigne, 1998)	Les acariens (promodev, 2011, 2012)
les pourritures causées par Botrytis cinerea (ctifl, 2003).	La tache bactérienne (Mougou Hamdane, 2015)	Le virus de la marbrure et du rabougrissement (Blancard, 2013)	La mouche blanche (promodev, 2011, 2012)
Oidium (Leveillulaurica) (blancard, 2017).	La moucheture bactérienne (Mougou Hamdane, 2015)	virus transmis par thrips (Blancard, 2013)	Le tigre de l'aubergine (Corythaicapl anaris) (promodev, 2011, 2012)
La verticilliose, causée par Verticillium dahliae Kleb. et V. albo-atrum Reinke & Berthold, (Harrington et Dobinson, 2000).	Le chancre bactérien (Mougou Hamdane, 2015)	virus transmis par les aleurodes (Blancard, 2013)	Les pucerons (ctifl, 2003).
Sclerotinose (sclerotinia sclerotirum) (Boland, Hall, 1994).		Virus transmis par contact (Blancard, 2013)	Les punaises fétides portant le nom scientifique (Nezarravidula) (ctifl, 2003).
maladies des racines (Le corkyroot) (ctifl, 2003).		virus de la mosaïque de la luzerne (Blancard, 2013)	La cochenille (Chionapsiscitri) (ctifl, 2003).
Fonte de semis (Damping off) (promodev, 2011, 2012)		Virus de la pomme de terre (Blancard, 2013)	Vers blanc (Mawoka) (ctifl, 2003).
L'antracnose des fruits (Colletotrichum gloeosporioides) (promodev, 2011, 2012)			Diabrotica (L'insecte adulte, Diabrotica) (promodev, 2011, 2012)

I-9-INTERET COMMERCIALE

Les fruits mûrs d'aubergine sont considérés en raison non vendable de leur goût désagréable de couleur, de texture, vigoureux et amer de fruit aussi bien que les graines mûres de grand amountof. Généralement la couleur de péricarpe d'aubergine est considérée un indicateur de prématurité du fruit (**Cantwell et Suslow,1997**).

En fait, la couleur et le brillant foncé-pourpres de péricarpe augmentent graduellement avant l'étape de maturation. D'ailleurs, la texture de tissu, qui dépend des deux enzymes et perte d'eau de ramollissement, est un facteur de limitation pour le fruit d'aubergine de frais-marché(**Beaulieu et al., 2004**).

Il est bien connu que quelques pratiques agricoles qui produisent les rendements commercialisables élevés aient souvent comme conséquence des qualités du fruit organoleptiques moins qu'optimales (**Kader, 2008**).

I-10-LA PRODUCTION D'AUBERGINE DANS LE MONDE

L'aubergine occupe une place économique importante dans les régions tropicales et tempérées. Les premiers pays producteur d'aubergine au niveau mondial sont la Chine et l'Inde(**FAO 2010**).

La Chine représente 58,55% de la production mondiale totale, qui s'élève à plus de 4 millions de tonnes, devant l'Inde, l'Egypte, l'Iran et la Turquie avec une production de 24.501.936 tonnes, l'Inde est le deuxième (25,24%) avec une production de 10.563.000 tonnes, suivie par l'Egypte (2,94%) avec une production de 1.229.790 tonnes, l'Iran (2,12%) avec une production de 888.500 tonnes, la Turquie (2,03%) avec une production de 849.998 tonnes, l'Indonésie (1,15%) avec une production de 482.305 tonnes, l'Iraq (0,93%) avec une production de 387.435 tonnes, le Japon (0,79%) avec une production de 330.100 tonnes, l'Italie (0,72%) avec une production de 302.551 tonnes et Philippines (0,50%) avec une production de 208.252 tonnes. Plus de 4.000.000 acres (1.600.000 ha) sont consacrés à la culture de l'aubergine dans le monde.

I.11.LA PRODUCTION D'AUBERGINE EN ALGERIE :

La production d'aubergines, a plus que doublé depuis 2000 pour atteindre près de 100 000 tonnes en 2011-2012. Elle est particulièrement importante à Laghouat (16 000 tonnes en 2012), à Mostaganem (14 000 tonnes), à Tipaza (7 900 tonnes) à Alger (9 300 tonnes), La culture sous abri (188 ha et 9 000 tonnes) est concentrée à 70% à Biskra (**Agroligne, 2014**)

II.LA VERTICILLIOSE

La *verticilliose* est une trachéomyose provoquée par les espèces du genre *Verticillium* affectant des plantes annuelles et vivaces, des arbres fruitiers et ornementaux ainsi que des arbustes dans les régions tempérées, subtropicales voire tropicales (**Pegg et Brady, 2002 ; Fradin et Thomma, 2006 ; Klosterman et al., 2009**).

Parmi les plantes à intérêt agronomique les plus touchées, on compte le coton (*Gossypium spp.*), la tomate (*Solanum Lycopersicom*), la pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*), alfalfa (*Medicago sativa L.*), les Cucurbitaceae, le fraisier (*FragariagrandifloraEhrh.*), la menthe (*Menthapiperita L.*), le tournesol (*Helianthus annuus L.*), l'aubergine (*Solanum melongena L.*), le colza (*Brassica napus*) et l'olivier (*Olea europaea L.*).

Son large spectre d'hôtes et la difficulté de contrôler la maladie par une lutte chimique ou des pratiques culturales font de *Verticillium* l'un des pathogènes les plus dévastateurs dans le monde, provoquant plusieurs milliards de pertes annuelles. De ce fait, la sélection de variétés résistantes est le seul moyen efficace pour le contrôle de la maladie (**Fradin et Thomma, 2006**).

II.1.VERTICILLIUM SP. : L'AGENT CAUSAL DE LA VERTICILLIOSE

Le genre *Verticillium* a une longue histoire taxonomique. Il a été évoqué pour la première fois en 1816 par von Nees. Il désignait un groupe de Deutéromycètes caractérisés par un conidiophore verticillé, d'où le nom *Verticillium* (**Isaac., 1967; Pegg et Brady., 2002**). A l'époque, cette définition incluait plus de 50 espèces dont des parasites d'insectes, de nématodes ou d'autres champignons, et un groupe d'espèces particulières qui provoquent des maladies de flétrissement vasculaires chez les dicotylédones. Ces dernières se distinguent des autres par le fait qu'elles forment des structures de dormance. Dans ce groupe, on trouve *V. albo-atrum*, *V. dahliae*, *V. tricorpus* et *V. nigrescens* (**Gams et Zaayen., 1982**).

L'agent causal le plus important économiquement et le plus étudié est *V. dahliae* Klebahn, mais *V. albo-atrum* et *V. longisporum* provoquent aussi d'importantes pertes économiques (**Klosterman et al., 2009**). *V. dahliae*, l'espèce type du genre, a un très large spectre d'hôte, infectant l'aubergine, la tomate, le coton, l'olivier, la laitue et la pomme de terre.

II.2. TAXONOMIE

L'agent pathogène *verticillium dahliae* est un champignon imparfait. Les données taxonomique (**Botton et al., 1990 in Bellahcene, 2004**) le signalent comme suit :

Division Amastigomycota

Groupe Deutéromycètes

Classe Hyphomycètes

Ordre Hyphales ou Moniliales

Famille Moniliaceae

Genre *verticilium*

Espèce *dahliae* (Kleb)

Du point de vue morphologique, le champignon porte des conidiophores disposés en verticilles autour de l'axe principal de l'hyphe (**figure 1.2**). Une phialide se trouve à l'extrémité de chacune de ces branches et les conidies sont formées une par une à l'extrémité de la phialide. Les conidies peuvent s'agglomérer à l'extrémité des phialides. (**Figure1.2**) Par ailleurs, *V. dahliae* produit sous certaines conditions des microsclérotos. Cette particularité permet de le distinguer de *Verticillium albo-atrum*, un autre pathogène causant des symptômes similaires sur les plantes (**Pegg et Brady, 2002**).

Les microsclérotos sont des structures de survie formées par l'agglomération d'hyphes contigus dont les parois sont épaissies et mélanisées. Les agglomérats formés ont l'aspect de petites boules noires (entre 20 et 200 pm de diamètre) pouvant être séparées des hyphes. Leur germination peut être induite artificiellement sur certains milieux sélectifs. Leur persistance dans le sol varie de 4 à 15 ans (**Hawke et Lazarovits, 1994; Pegg et Brady, 2002**).

Le genre *Verticillium* contient maintenant dix espèces phytopathogènes vasculaires des dicotylédones avec des conidiophores verticillés qui produisent des structures de dormance de couleur brune : *V. dahliae*, *V. albo-atrum*, *V. alfalfae*, *V. longisporum*, *V. nonalfalfae*, *V. tricorpus*, *V. zaregamsianum*, *V. nubilum*, *V. isaacii* et *V. klebahnii*. Les structures de dormance ont une importance au niveau taxonomique. Ainsi, *V. albo-atrum* forme des amas de mycélium avec des pigments bruns (DarkRestingMycelium, DRM), *V. nubilum* produit des chlamydo-spores, *V. dahliae* et *V. longisporum* produisent des microsclérotos, et *V. tricorpus* produit les trois types de structure de dormance (**Isaac, 1953 ; Karapapa et al., 1997**).

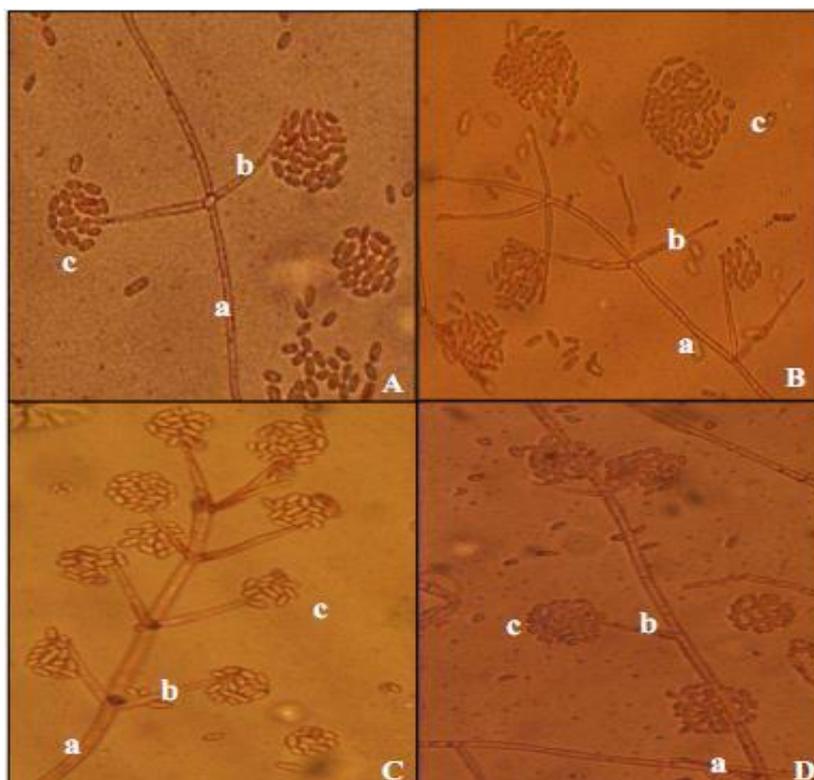


Fig.1.2 : Morphologie des conidiphores(a), phalides (b), et conidies (c) de *V. dahliae* (A), *V. albo-atrum* (B), *V. tricorpus* (C) et *V. nigrescens* (D) après 21 jours d'incubation sur le milieu PDA à 20°C (×400). (Jabnoun-khiareddine, H., et al 2010)

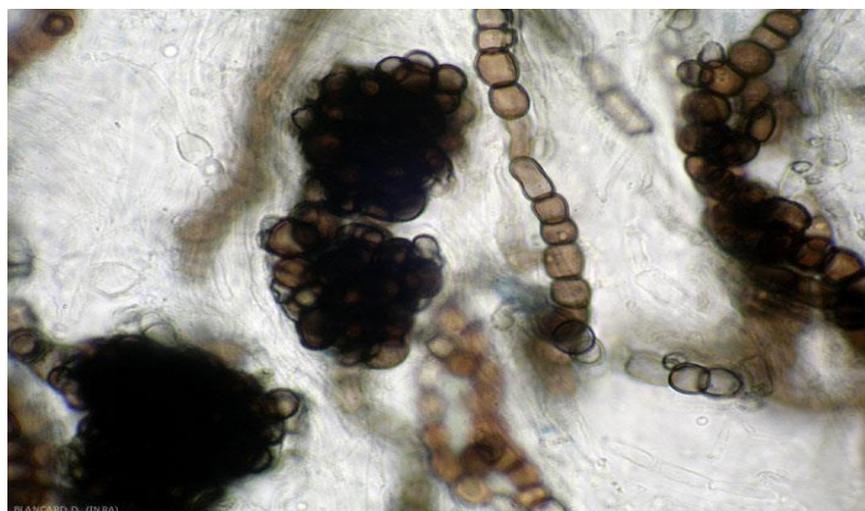


Fig.1.3 : Détail au microscope photonique des microsclérotés formés par *verticillium dahliae* (D. Blancard, 2015)

II.3 CYCLE BIOLOGIQUE

Les champignons pathogènes responsables de la *verticilliose* survivent dans le sol, ou sur des restes de plantes contaminées, plusieurs années (jusqu'à 14 ans) en absence de l'hôte sous une forme appelée microsclérote, qui se compose de mycélium compact (**WILHEM, 1955, Triki et al., 2006**). Lorsque le microsclérote entre en contact avec les racines d'une plante hôte et lorsque les conditions sont favorables (température avoisinant 20°C et sol humide), il germe et produit le mycélium qui se propage dans la plante. (**Vecteurs**) ©, **Isabelle, 2016.**)

La maladie de *Verticilliose* causée par plusieurs espèces du genre *Verticillium* (**Berlanger et Powelson 2000**). Les espèces appartenant au genre *verticillium* sont des pathogènes du sol tellurique ; vivant dans la rhizosphère.

Le cycle de maladie (**Figure 1.4**) commence lorsque la racine de la plante hôte secrète les exsudats qui induisant la germination des microsclérotés en état de dormance (**Mol 1995**). La pénétration du champignon dans les racines est favorisée par la présence de nématodes libres du genre *Pratylenchus* dans le sol ou de bactéries *Pectobacterium*. Les hyphes de *Verticillium* envahissent les vaisseaux du xylème où les spores sont formées, ces spores seront transportées par le flux de sève dans le xylème, la présence des spores au niveau du xylème bloque la circulation de la sève brute (**Eynck et al. 2007**).

Ce blocage du xylème induit les symptômes du flétrissement foliaire. (**Figure1.4**) Une fois la plante est morte, les microsclérotés de *Verticillium* sont formées et sont capables de rester plusieurs années sous forme de repos dans le système vasculaire de la plante morte, lorsque les conditions de germination sont favorables, ces spores recommencent un nouveau cycle d'infection pour attaquer des nouvelles plantes (**Pegg et Brady 2002**).

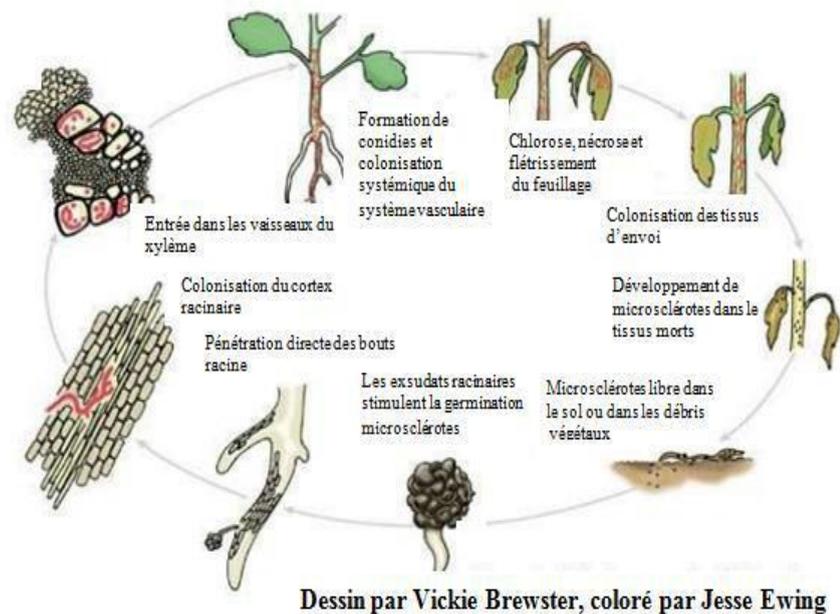


Figure 1.4: Cycle de maladie de *Verticillium sp.* (Berlanger et Powelson, 2000).

II.4 FACTEURS DE DEVELOPPEMENT

La croissance et la fructification du *Verticillium* sur les racines sont étroitement liées aux conditions de température et d'humidité (Jouan et al, 1974). Sa croissance in vitro dépend du pH qui doit être acide et de la composition du milieu de culture (Singh, 1973). Lorsque le microsclérote entre en contact avec les racines d'une plante hôte et lorsque les conditions sont favorables (température avoisinant 20°C et sol humide), il germe et produit le mycélium qui se propage dans la plante. *Verticillium dahliae* produit ensuite de nouveaux microsclérotos dans les parties contaminées de la plante. Lorsque celle-ci meurt et se décompose, ces nouveaux microsclérotos sont relâchés dans le sol.

Autres facteurs possibles de contamination : les excréments d'animaux ayant consommé des plantes malades, la diffusion des semences de plantes malades, la présence de « mauvaises 12 herbes » hôtes (chénopodes, plantains, amarantes, séneçons), les nématodes et pucerons (vecteurs) ©, Isabelle, 2016.)

Le *Verticillium* se développe sur un sol hydromorphe, irrigation, humidité régulière, température douce 20-30 C° (INRA 2013).

II.5 MECANISMES DE TRANSMISSION ET DISPERSION

Les pathogènes du sol ne se disséminent pas facilement sur de longues distances. L'introduction dans un champ dépend donc beaucoup des pratiques culturales. En effet, le transport de terre, de plantes avec un sol d'accompagnement (bulbes et tubercules), de graines, de débris végétaux, de greffons, de plantes de pépinières ou de toute autre matériel végétal contaminé est le mode de dissémination le plus courant vers de nouvelles zones de cultures. La dissémination peut aussi se faire par le vent et l'eau d'irrigation (**Pegg et Brady, 2002**).

Le plus rapide des moyens de transmission de *Verticillium* reste le contact racinaire. Toutefois les outils contaminés jouent aussi un rôle important dans la contamination de plantes saines comme dans le cas de la luzerne qui est fauchée plusieurs fois lors d'un cycle de culture (**Acharya et Huang, 2003**). C'est pourquoi des restrictions sur les déplacements de matériel de plantation, de sol et de machines sont mises en place afin d'éviter la dissémination.

II.6 SYMPTOMES OBSERVES SUR LES CULTURES MARAICHERES

Le flétrissement des feuilles est le principal symptôme causé par *Verticillium*. Ce symptôme varie selon l'hôte et les conditions environnementales (**Reusche et al. 2014**).

Le premier symptôme se développe généralement sur les vieilles feuilles. La diffusion des spores dans le xylème induit la formation des taches jaunes sur les feuilles infectées. À ce stade, des symptômes comme de lésions nécrotiques en forme de « V » à l'extrémité des feuilles commencent à apparaître pour finir par le flétrissement de la plante (**Reusche et al. 2012**).

Les plantes affectées par *Verticillium dahliae* montrent fréquemment un discret flétrissement des folioles les plus basses aux moments les plus chauds de la journée. Dans un premier temps, ce flétrissement est réversible au cours de la nuit. Par la suite, au fur et à mesure du développement de la maladie, on peut constater que certains secteurs du limbe des folioles, souvent internervaire et en forme de « V », se ramollissent et jaunissent progressivement (**figure 1.5.A**). Des portions importantes des folioles finissent par prendre une teinte beige à brune puis par se nécroser. Les folioles et les feuilles ainsi touchées meurent prématurément, ce qui peut entraîner une exposition des fruits au rayonnement solaire et donc des risques de brûlures solaires (**Blancard 2013**). Une coupe longitudinale ou transversale dans les vaisseaux de la partie basse de la tige ou d'un rameau permet de constater que ceux-ci présentent un léger brunissement, beaucoup moins marqué que dans le cas de la fusariose (**figures 1.5.B**). (**Blancard 2013**)

L'obstruction des vaisseaux provoque des flétrissements rapides. Chez les légumes, deux familles de champignons sont en cause : les fusarioses et la *verticilliose*. Pour cette dernière, le coupable est *Verticillium dahlia*, qui s'en prend surtout aux solanaceae : tomates, aubergines et parfois poivrons. La *verticilliose* peut aussi s'attaquer aux artichauts et aux melons. (**Terre vivante 2008**) Les symptômes sont variables selon les plantes-hôtes. Les plus caractéristiques chez toutes les espèces sensibles sont une chlorose foliaire précoce suivie de nécrose (**figure 1.5.A**), puis par la chute prématurée des feuilles atteintes, ainsi que la décoloration vasculaire des tiges et des racines (**Figure 1.5.B**).



Figure 1.5.A : Jaunissement et léger flétrissement d'une partie du limbe (en forme de V par rapport au pétiole). *Verticillium dahliae*



Figure 1.5.B : coupe transversale de tige de tomate montre des zones brunies relatives à la présence de *verticillium dahliae*

Figure 1.5 : Symptômes de la maladie de *Verticilliose* sur plante (**Blancard 2013**)

II.7 TRAITEMENTS PREVENTIFS ET CURATIFS CONTRE LA VERTICILLIOSE

❖ TRAITEMENTS PREVENTIFS

- Cultiver des espèces et des variétés résistantes à la maladie, ou des plants greffés, lorsqu'il en existe ;

- Nettoyer le sol des mauvaises herbes potentiellement porteuses du champignon ;
- Pratiquer une bonnerotation des cultures(4 à 5 ans, en cultivant dans ce laps de temps des cultures résistantes) ;
- Limiter les apports de fertilisants : la maladie est considérée comme une "maladie de vigueur"
- Renforcez les tissus et le système de défense propre aux plantes par des pulvérisations foliaires de purin d'ortie et de décoctions de prêle.
- En cas d'attaque, supprimez les parties contaminées, nettoyez soigneusement le matériel qui a pu entrer en contact avec la maladie par un rinçage à l'eau (séateur...), et sortez du jardin les résidus de plantes atteintes (de préférence, brûlez-les). (**Isabelle, 2016**)



LUTTE CHIMIQUE

En pratique la lutte chimique constitue et de loin le type de méthode le plus utilisé pour la gestion de la *verticilliose* (**Yangui et al., 2010, Alfano et al., 2011**). Elle se fait par stérilisation du sol à l'aide de fumigants chimiques (le bromure méthylique) (**Fravel et Larkin 2000, Martin Lapierre 2011**) ou l'utilisation des fongicides systémiques (méthyl-thiophanate, thiabendazole, benomyl et carbendazime) (**Henni 1982, Boukenadel, 2001 ; Kumar et al., 2012**). Ce recours aux produits chimiques, toujours valable dans certaines situations, engendre cependant des coûts élevés et des impacts sur l'environnement (**Nannipierri et al., 1990**). Actuellement aucun traitement curatif n'a prouvé son efficacité (**Arsaland et Dervis, 2010**).

In vivo, le compost utilisé comme amendement du sol réduit le rabougrissement et l'altération foliaire des plants de tomate inoculés par *V. dahliae*. La correction du sol avec le compost a permis l'inhibition de la pénétration et de la colonisation des tissus vasculaires des plants de tomate par *V. dahliae* (**Mouira et al., 2014**)

Il n'existe aucun traitement curatif contre la *verticilliose*.



LUTTE BIOLOGIQUE

La lutte biologique peut offrir de nombreuses méthodes de lutte alternative aux traitements chimiques (**Uppal et al., 2008**). Ce moyen de lutte met en œuvre différents organismes vivants appelés auxiliaires ou leurs produits pour prévenir ou réduire les dégâts. Il

s'agit d'utiliser surtout les microorganismes tels que *Pseudomonas sp* et *Bacillus sp* (Mercado-Blanco et al., 2004; Bounoua 2008; Lang et al., 2012), *Streptomyces splicatus*, *Frankia sp* (Bonjar et Aghighi, 2005), *Serratia plymuthica* (Muller et al., 2007). Ce moyen de lutte a malheureusement dévoilé un succès limité contre la verticilliose (Sanei et al., 2010)

II. IMPORTANCE ECONOMIQUE DE LA VERTICILLOSE DANS LE MONDE ET EN ALGERIE

De toutes les espèces du genre *Verticillium*, *V. dahliae* est la plus néfaste à cause de son large spectre d'hôtes et de la persistance de ces microsclerotia. Dans le monde, la verticilliose est la maladie la plus destructrice en ce qui concerne les cultures de tomate et la deuxième en ce qui concerne la pomme de terre. Les cultures les plus touchées en termes de pertes annuelles sont de loin la tomate et la pomme de terre avec une perte annuelle mondiale estimée à plus de 700 millions d'euros (Tableau 1.3).

Tableau 1.3 : pertes économiques causées par la verticilliose.

Plante hôte	Production annuelle globale (moyenne 2005-2010)		Perte estimée		Perte maximale
	Mio. \$	Mio. Tonnes	Mio. Tonnes	Mio. \$	%
Tomate	71,07	140,95	1,41	710,72	70
Pommes de terre	70,7	326,02	3,26	707,03	50
Coton	35,47	23,52	0,24	354,72	30
Colza	20,65	54,98	0,55	206,53	50
Pastèque	21,16	95,62	0,96	211,61	
Olivier	21,05	17,7	0,18	210,46	75
Piments et poivrons	17,88	27,65	0,28	178,77	20
Concombre	17,26	55,53	0,56	172,6	
Choux	16,89	64,66	0,65	168,93	
Laitue	13,95	23,56	0,24	139,47	100
Tabac	12,48	6,69	0,07	124,78	30
Aubergine	12,22	38,32	0,38	122,15	70
Tournesol	10,33	31,7	0,32	103,3	55
Fraise	8,75	4,14	0,04	87,48	
Epinards	6,41	17,16	0,17	64,1	
Chou-fleur (et brocoli)	6,39	18,56	0,19	63,93	
Pistachier	3,26	0,73	0,01	32,62	
Avocat	3,01	3,73	0,04	30,08	
Lentilles	1,96	3,07	0,04	19,61	
Artichaut	1,15	1,44	0,01	11,45	
Houblon	586	0,13	0	5,86	100
Alfalfa	nb	nb	nb	nb	50

Mio = millions

Données compilées par Magda Siebold (non publié) d'après les chiffres du FAO Données présentées au 11 th International *Verticillium* Symposium 2013

En Algérie, la *verticilliose* fut signalée pour la première fois par **Boullinger (1970)** et par **Subramoniam (1974)** sur les cultures de tomates. Ce n'est qu'en 1990 que la *verticilliose* de l'olivier n'a été signalée en Algérie par **Benchaabane** et plus par **Matallah et al. (1996)**, puis **Bellahcene et al. (1997, 1998, 2000)**.

En Algérie, la *verticilliose* est considérée comme un sérieux problème pour les cultures maraichères et surtout pour la tomate, pomme de terre car les dégâts occasionnés sont énormes (**Belhassen 2000, 2004, 2005**)

Actuellement, il n'existe aucune méthode permettant de lutter efficacement contre cette maladie en Algérie et aucune donnée évaluant les pertes de rendement occasionnées par cette maladie. Elle est toujours au stade prospection notamment sur culture maraichère (**INPV 2009**).

III. RHIZOPHERE ET EXSUDATIONS

RACINAIRES III.1. RHIZOSPHERE

La rhizosphère est définie comme étant la zone du sol dans laquelle la microflore tellurique est soumise aux influences des racines (**Campbell et Greaves 1990; Westover et al. 1997**). Elle se limite aux premiers millimètres de sol situés autour des racines. Elle est caractérisée par une intense activité microbienne notamment bactérienne et fongique, résultant de la libération, ou l'exsudation de substances organiques (sucres ; acides aminés) par les racines en raison de leur concentration importante dans le cytoplasme des cellules racinaires (**Jones, 1998**). Ces concentrations sont par ailleurs généralement plus fortes au niveau des extrémités des racines (**Jones, 1998 (Curl & Truelove, 1986 ; Grayston et al., 1996)**). Les racines des plantes influencent la structure et la diversité des communautés microbiennes du sol grâce à leurs exsudats riches en énergie (**Drigo et al., 2010**), créant diverses communautés microbiennes rhizosphériques à proximité immédiate des racines (**Philippot et al., 2013**).

III.2 EXSUDATION RACINAIRE

L'exsudation est définie comme la libération de composés solubles de faible poids moléculaire (**Lesuffleur et al, 2007**). Au niveau de la rhizosphère, les racines libèrent beaucoup de matières organiques sous forme de mucilage, plus de 40% des produits de photosynthèse passent dans le système racinaire (**Whipps, 1990**).

Les exsudats représentent la partie la plus importante des substances libérées par les racines, surtout dans la région apicale. C'est également celle la plus métabolisée par les microorganismes. Ils sont généralement composés de sucres, d'acides aminés, de facteurs de

croissance, de vitamines, d'enzymes et d'acides organiques. Ils représentent une source nutritionnelle pour la microflore rhizosphérique, et qui agissent soit en stimulant ou en inhibant certaines espèces (effet rhizosphérique) (**Soufiane, 1998**). Cet 'effet rhizosphère' est donc un processus dynamique résultant d'interactions entre la plante hôte, le sol, les microorganismes telluriques et certaines conditions abiotiques du milieu (climat, pratiques culturales, ...)

Le sol rhizosphérique est notamment caractérisé par une flore fongique et bactérienne très spécifique (**Walker et al., 2003**). A l'origine de cela, les abondants exsudats racinaires émis par les plantes, dont on différencie les rhizodépôts -formés de composés organiques issus du métabolisme primaire et exsudés en quantité appréciable (sucres, acides aminés...) des autres nombreuses molécules issues du métabolisme secondaires, exsudées en quantité souvent infinitésimale. Ces molécules exsudées constituent un vecteur de dialogue moléculaire entre la plante et les organismes de la rhizosphère (**figure 1.6**).

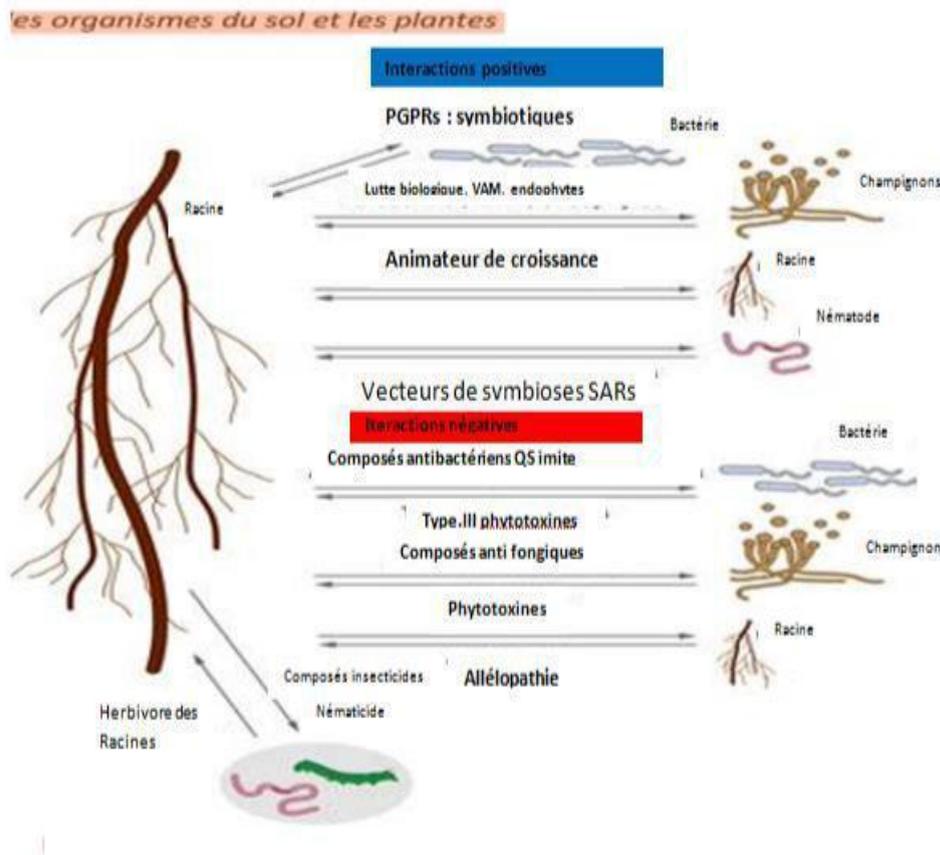


Figure 1.6 : dialogues moléculaire au niveau de la rhizosphère (**Biais et al., 2006**)

IV.ROLE DES EXUDATS RACINAIRES DANS LES ETAPES PRECOCES DES INTERACTIONS RACINAIRES–MICROORGANISMESTELLURIQUES

Dans le sol, la plupart des champignons phytopathogènes ne persistent généralement pas sous forme mycélienne active, mais à l'état passif sous forme d'organes adaptés à la conservation tels que des sclérotés, des chlamydospores ou des oospores. Ce phénomène, dénommé fongistase, est lié à la présence dans le sol de substances inhibitrices de la germination des organes fongiques ou au manque de substrats nutritifs indispensables au développement des champignons. **(Louvet ,1975)**

Cette levée de fongistase se produit en particulier au voisinage des parties souterraines des plantes. Dans cette zone, les champignons phytopathogènes entrent en activité et, s'ils se trouvent en présence de plantes avec lesquelles ils ne peuvent pas établir de relations durables, ils sont détruits ou entrent à nouveau sous forme de conservation. Par contre, s'ils sont susceptibles de vivre aux dépens de ces plantes, ils poursuivent leur développement saprophytique puis parasitaire. C'est dans la rhizosphère que s'établit le premier contact entre le champignon pathogène et sa plante hôte ou plus exactement entre le champignon et la partie du milieu souterrain modifiée par la plante. C'est dans cette zone écologique particulière que se déclenchent les premiers processus qui peuvent aboutir à une maladie infectieuse. **(Louvet 1975)**

Toutes les racines des plantes exudent des substances nutritives (sucres, acides aminés ..) favorables à l'activité des champignons. La quantité et la nature de ces substances varient avec de nombreux facteurs : la température, le pH, l'aération et l'humidité du sol, les blessures racinaires, l'éclairage ou les traitements foliaires appliqués à la plante. **(Nelson, 1990)**

La germination des organes de conservation du champignon ne se réalise pas seulement au contact direct de la racine, mais aussi à une courte distance dans la zone de sol modifiée par cette racine. Les champignons pathogènes dans le sol peuvent également attaquer les semences en cours de germination ou le collet des plantes. **(Nelson, 1990)**

De nombreux travaux ont porté sur le rôle biologique des métabolites primaires et secondaires émis par les plantes **(Walker et al., 2003)**.

Les travaux de **(Xiao-gang Li,2013)** ont montré que les exsudats de racines d'arachide cultivar sensible favorisaient de manière significative la germination des spores, la sporulation

et la croissance mycélienne des agents pathogènes du sol, *Fusariumoxysporum* et *Fusariumsolani*.

Les exsudats de racines de l'arachide contiennent des sucres, des acides aminés et des acides phénoliques, leurs compositions et concentrations sont très différentes entre les cultivars sensibles et résistants. (**Xiao-gang Li, 2013**) suggèrent que les types et la teneur en exsudats racines pourraient être utilisés comme critères biochimiques importants pour prédire la résistance des cultivars d'arachides aux maladies fongiques transmises par le sol. Il a été proposé que les exsudats de racines d'arachide soient probablement l'une des principales raisons de l'incidence plus élevée observée de maladies des arachides dans le système monoculture.

(Xiao-gang Li, 2013).

La quantité et la qualité des exsudats racinaires dépendent de l'espèce du cultivar, du stade de développement et des facteurs environnementaux. Ces derniers favorisent la stimulation des agents pathogènes (**Xiao-gang Li, 2013**).

I.OBJECTIF DE L'EXPERIMENTATION

Le but de notre expérimentation est d'apprécier l'effet des exsudats racinaires de l'aubergine (*Solanum melongena* L.)prélevés à deux stades phénologiques(Stade 1^{er} bouton floral et Stade fleurs épanouies) sur la vitesse de déplacement de *Verticillium*sp. *in-vitro*en ayant recours à un substrat préalablement cultivé et artificiellement contaminé en conditions contrôlées.

II. DETERMINATION DE L'HUMIDITE RELATIVE DU SUBSTRAT ET SA CAPACITE DE RETENTION

L'essai été effectué en utilisant un substrat composé de sol et de tourbe (50/50) (p/p), le sol en question provient de la station expérimentale de la faculté des Sciences de la nature et de la vie (Université Blida 1).

Des pots de contenance de 400g de substrat ont été irrigués avec 200 ml d'eau à différents intervalles (24h ,48h, 72h) ; après irrigation le volume d'eau récupéré a été mesuré. La différence entre le premier volume d'eau irrigué (200ml) et le volume d'eau récupéré sera le volume d'eau retenu par le substrat. La capacité de rétention et l'humidité relative (HR%) ont étémesurées par le Thermocontrôle (Sartorius™) (T°=160°C)(**Figure 2.1**)

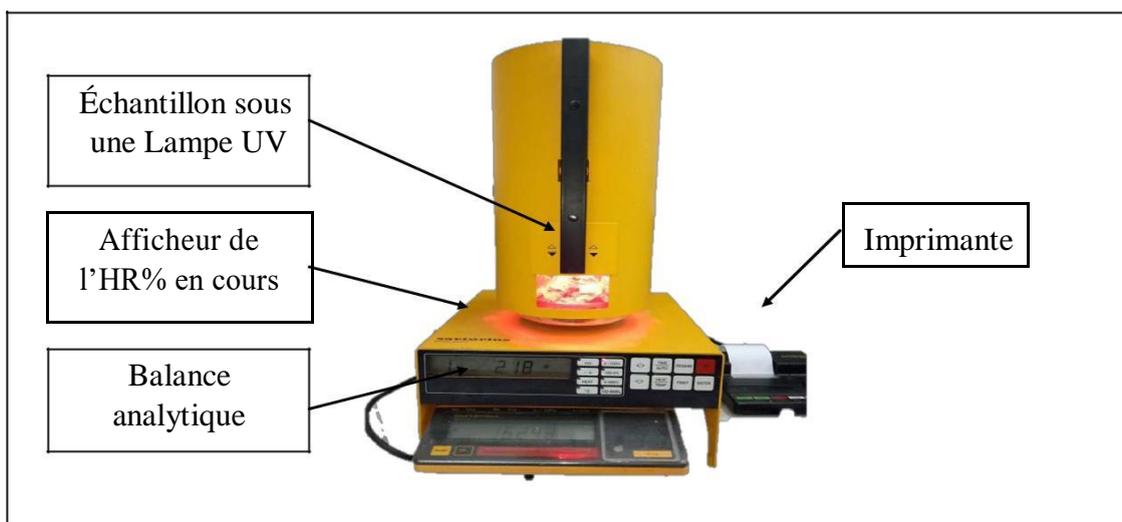


Figure2.1:Présentation du Thermocontrôle

III. MATERIEL VEGETAL

Les graines de la variété d'aubergine la blanche (*Solanum ovigerum*) ont été obtenues auprès de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITCMI) de Staoueli.

III.1.PRE-GERMINATION

Dix (10) graines sont mises à germer dans des boîtes de Pétri contenant du coton imbibé avec 20 ml d'eau distillée stérile. Les boîtes sont mises dans l'étuve à une température de 25°C pendant 5 jours (**Figure 2.2**). Après germination les graines sont transplantées dans des alvéoles contenant de la tourbe et mises dans une chambre de culture à une température de 26°C et une photopériode de 16h de lumière et 8h d'obscurité (**Figure 2.3**).



Figure2.2 : Mise en germination des graines d'aubergine



Figure2.3 : Alvéoles contenant des plantules d'aubergine

III.2. TAUX DE GERMINATION

Ce paramètre constitue un meilleur moyen de déterminer la faculté germinative des graines. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines.

n: nombre de graines germées ; **N** : nombre total de graines mises en germination

III.3. TRANSPLANTATION DES PLANTULES

Après la germination de graines dans les alvéoles ; les plantules sont transplantées dans des pots (**Figure 2.4**) contenant un mélange : ½ de tourbe et ½ de sol, ce mélange est stérilisé à l'autoclave à une température de 120°C pendant 20 min. Les pots sont mis dans une serre en polyéthylène à une température variant de 21°C à 27°C. Selon les résultats de la capacité de rétention du substrat, l'arrosage s'est effectué à chaque 48h.



Figure 2.4 : Transplantation des plants d'aubergine.

III.4. CHOIX DU STADE DE PRELEVEMENT DES EXSUDATS RACINAIRES

Pour déterminer le stade de prélèvement optimal pour les exsudats racinaires chez l'aubergine nous avons eu recours à la littérature (**Etang, 2012**). Nous avons choisie deux stades : stade 1 (1^{ère} bouton floral) deux mois écoulés après transplantation et stade 2 (fleur

épanouie) auquel correspond la fourniture la plus abondante des exsudats racinaires et une bonne croissance de la plante (**Figure 2.5 et 2.6**).



Fig 2.5 : Stade 1^{er} bouton floral de l'aubergine



Fig 2.6 : Stade fleur épanouie de l'aubergine

III.5. DETERMINATION DU POIDS FRAIS ET SEC DE LA PARTIE AERIENNE ET SOUTERRAINE DES PLANTULES D'AUBERGINE

La plante est découpée en deux parties à partir du collet (partie aérienne et partie souterraine) (**Figure 2.7 et 2.8**), on mesure le poids frais en premier des deux parties ensuite on le poids sec à l'aide du thermocontrôle à une température de 160°C jusqu'à poids constant (**Figure 2.1**).



Figure 2.7 : Partie aérienne de l'aubergine



Figure 2.8 : Partie souterraine de l'aubergine

IV. MATERIEL FONGIQUE

Le *Verticillium* sp., objet de notre expérimentation, provient de la collection du laboratoire de physiologie végétale et fournit par **Mr. DEGAICHIA**. Il a été isolé à partir d'une culture de tomate présentant des symptômes de flétrissement et de brunissement au niveau du collet, caractéristiques de la verticilliose. Sur la base des structures morphologiques et microscopiques (**Figure 2.9**) du champignon retrouvé sur le milieu de culture, et la clé de détermination de (**Rieuf, 1985**) on peut confirmer le genre *Verticillium* par la production de microsclérotés (**Figure 2.9.c**). Cette souche a été conservée à 25°C à l'obscurité sur milieu de culture PDA (**ANNEXE 1**).

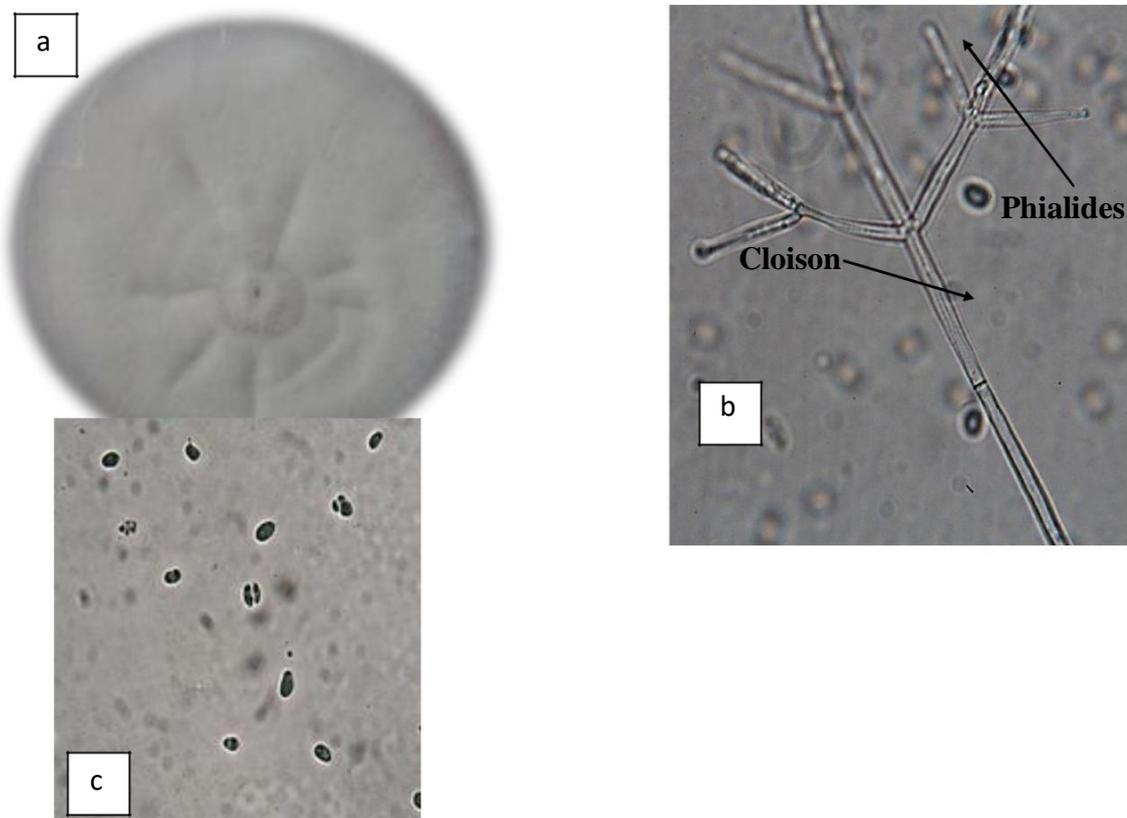


Figure 2.9: Aspect macroscopique (a) et microscopique (X500) du *Verticillium* sp. (b : conidiophore et conidies ; c : microsclérotés)

V. ÉVALUATION DE LA VITESSE DE DEPLACEMENT DU *VERTICILLIUM SP.* EN PRESENCE DES EXSUDATS RACINAIRES

V.1. EXTRACTION DES EXSUDATS RACINAIRES

Les plantes sont dépotées et nettoyées soigneusement avec de l'eau distillée afin de les débarrasser des résidus de substrat. La perméabilisation des racines consiste à plonger les racines de la plante dans un erlenmeyer stérile de 250ml contenant 200 ml d'eau distillée stérile (**Figure 2.10**).

La perméabilisation dure 24h à l'obscurité et à 25°C, puis les erlenmeyer sont mis dans une chambre de culture sans photopériode à température ambiante (25°C) sous agitation (120 rpm). Après 24h, on récupère l'eau de chaque flacon, cette suspension est ensuite stérilisée à froid. Puis les flacons sont mis à l'abri de la lumière au réfrigérateur en attendant d'être utilisés (**Minh et al., 2004**). Cette étape a été réalisée aux 2 stades phénologiques choisis.



Figure 2.10 : Perméabilisation des racines de l'aubergine

V.2. INOCULATION DU TUBE D'EVANS

Le tube d'Evans a été utilisé afin de pouvoir déterminer la vitesse de déplacement du champignon dans le substrat en fonction de la présence des exsudats racinaires des deux stades phénologiques et aussi dans le substrat témoin (absence d'exsudats)

V.2.1. PREPARATION DE L'INOCULUM

La suspension de spores est obtenue à partir d'une culture âgée de 15 jours sur milieu PDA. Sous une hotte à flux laminaire, la boîte de Petri (**Figure 2.9.a**) est recouverte d'eau distillée stérile. Un râtelier confectionné à partir d'une pipette Pasteur est utilisé pour racler doucement le mycelium afin de libérer les spores. La concentration en spores de la suspension est déterminée à l'aide d'une cellule de Malassez. Une dilution au $10^{\text{ème}}$ est nécessaire pour un comptage correct. La suspension de spores est ajustée à 10^6 spores/ml avec de l'eau distillée stérile (**Toueni, 2014**).

V.2.2. PREPARATION DU TUBE D'EVANS

V.2.2.1. DESCRIPTION DU TUBE D'EVANS

Le tube d'Evans est un tube en verre de 42,5 cm de long, portant 04 orifices. Entre le premier orifice de prélèvement et l'orifice d'inoculation on trouve la distance de 5 cm, et entre les orifices de prélèvement 11,5 cm. (**Figure 2.11**).

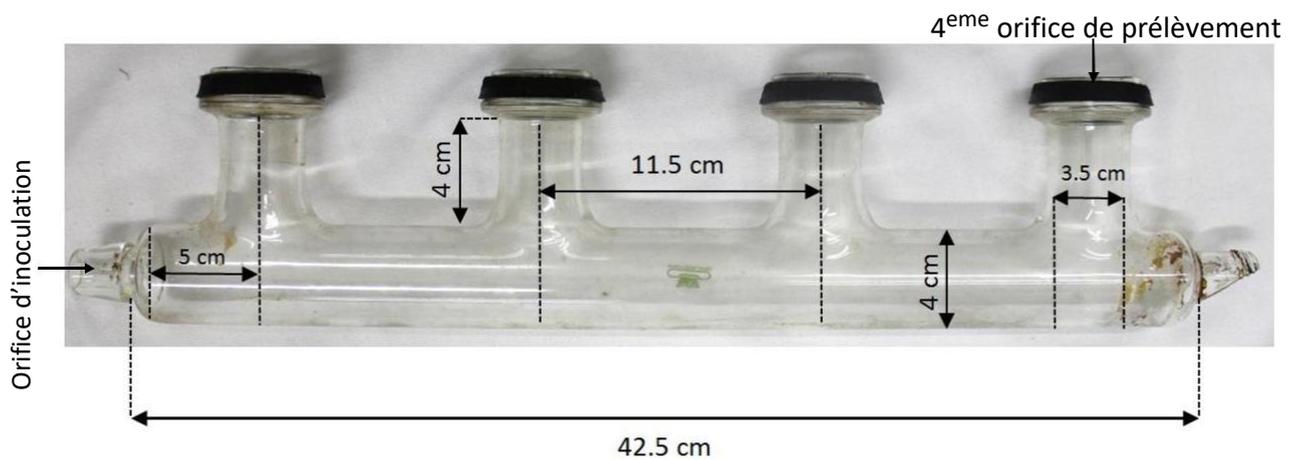


Figure 2.11 : Présentation du tube d'Evans

V.2.2.2. PREPARATION DU TUBE D'EVANS

Les plantes sont dépotées, le sol est introduit dans le tube d'Evans. Les orifices du tube sont bouchés avec du coton et recouverts les avec du papier aluminium. La totalité du tube est également recouverte avec du papier aluminium. Le tout est autoclavé à 120°C / 20 min.

V.2.2.3. INOCULATION DU TUBE D'EVANS

1. En conditions stériles, ouvrir les orifices de prélèvement un à un et introduire 5 ml de la solution d'exsudat racinaire stérile.
2. Flamber l'orifice avant de le fermer et le recouvrir avec du papier aluminium.
4. Laissez le tube 24h à l'étuve (27°C) avant d'inoculer le *Verticillium* sp.
5. Ouvrir l'orifice d'inoculation et inoculer 5 ml de suspension fongique (10^6 spores/ ml).
6. Flamber l'orifice d'inoculation puis le fermer.
7. Incuber le tube à 27°C durant 7 jours et faire des prélèvements chaque 24h. (**Figure 2.12**)



Figure 2.12: Inoculation du *Verticillium* sp.

V.2.3. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS DE SOL**V.2.3.1. STERILISATION DE L'EMPORTE-PIECE POUR LES PRELEVEMENTS**

1. Laver l'emporte-pièce et le désinfecter avec de l'eau de javel
2. Couvrir l'emporte-pièce avec du papier aluminium et le mettre dans la boîte de Stérilisation
3. Mettre la boîte dans l'étuve à 120°C / 45 min



Figure 2.13 : L'emperte-pièce pour les prélèvements

V.2.3.2. PRELEVEMENT

1. En conditions stériles, ouvrir le 1^{er} Orifice de prélèvement
2. Introduire l'emperte-pièce stérile et prélever le sol.
3. Stériliser l'emperte-pièce
4. Mettre l'échantillon dans un tube à essai à vis contenant 9 ml d'eau distillée stérile
5. On procède aux mêmes étapes pour le 2^{eme}, 3^{eme} et le 4^{eme} orifice de prélèvement.

V.2.4.RE-ISOLEMENT ET IDENTIFICATION DE *VERTICILLIUM*

SP. V.2.4.1. ENSEMENCEMENT

1. Prélever 1ml de la dilution 10^{-1} (solution mère) la mettre dans une boîte de Pétri contenant le milieu PDA (**Figure 2.14**)
2. Faire des mouvements de « 8 » pour homogénéiser l'inoculât
3. Incuber les boîtes à 27°C durant 7 jours (Faire des observations quotidiennement)



Figure 2.14 : Ensemencement de la dilution 10^{-1} sue milieu PDA

V.2.4.2. OBSERVATIONS DES CARACTERES MACROSCOPIQUES ET MICROSCOPIQUES

L'identification du *Verticillium* isolé à partir du sol inoculé est effectuée suite à des observations macroscopiques (aspect du thalle duveteux, cotonneux...couleur, et microscopiques moyennant un microscope optique, en se basant sur les caractères morphologiques microscopiques des hyphes (cloisonnement, coloration) et des formes reproductrices (formes et couleurs des spores) en se référant également aux clés d'identification de (Rieuf 1985).

VI.6.ÉVALUATION DE LA VITESSE DE DEPLACEMENT DU VERTICILLIUM SP. DANS LE SOL EN FONCTIONS DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EXSUDATS RACINAIRES

La vitesse de déplacement du *Verticillium* sp. En fonctions de la qualité des exsudats racinaires est exprimée par la formule suivante

$$\text{La vitesse (cm/h)} = \text{Distance (cm)} / \text{Temps (h)}$$

Cette étape vise à faire des prélèvements d'orifices chaque 24h pour saisir la présence de *Verticillium* sp. Et de calculer le temps de son déplacement dans tous les orifices et chaque exsudats.

VI.1.TENEUR EN SUCRES SOLUBLES TOTAUX

VI.1.1. EXTRACTION :

L'extraction des sucres est réalisée à partir des racines. 1g de racine a été broyé dans un mortier, dans 3ml d'éthanol (80%). Le broyat obtenu a été incubé pendant 30 min dans le réfrigérateur à une température de 4°C puis centrifugé à 1500 G durant 15 min à 4°C. Le surnageant constitue la fraction soluble de sucres. Ce dernier est conservé dans des tubes Eppendorf et stocké à -20 °C

VI.1.2.DOSAGE :

Les oses sont stables en milieu acide. Cependant, chauffés en milieu acide concentré, ils donnent des furfurals déhydes par cyclisation et déshydratation. Les furfurals et leurs dérivés ont la propriété de se condenser avec le phénol pour former des complexes marron. Le dosage des sucres totaux solubles a été réalisé par la méthode de **(Dubois et al., 1956)**

- Dans une série de tubes à essai, 25 µl d'extrait sont additionnés à 500 µl de phénol (5%) et à 1,5 ml de solution d'acide sulfurique concentrée (H₂SO₄) à 96%
- Le mélange est chauffé au bain marie à 100 °C pendant 5 min.
- Après refroidissement dans la glace fondante.
- la densité optique est mesurée à 490 nm. un blanc dans lequel 25 µl d'éthanol à 80 % remplace l'extrait brut.
- Un étalon a été construit grâce à une gamme (0 à 20 µg/ml) de concentration d'une solution de glucose. Les résultats des densités optiques ont été rapportés sur une courbe étalon des sucres solubles (exprimée en glucose) **(Degaichia ,2015).(ANNEXE 2)**

VI.2. TENEUR EN ACIDES AMINES SOLUBLES

VI.2.1.EXTRACTION :

Les échantillons ont été conservés en deçà de -15°C avant analyse. L'extraction a été réalisée selon la méthode décrite par **(Naidu ,1998)**. 50mg d'échantillon ont été placés dans des tubes de centrifugation contenant 5ml d'un mélange (*méthanol : chloroforme : eau*) (60 :

25 : 15 ml). Les tubes scellés ont été chauffés au bain marie (60°C) durant 02 h et centrifugés à 5000 G pendant 10 mn. Le surnageant a servi ensuite aux dosages des acides aminés solubles

VI.2.2.DOSAGE :

Un (01) millilitre de solution tampon acide acétique / acétate de sodium (pH= 4,3) et 1ml de Ninhydrine (5g de Ninhydrine dans 100 ml d'éthanol) ont été additionnés à 1ml de surnageant. Les échantillons ont été agités puis chauffés au bain marie (95°C) pendant 15mn. L'absorbance des essais a été déterminée à 570nm.

Un courbe étalon de références a été réalisé à partir d'une solution mère de leucine à 5 mm préparée dans l'eau distillée pour des va leurs comprises entre 0 et 200 µmoles de leucine. Les résultats ont été exprimés en µmoles d'équivalents leucine/g M.F. (**Degaichia, 2015**)(ANNEXE 2)

VII. MODELISATION DE LA VITESSE DE *VERTICILLIUM SP.*

Suite aux résultats précédents nous avons opté pour une détermination *in-silico* de la formule de la vitesse du déplacement du *Verticillium sp.* en se basant sur les résultats obtenues et cela par une méthode de modélisation prévisionnelle (la régression linéaire simple) par le logiciel SPSS ©.

III. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES

L'analyse statistique des résultats obtenus a été réalisée par le logiciel SPSS© version 20.0.0 pour Windows™.Les expériences ont été répétées cinq fois et les résultats montrent les mêmes tendances.

Une analyse de la variance (ANOVA) est réalisée pour voir l'existence de différences statistiquement significatives entre la vitesse du *Verticillium* dans le sol avec les Exsudats du stade 1 et du stade 2.

Un test de Corrélacion (la corrélation de Pearson): pour voir s'il y a une association entre la vitesse, la teneur en Sucres Solubles Totaux et en Acides aminés.

Un test de Régression Linéaire simple a été réalisée dans le but est de Modéliser la vitesse de déplacement du champignon.

I.HUMIDITE DU SUBSTRAT ET SA CAPACITE DE RETENTION

Les Figure 3.1 et 3.2 représentent le poids moyen du substrat et son humidité relative moyenne selon les fréquences d'irrigation (24h, 48h, 72h) répéter 5 fois.

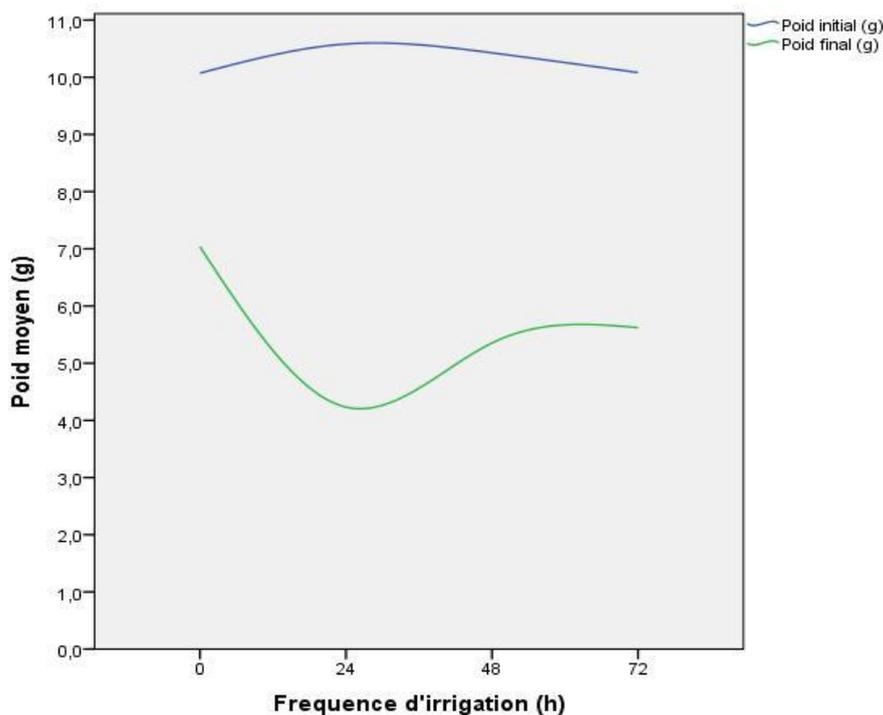


Figure 3.1 : Poids moyen (g) du substrat en fonction de la fréquence d'irrigation(h)

Suite au passage au Thermocontrôle, nous notons que le poids de la prise initiale du substrat (10 g) après irrigation chute et atteint 7,03g au lancement de l'essai (0h). Après 24h le poids moyen enregistré est de 4,26 g. le poids final continue de chuté avec le temps et atteint 5,62 g après 72h.

L'analyse de la variance (ANOVA) ressort qu'il n'existe pas une différence significative des poids initiaux par rapport aux fréquences d'irrigation ($p=0,4$).

Par contre, le test ANOVA indique qu'il existe une différence statistiquement significative entre les différents poids finaux aux différentes fréquences d'irrigation ($p=0,001$). Le test du Tukey regroupe les poids finaux (g) en trois sous-ensembles homogènes. On retrouve le poids final après 48 h et 72h dans le même groupe, ce qui implique l'absence de différence entre ces deux valeurs (ANNEXE9).

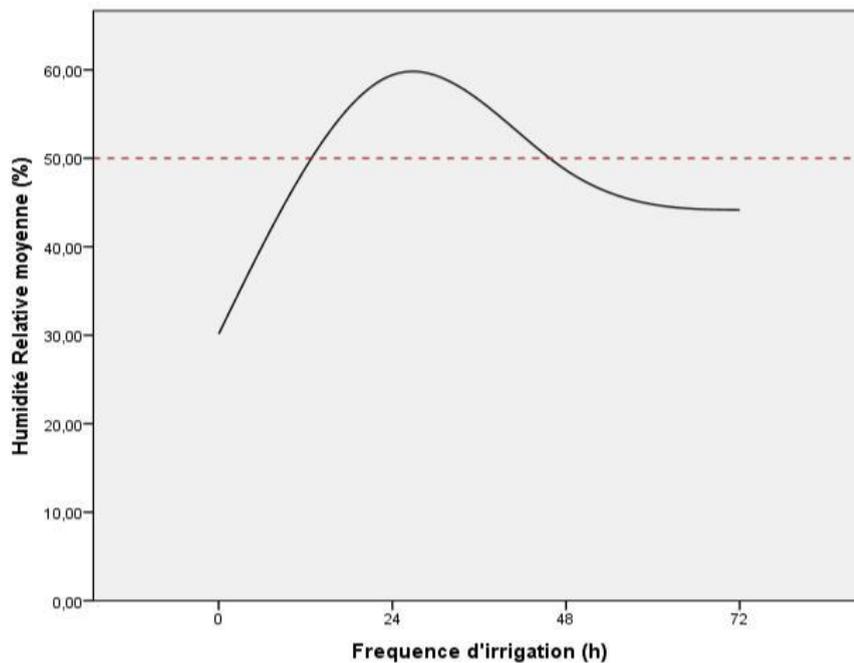


Figure 3.2 : Humidité relative (%) du substrat en fonction de la fréquence d'irrigation (h)

Suite aux résultats de la variation du poids du substrat utilisés pour l'expérimentation, on remarque que l'humidité relative (HR%) moyenne au début de l'essai (0h) est de l'ordre de 30,14%. Après 24h on note une humidité très élevée (57,27%). L'HR diminue après 48h où on note une valeur de 48,66 %. Cette diminution se poursuit après 72h pour atteindre un minimum de 44,15%

Le test ANOVA indique qu'il existe une différence statistiquement significative entre les différents HR% aux différentes fréquences d'irrigation ($p=0,001$). Le test du Tukey regroupe les HR% en trois sous-ensembles homogènes. On retrouve la HR% après 48 h et 72h dans le même groupe, ce qui implique l'absence de différence entre ces deux valeurs (ANNEXE 10).

II. TAUX DE GERMINATION :

Le taux de germination des graines de l'aubergine a été estimé à 96%. Ceci nous permet de dire que la variété la blanche (*Solanum ovigerum*) présente un taux de germination favorable à la poursuite de l'expérimentation.

III. PARAMETRE DE CROISSANCE :

III.1.LE POIS FRAIS ET LE POIS SEC DE LA PARTIE AERIENNE ET SOUTERRAINE DE L'AUBERGINE AUX DEUX STADES PHENOLOGIQUES

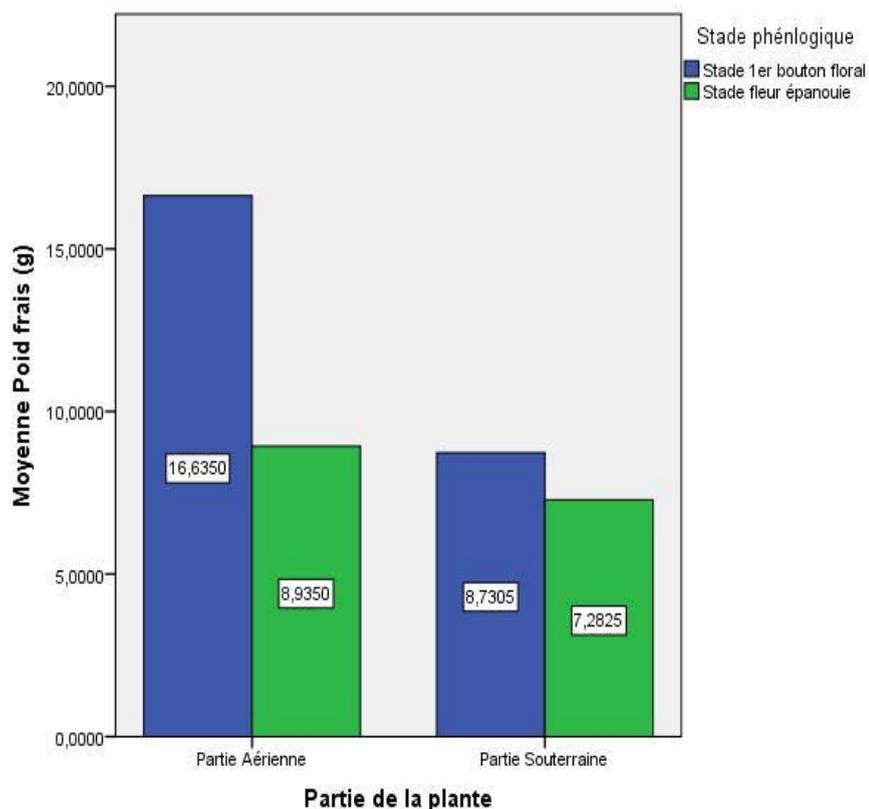


Figure 3.3 : Poids frais moyen (g) des deux parties de l'aubergine aux deux stades phénologiques

La figure 3.3, indique que le poids frais (PF) de la partie aérienne est doublement supérieur (16,63%) au 1^{er} stade en comparant avec le 2^{eme} stade (8,93%)

Chez la partie souterraine, le PF moyen entre les deux stades diffère 1,45% à l'avantage du 1^{er} stade. Le PF moyen est élevé chez la partie aérienne par rapport à la partie souterraine

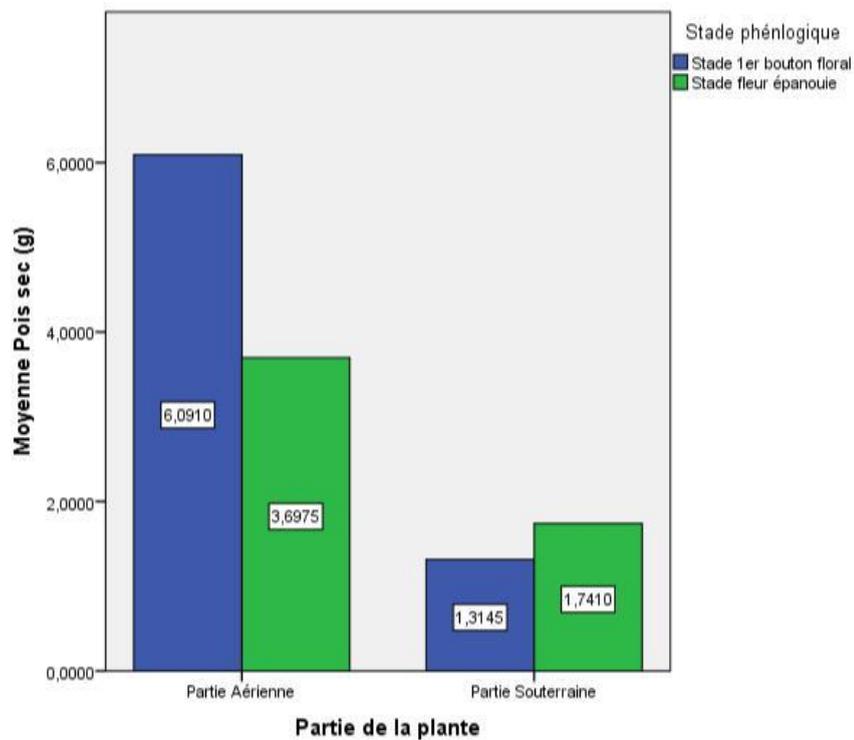


Figure 3.4 : Poids sec moyen (g) des deux parties de l'aubergine aux deux stades phénologiques

La figure 3.4, indique que le poids sec (PS) de la partie aérienne (6,09%) est plus élevé au stade 1 par rapport au stade 2 (3,69%). Pour la partie souterraine la moyenne du PS enregistré au premier stade est de 1,31%, qui est relativement plus faible qu'au 2ème stade (1,74%). Le PS est plus élevé aux parties aériennes qu'aux parties souterraines

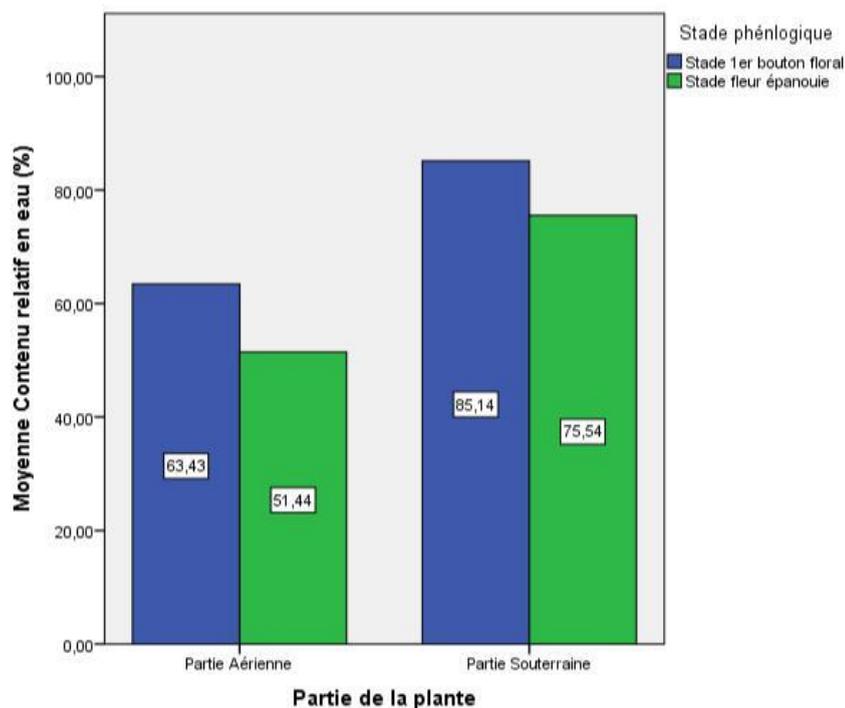


Figure 3.5 : Contenu relatif en eau moyen (CRE%) des deux parties de l'aubergine aux deux stades phénologiques

La figure 3.5 montre que les moyennes du contenu relatif en eau (CRE) sont plus élevées au Stade 2 pour les deux parties de la plantes

Concernant les moyennes du contenu relatif en eau (CRE) de la partie aérienne on note une valeur de 63,43% au stade 1^{er} bouton florale (Stade 1) et 51,44% au stade fleur épanouie (Stade 2).

Chez la partie souterraine, la CRE enregistrée au Stade 1 est de 85,14 % et 75,54 % au Stade 2.

L'analyse multi variée de la variance (MANOVA) ressort une différence significative dans le pois frais (PF) concernant la partie aérienne entre le stade 1^{er} bouton florale et le stade fleur épanouie ($p=0,03$). Cependant, il n'existe pas de différences significatives chez la partie souterrain aux deux stades ($p = 0,59$). Le test révèle l'absence de différences significatives entre le poids sec (PS) des deux parties de l'aubergine ($p=0,3$) aux deux stades ($p= 0,8$). Il va de même pour le CRE ($p = 0.6$ et 0.7)

IV. ÉVALUATION DE LA VITESSE DE DÉPLACEMENT DE *VERTICILLIUM SP.* DANS LE SOL EN FONCTIONS DE LA QUALITÉ DES EXSUDATS RACINAIRES .

IV.1. TENEUR EN SUCRES SOLUBLES TOTAUX ET ACIDES AMINÉS DES RACINES DE L'AUBERGINE

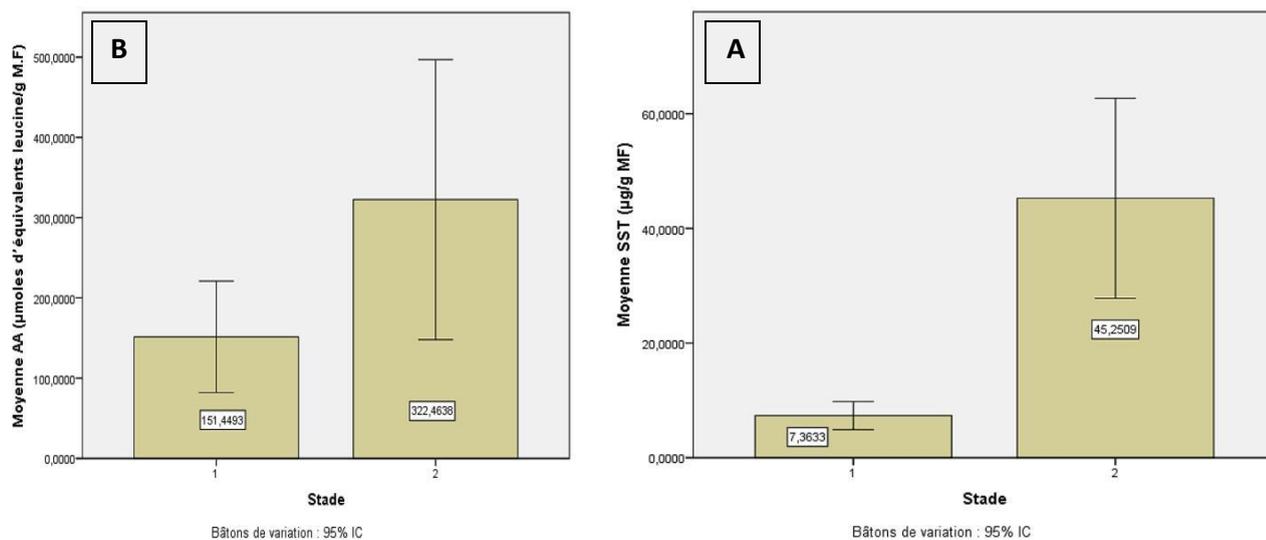


Figure 3.6 : Teneur des racines de l'aubergine en Sucres solubles totaux (A) et en acides

Selon la figure 3.6, nous constatons que les teneurs en SST et en AA sont nettement plus élevées au stade fleurs épanouies (Stade 2). En effet la teneur en AA au 1^{er} stade est de l'ordre de 151,44 µmol d'éq. Leucine / g MF. Cette teneur est doublée au 2^{ème} stade (322,46 µmol d'éq. Leucine / g MF)

Les teneurs en SST sont faibles en 1^{er} stade (7,36 µg/g MF) par rapport au second (45,25 µg/g MF).

IV.2. VITESSE DE DÉPLACEMENT DE *VERTICILLIUM SP.*

La Figure 3.7 indique que la distance parcourue par *Verticillium sp.* diffère selon les stades phénologiques de l'aubergine.

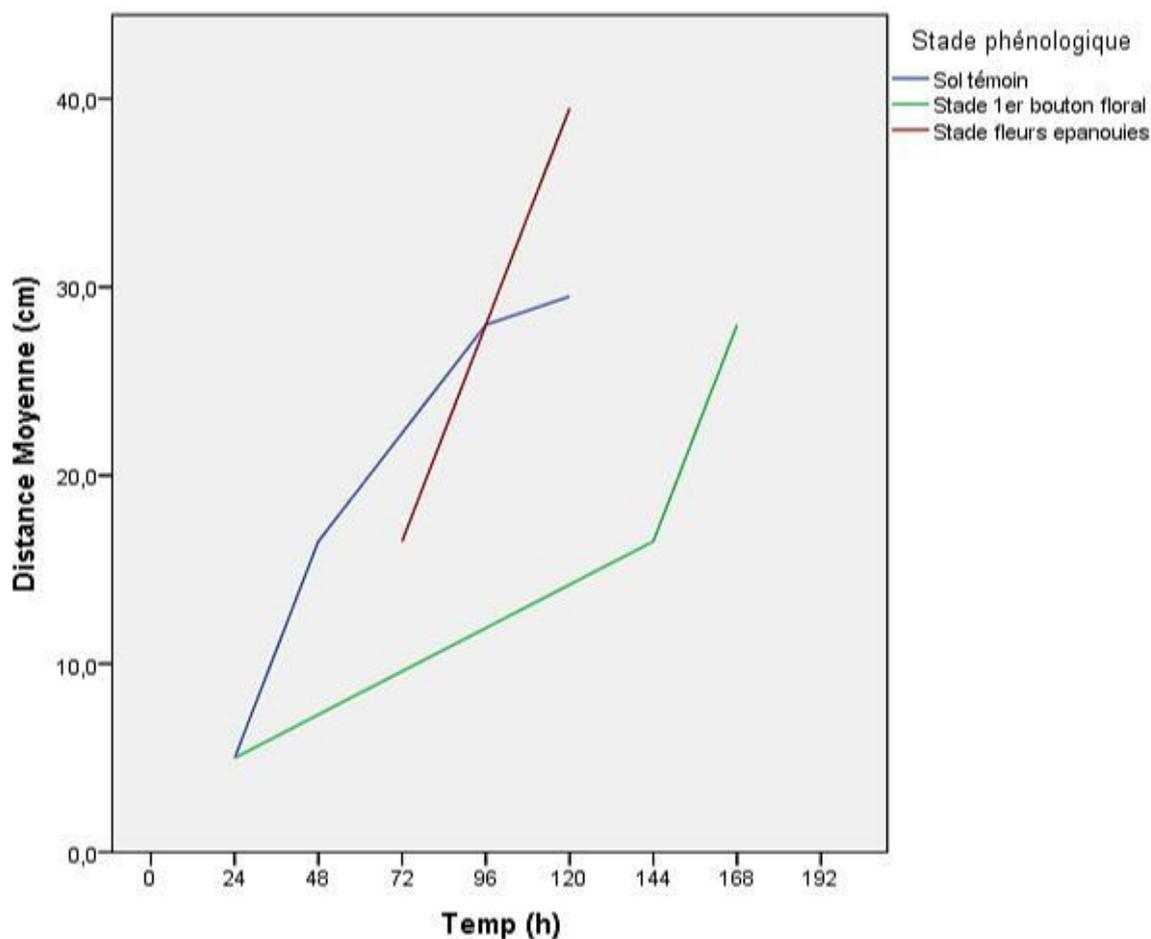


Figure 3.7 : Distance de translation (cm) du *Verticillium* sp. en fonction des stades phénologiques de l'aubergine

Après 24h de l'incubation du tube d'Evans inoculé avec *Verticillium* sp., on note que la distance parcourue de ce dernier est de 5 cm chez le témoin (substrat ne contenant pas d'exsudats racinaires) et atteint la distance de 29,5 cm après 120 h.

La distance augment avec le temps de manières différentes selon les stades dont les exsudats ont été extraits

La vitesse de déplacement de *Verticillium* sp. Diffère selon la présence ou l'absence des exsudats racinaires. Pour le stade 1, après 24h d'incubation on enregistre une distance de 5cm. On note une augmentation progressivement croissante qui atteint une valeur de 28 cm à la fin de l'expérimentation (après 168h).

Concernant le Stade 2, la détection du *Verticillium* sp. a été faite après 72h d'inoculation, donc une distance de 16,5cm et atteint 39,5 cm après 120h.

La vitesse de déplacement de *Verticillium* sp. augmente en fonction de la qualité des exsudats racinaires (teneurs en SST et AA).

L'analyse de la variance (ANOVA) indique que la variation des stades influence sur la vitesse du déplacement du *Verticillium* sp. ($p=0,047 < 0,05$)

Le test de Tukey regroupe la vitesse de déplacement du *Verticillium* sp. en deux sous-groupes homogènes. Ainsi on retrouve la vitesse de ce champignon en présence des exsudats racinaires de l'aubergine au stade 1 et au stade 2 dans deux groupes distincts. Par contre la même analyse nous indique qu'il n'existe pas de différence entre les valeurs de la vitesse engendrées par l'absence et la présence des exsudats peu importe leur origines

La corrélation de Pearson indique l'existence d'une corrélation ($p=0,001$) très forte et proportionnelle ($r = +0,9$) entre les teneurs en acides aminés et les sucres solubles totaux.

Le même test nous indique également l'existence d'une corrélation très forte et proportionnelle entre la vitesse de déplacement du *Verticillium* sp. et la teneur en AA ($p = 0,011$; $r=0,91$) et celle en SST ($p = 0,02$; $r=0,87$)

V. MODELISATION DE LA VITESSE DU DEPLACEMENT DU VERTICILLIUM SP.

Suite aux résultats précédents nous avons opté pour une détermination *in-silico* de la vitesse du déplacement du *Verticillium* sp. en se basant sur les résultats obtenues et cela par une méthode de modélisation prévisionnelle (la régression linéaire simple).

a. ÉVALUATION DE LA PERTINENCE DU MODELE DE REGRESSION

- ANALYSE DE VARIANCE

Le calcul de la valeur de F se fait automatiquement et le degré de signification associé est consigné dans la dernière colonne du tableau 3.1

La valeur de F est de 210,27 (témoin), 60,25 (Stade 1) et 132,594 (Stade 2) ; elle est significative à $p < 0,0005$. Ceci signifie que les probabilités d'obtenir une valeur F de cette taille par hasard sont de moins de 0,05 %. Dans ce cas, nous devons *rejeter l'hypothèse nulle*. Il y a donc une relation statistiquement significative entre le temps et la distance parcourue de *Verticillium* sp. et cela au niveau des 3 stades.

Tableau 3.1 : Analyse de variance pour le modèle de régression

ANOVA^{a,b}

TÉMOIN

Modèle	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Régression	1924,05	1,00	1924,05	210,27	0,001 ^c
1 Résidu	27,45	3,00	9,15		
Total	1951,500 ^d	4,00			

STADE 1

Modèle	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Régression	1046,51	1,00	1046,51	60,25	0,016 ^c
1 Résidu	34,74	2,00	17,37		
Total	1081,250 ^d	3,00			

STADE 2

Modèle	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Régression	2577,620	1	2577,620	132,594	0,007 ^c
1 Résidu	38,880	2	19,440		
Total	2616,500 ^d	3			

a. Variable dépendante : Distance

b. Régression linéaire à l'origine

c. Valeurs prédites : temps_h

d. Ce total des carrés n'est pas corrigé pour la constante car celle-ci vaut zéro pour la régression à l'origine.

b. ÉVALUATION DE LA VARIABILITE EXPLIQUEE PAR LE MODELE DE REGRESSION

- LES PARAMETRES DU MODELE

Le tableau 3.2 nous donne les paramètres de l'équation du modèle de régression. Les coefficients non standardisés nous permettent de reconstituer l'équation de la droite de régression, qui sera de type : = (.)

Tableau 3.2 : Paramètres de l'équation du modèle de régression

Coefficients^{a,b}

TÉMOIN

Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients Standardisés	t	Sig.
	A	Erreur standard	Bêta		
1 Temps_h	0,47	0,02	0,99	14,50	0,00

STADE 1

Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients Standardisés	t	Sig.
	A	Erreur standard	Bêta		
1 Temps_h	0,645	0,02	0,98	7,76	0,02

STADE 2

Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients Standardisés	t	Sig.
	A	Erreur standard	Bêta		
1 temps_h	0,799	0,026	0,993	11,515	0,007

a. Variable dépendante : Distance

b. Régression linéaire à l'origine

La colonne des coefficients standardisés indique la valeur du coefficient de corrélation (Bêta). Elle apporte toutefois une nouvelle information: la valence de cette valeur (+ ou -). Donc le sens de la relation entre la distance parcourue par le Verticillium sp. (y) et le temps (x) est proportionnel peut import le stade.

- DETERMINATION DE L'EQUATION DE REGRESSION

Le précédent tableau nous indique que les équations de régression sont les suivantes :

$$y_{\text{témoin}} = (0,45 \cdot x) \dots\dots (1)$$

$$y_{\text{stade 1}} = (0,645 \cdot x) \dots\dots (2)$$

$$y_{\text{stade 2}} = (0,799 \cdot x) \dots\dots (3)$$

Avec :

y : valeur *prédite* de la distance (cm) ; x : le Temps (h).

- **DETERMINATION PREDICTIVE DE LA VITESSE DU VERTICILLIUM SP.**

En se basant sur les équations (1), (2) et (3) nous obtenons une modélisation statistique de la vitesse de déplacement du Verticillium sp. dans les conditions de l'expérimentation ce qui est démontré par la figure 3.8

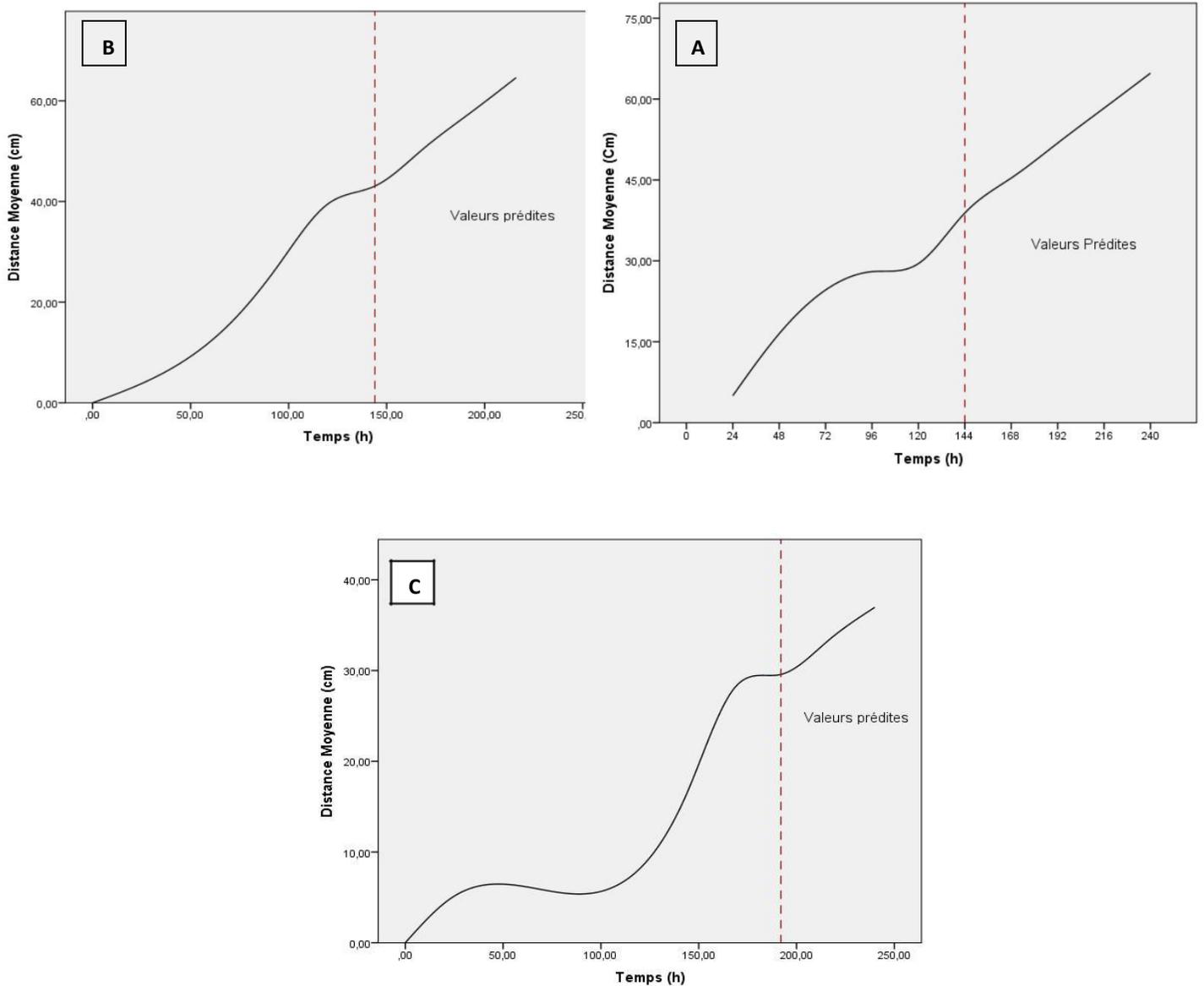


Figure 3.8 :Effet prédictif *in-silico* du temps (h) sur vitesse du déplacement du *Verticillium sp.* basé sur le modèle de la régression linéaire simple(A : sol témoin ; B : en présence d'exsudats racinaires du stade 1 ; C : en présence d'exsudats racinaires du stade 2)

VI. Discussion Générale

Les affections cryptogamiques sont redoutables et affectent une gamme très large de plantes, qu'elles soient cultivées ou spontanées. Le genre *Verticillium* regroupe deux espèces pathogènes de plantes (*V. dahliae* et *V. albo-atrum*) (Yildiz et al., 2009). Le champignon responsable de la Verticilliose (*Verticillium dahliae*) se conserve dans le sol sous forme de microsclérotés pendant de nombreuses années (jusqu'à 14 ans). Stimulés par des exsudats racinaires, ces microsclérotés germent (Terresinovia, 2017).

Dans ce travail on a suivi l'effet des exsudats racinaire et du stade phénologique de l'aubergine sur la dynamique du *verticillium sp.*, la qualité de ces exsudats est évaluée par les sucres solubles totaux et les acides aminés.

La quantité de sucres soluble et des acides aminés stimule la qualité des exsudats racinaire notamment est ainsi la vitesse de déplacement de *verticillium* qui augmente

Dans nos résultats, on a constaté que la présence des exsudats racinaire stimule la vitesse de déplacement de l'agent pathogène. (Baetz et Martinoia, 2013) stipule le contraire, certains exsudats ont ainsi pour rôle de repousser les agresseurs et les maintenir à distance.

Ces exsudats jouent leur rôle important à cause de leurs composants ceci est confirmé par nos résultats. La dynamique de *Verticillium sp.* varie selon la quantité de sucres solubles et l'acide aminé. Ce qui implique qu'à l'augmentation de la quantité de ces deux composants dans les exsudats racinaire la vitesse de *Verticillium sp.* augmente. Nos résultats ont été confirmés par (Waligora, 2010), les exsudats racinaires sont constitués de deux fractions majeures, en plus des cellules exfoliées de la coiffe : Les mucilages qui sont composés à 95 %, de sucres (polysaccharides) et à 5 % de protéines, Les exsudats solubles, également issus du processus de photosynthèse, composés de molécules de plus petite taille comme des sucres simples, des acides aminés, des acides organiques, des enzymes, des phénols, des stérols ou encore des vitamines. Les exsudats stimulent le développement des micro-organismes, en retour, ceux-ci stimulent l'exsudation racinaire, les bactéries (plus rapides à se multiplier) puis les champignons.

Les exsudats de plantes hôtes sont riches en acides aminés et en sucres qui augmentent la vitesse de déplacement des agents pathogènes virulents. Cela est confirmé par notre travail dont les résultats rejoignent ceux de (Mench, 1985). L'auteur stipule qu'une plante hôte libère des exsudats racinaires qui sont constitués de substances organiques carbonées azotées :

polysaccharides, acides organique et protéines. Ces exsudats favorisent le développement de la microflore qui lui est pathogène. Ainsi, en réponse à l'apport énergétique représenté par les exsudats racinaires, des propagules fongiques se développent de façon saprophytique jusqu'à la racine qu'elles peuvent infecter et éventuellement parasiter (**Schroth et Hildenbrand, 1964**).

La quantité et la qualité des exsudats racinaires dépendent de l'espèce, du cultivar, du stade de développement de la plante et des facteurs environnementaux. Ces derniers favorisent la stimulation des agents pathogènes telluriques les plus redoutables et leurs dynamiques dans le sol (**Xiao-gang Li, 2013**).

CONCLUSION

Ce travail s'inscrit dans un programme de recherche destiné à la caractérisation du *Verticilliumdahliae* en Algérie. Il a pour objectif d'évaluer *in vitro* l'effet des exsudats racinaires et des stades phénologiques de l'aubergine sur la dynamique du *Verticillium sp.* Et de modéliser la vitesse de déplacement de ce pathogène.

Les résultats obtenus démontrent que la qualité des exsudats et la quantité des sucres et des acides aminés étudiés dans les deux stades phénologiques de l'aubergine influencent sur la vitesse du déplacement de *Verticillium sp.* Dans le sol

La vitesse est plus élevée au stade 2 (fleurs épanouies) par rapport au stade 1 (1^{er} bouton florale). Ceci est en étroite relation avec la quantité en sucres solubles totaux et en acides aminés qui est faible au Stade 1.

Suite à nos résultats, la détermination *in-silico* de la vitesse du déplacement du *Verticillium sp.* par une méthode de modélisation prévisionnelle (la régression linéaire simple) nous a permis de ressortir trois (03) formules mathématiques qui nous permettent de modéliser la vitesse de déplacement du *Verticillium sp.* Dans les conditions de l'expérimentation

Dans les travaux futurs, il serait intéressant de faire une étude plus approfondie en effectuant une analyse poussée des exsudats racinaires utilisés. Il serait également intéressant d'évaluer l'effet de ces exsudats sur la vitesse du déplacement du champignon tout au long du cycle végétatif de plusieurs plantes hôte (tel que la tomate, la pomme de terre ...).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Acharya, S.N. and Huang, H.-C. (2003).** Breeding alfalfa for resistance to verticillium wilt: A sound strategy.
2. **Alfano G., Lustrato G., Lima G., Vitullo D., Ranalli G. 2011.** Characterization of composted olive mill wastes to predict potential plant disease suppressiveness. *Biol. Control.*, 58:199-207.
3. **Anonyme : PROD.AGRI, 2012**
4. **Arslan M., Dervis S. 2010.** Antifungal activity of essential oils against three vegetative compatibility groups of *Verticillium dahliae*. *World J. Microbiol.Biotechnol.*, 26:1813–1821.
5. **Baetz U. et Martinoia E. 2013 ;** Root exudates: the hidden part of plant defense. *Trends in Plant Science.* 10(1120): 1-9
6. **Bais HP, Weir TL, Perry LG, S. Gilroy, Vivanco JM. 2006.** The Role of Root Exudates in Rhizosphere Interactions with Plants and Other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol.* 57:233-266
7. **Barber et Martin, 1976** -The release of organic substances by cereal roots into soil, 69–80
8. **Beaulieu, J.C., Ingram, D.A., Lea, J.M., Bett-Garber, K.L., 2004.** Effect of harvest maturity on the sensory characteristics of fresh-cut cantaloupe. *J. Food Sci.* 69, 250–258.
9. **Belhassen, M. 2004.** Laverticilliose del’olivier : étude épidémiologique et diversité génétique de *verticilliumdahliae* Kleb., agent de la verticilliose. Thèse de Doctorat. Université d’Oran, 145p.
10. **Bellahcen M., 2004.** La verticilliose de l’olivier : étude épidémiologique et diversité génétique de *Verticillium dahliae* Kleb., agent de la verticilliose. Thèse de doctorat d’état de Science, Université d’Oran, Algérie. 145 p.
11. **Bellahcen, M., Fortas, Z., Henni, D., Matallah, A., Geiger, J.P., Nicole, M. 1997.** Importance and epidemiology of *verticillium dahliae* (Kleb) on olive in Kbylie. In proceeding oh 10th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union, june 1-5, Montpellier, France, 661p.
12. **Bellahcen, M., Fortas, Z., Kaddous, M., Matallah, A., Nicole, M. Geiger, J.P., 1998.** La verticilliose de l’olivier dans les oliveraie de la région ouest d’Algérie :

estimation du taux d'infection, caractérisation de l'agent causal et analyse quantitative des microsclérotés dans le sol. XIème Journées Nationales de Microbiologie. S.A.M, 30 Nov -1 Déc, Oran, Algérie, pp.36-37.

13. **Bellahcen, M., Fortas, Z., Geiger, J.P., Matallah, A., Henni, D., 2000.** *Verticillium* wilt in olive in Algeria : Geographical distribution and extent of the disease. *Olivae*, 82, pp.41-43.
14. **Benchaabane, M. 1990** Observation des cas de verticilliose de l'olivier à Cap-Djinet et sidi-Aich. Rapport de mission. ITAF, Algérie, 5p.
15. **Berlanger, I. and Powelson, M.L. (2000).***Verticillium wilt*
16. **Bishop, C.D. and Cooper, R.M. (1983).** An ultrastructural study of root invasion in three vascular wilt diseases. *Physiol. Plant Pathol.* 22: 15–113.
17. **Bloncard Dominique, Messiaen Charles-Marie, Rouxel Francis, LAFON Robert, 1991.** LES MALADIES DES PLANTES MARAICHERES .Ed.Messiaen et Lafon, Paris, p 39.
18. **Bloncard dominique, 2013** , inra ,édition quae, France
19. **Bloncard Dominique, 2013** *verticillium dahliae* kleb, (1913) *verticillium albo-atrum* reinke è brethold
20. **Bloncard Dominique, 2015** Détail au microscope photonique des microsclérotés formés par *verticillium dahliae* identifier les maladies et les ravageurs
21. **Bloncard dominique, 2017** , inra ,édition quae, France
22. **Boland G.J. and Hall R., 1994.** Index of plant hosts of *Sclerotium*. *Can. J. Plant Pathol.* 16 :93-108
23. **Botton B., Breton A., Fèvre M. Gauthier S., Guy Ph., Larpent J-P., Raymond P., Sanglier J-J., Vayssier Y. and Veau R. (1990).** Moisissures utiles et nuisibles : importance industrielle. Édition Masson, Paris.
24. **Boukenadel F. 2001.** Contribution à l'étude de *Verticillium dahliae* Kleb., agent de la verticilliose de l'olivier. Mém. Magister, Univ. Tlemcen (Algérie), 103p.
25. **Boullinger, M. (1970)** Cultures maraichères-phytopathologie, phytopharmacie, projet Algérie. formation Professionnelle Agricole, 70p
26. **Campbell R. and Greaves M. P. (1990).** Anatomy and community structure of the rhizosphere. In: the rhizosphere. Lynch I. M. (Eds). Wiley Series in Ecological and Applied Microbiology. 11-34.

- 27. Cantwell M., Suslow T.V, 1997.** Eggplant: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality [WWW Document]. UC DAVIS. URL <http://postharvest.ucdavis.edu/pfvegetable/Eggplant> (accessed 11.28.14).
- 28. Chaux C. et foury C., 1994.** Aubergine in :production légumières, tome 3,légumineuses potagères ,légumes fruits ,Lavoisier ,pp.233-270.
- 29. Chen, P., Lee, B., and Robb, J. Chen, P., Lee, B., and Robb, J. (2004).** Tolerance to a non-host isolate of *Verticillium dahliae* in tomato. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 64: 283–291
- 30. Centre technique interprofessionnel des fruites et légumes,2003**
- 31. Curl, E. A. & Truelove, B. (1986).** The Rhizosphere. New York: Springer-Verlag
- 32. Daunaym C. , Lester R N., ANO G., 1997.** Les aubergines,l'amélioration des plantes tropicales, Cirad-Repères, pp :83-107
- 33. Degaichia, H.2013 ;2015 .**essai de rhizodégradation des éléments de trace métallique (cas du cuivre et du cadmium)par bradyrhizobium sp prélevé sur lotus ornithopodioides et analyse de son activité antifongique .Mémoire de magister .Université de Blida
- 34. Drigo B, Pijl AS, Duyts H, Kielak AM, Gamper HA, et al. (2010)** Shifting carbon flow from roots into associated microbial communities in response to elevated atmospheric CO₂. *P NatlAcadSci* 107: 10938 210942.
- 35. Etang M., 2012-**Effet de différents paramètres de l'environnement sur le déterminisme biochimique d'exsudats racinaires de *Crotalaria* spp. : Application à la nématoregulation en production végétale. Thèse de doctorat sous la direction de H. Ozier-Lafontaine.
- 36. Eynck, C., Koopmann, B., Grunewaldt- Eynck, C., Koopmann, B., Grunewaldt-Stoecker, G., Karlovsky, P., and Tiedemann, A. von Stoecker, G., Karlovsky, P., and Tiedemann, A. von Stoecker, G., Karlovsky, P., and Tiedemann, A. von (2007).**Differential interactions of *Verticillium longisporum* and *V. dahliae* with *Brassica napus* detected with molecular and histological techniques. *Eur. J. Plant Pathol.* 118: 259–274.
- 37. FAO/OMS ., 2014 -** PROGRAMME MIXTE FAO/OMS SUR LES NORMES ALIMENTAIRES COMITÉ DU CODEX SUR LES FRUITS ETLÉGUMES FRAIS Dix-huitième sessionPhuket,Thaïlande, 24 – 28 février 2014
- 38. Fradin, E.F. and Thomma, B.P.H.J. (2006).** Physiology and molecular aspects of *Verticillium* wilt Fradin, E.F. and Thomma, B.P.H.J. diseases caused by *V. dahliae* and *V. albo-atrum*. *Mol. Plant Pathol.* 7: 71–86.

39. **Gams, D.W. and Zaayen, D.A.V. (1982).** Contribution to the taxonomy and pathogenicity of Gams, D.W. and Zaayen, D.A.V. fungicolous *Verticillium* species. I. Taxonomy. *Neth. J. Plant Pathol.* 88: 57–78.
40. **Grayston, S. J., Vaughan, D. & Jones, D. (1997).** Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Appl Soil Ecol* 5, 29–56.
41. **Harrington M. A. and Dobinson K. F. (2000).** Influences of cropping practices on *Verticillium dahliae* populations in commercial processing tomato fields in Ontario. *Phytopathol.*, **90**, 1011-1017.
42. **Hawke, M. A., and Lazarovits, G. 1994 :** production and manipulation of individual microsclerotia of *verticillium dahliae* for use in studies of survival, *phytopathology* 84 :883-890.
43. **Heale, J.(2000).** Diversification and speciation in *Verticillium* - an overview Tjamos EC, Rowe RC, Heale, J. Heale JB, Fravel DR. (*Advances in Verticillium research and disease management.*: St. Paul, MN: APS Press).
44. **Heinz, R., Lee, S.W., Saparno, A., Nazar, R.N., and Robb, J. Heinz, R., Lee, S.W., Saparno, A., Nazar, R.N., and Robb, J. (1998).** Cyclical systemic colonization Heinz, R., Lee, S.W., Saparno, A., Nazar, R.N., and Robb, J. in *Verticillium*-infected tomato. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 52: 385–396.
45. **Henni J.E. 1982.** Contribution à la lutte contre le verticilliose : facteurs physico-chimiques et biologiques inhibant la germination des microsclerotes de *Verticillium dahliae* klebahn. Thèse.Doct. D'Etat. Univ. Paris (France). 150pp.
46. **Hequet, V., Le Corre, M., Rigault, F. & Blanfort, V. 2009.** Les Espèces Exotiques Envahissantes de Nouvelle-Calédonie. IRD, AMAP, Nouméa. 87 pp.
47. **Inderbitzin et al., 2011 ; Inderbitzin, P., Bostock, R.M., Davis, R.M., Usami, T., Platt, H.W., and Subbarao, K.V. (2011a).**
48. **Inderbitzin, P., Bostock, R.M., Davis, R.M., Usami, T., Platt, H.W., and Subbarao, K.V.** Phylogenetics and Taxonomy of the Fungal Vascular Wilt Pathogen *Verticillium*, with the Descriptions of Five New Species. *PLoS ONE* 6: e28341.
49. **Inderbitzin, P., Davis, R.M., Bostock, R.M., and Subbarao, K.V. (2011b).** The Ascomycete *Verticillium* Inderbitzin, P., Davis, R.M., Bostock, R.M., and Subbarao, K.V. *longisporum* Is a Hybrid and a Plant Pathogen with an Expanded Host Range. *PLoS ONE* 6: e18260.

- 50. Inderbitzin, P., Davis, R.M., Bostock, R.M., and Subbarao, K.V. (2013).** Identification and Inderbitzin, P., Davis, R.M., Bostock, R.M., and Subbarao, K.V. Differentiation of *Verticillium* Species and *V. longisporum* Lineages by Simplex and Multiplex PCR Assays. *PloS One* 8: e65990.
- 51. Isaac, I. (1953).** A further comparative study of pathogenic isolates of *Verticillium*: *V. nubilum* Isaac, I. Pethybr. and *V. tricorpus* sp.nov. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 36: 180–IN2.
- 52. Isaac, I. (1967).** Speciation in *Verticillium*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 5 Isaac, I. 5: 201–222.
- 53. Isabelle C., 2016 - Verticilliose** [page consulté 22 Aout 2017]
<<http://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/verticilliose,1688.html>>
- 54. INRA 2013**
- 55. J. Bejarano-Alc´azar,1 A.J. Termorshuizen2and R.M. Jim´enez-D´iaz , (1999),** Single-Site Root Inoculations on Eggplant with Microsclerotia of *Verticillium dahliae*,, *Phytoparasitica* 27(4):279-289
- 56. Jabnoun-khiareddine, H., et al 2010) Jabnoun-Khiareddine, H., Daami-Remadi, M., Barbara, D.J., and El Mahjoub, M. 2010.** Morphological variability within and among *Verticillium* species collected in Tunisia. *Tunisian Journal of Plant Protection* 5: 19-38.
- 57. Jones, D. L. (1998).** Organic acids in the rhizosphere – a critical review. *Plant Soil* 205, 25–44
- 58. Josette Albouy, Jean-Claude Devergne ,. 1998,** Maladies à virus des plantes ornementales, Editions Quae ,p 473 : La Promotion pour le Développement,2011 ,2012, Le Diagnostic de la filière d’aubergine ,Bocozele, 5eme section de la commune de Saint-Marc.
- 59. Jouan B., Lemaire J. M., Lemarchand E., Sanson M. T., 1974.** Mise au point sur la gangrène de la pomme de terre (*Phoma exigua* var. *exigua* et var. *foveata*). *Sci. agron.*, Rennes, 97-110
- 60. Kader, A.A., 2008.** Flavor quality of fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 88, 1863–1868. -(statistiques du Ministère de l’Agriculture.agroligne., 2014 ;N° 87
- 61. Karapapa, V.K., Bainbridge, B.W., and Heale, J.B. (1997).** Morphological and molecular Karapapa, V.K., Bainbridge, B.W., and Heale, J.B. characterization of *Verticillium longisporum* comb, nov., pathogenic to oilseed rape. *Mycol. Res.* 101: 1281–1294.

- 62. Klosterman, S.J., Atallah, Z.K., Vallad, G.E., and Subbarao, K.V. (2009).** Diversity, pathogenicity, and Klosterman, S.J., Atallah, Z.K., Vallad, G.E., and Subbarao, K.V. management of verticillium species. *Annu. Rev. Phytopathol.* 47: 39–62.
- 63. Kolév.N .,** les cultures marichères en algérie tome I ;légumes fruits, I.T.C.M .I,Staoueli 1997 pp.6-33
- 64. Kumar R., Tapwal A., Kumar Borah R. 2012.** Verticillium Wilt infecting *Parkia roxburghii* seedling in manipurindia. *Academic Journal Inc.*, 1-6.
- 65. Lebuhn M., Heulin T., Hartmann A., 1997.** Production of auxin and other indolic and phenolic compounds by *Paenibacillus polymyxa* strains isolated from different proximity to plant roots. *FEMS Microbiol Ecology* 22: 325-334.
- 66. Lesuffleur F. (2007).** Rhizodéposition à court terme de l'azote et exsudation racinaire des acides aminés par le trèfle blanc (*Trifolium repens* L.). Thèse de doctorat. Institut de biologie fondamentale et appliquée (IBFA). Université de CAEN, France
- 67. Ligoxigakis, E.K., Vakalounakis, D.J., and Thanassoulopoulos, C.C. (2002).** Weed hosts of *Verticillium Ligoxigakis, E.K., Vakalounakis, D.J., and Thanassoulopoulos, C.C. dahliae* in crete: Susceptibility, symptomatology and significance. *Phytoparasitica* 30: 511– 518.
- 68. Louvet J., 1975-** L'activité des champignons phytopathogènes dans larhizosphère. *Coll. Rhizosphère*, 183-192.
- 69. Luis Gómez-Alpízar Luis Gómez , 2001,** A class project for PP-728
- 70. Malcolm, G.M., Kuldau, G.A., Gugino, B.K., and Jiménez- Malcolm, G.M., Kuldau, G.A., Gugino, B.K., and Jiménez-Gasco, M. del M. Gasco, M. del M. Gasco, M. del M. (2013).** Hidden Host Plant Associations of Soilborne Fungal Pathogens: An Ecological Perspective. *Phytopathology* 103: 538–544.
- 71. Matallah-Boutiba, A., Fortas, Z., Henni, D., Sedra, M.H., Geiger, J.p. 1996.** La verticilliose de l'olivier dans l'ouest algérien : histopathologie des interactions hôte-parasite. 4^{ème} congrès de la Société Française de Phytopathologie, 19-22 Nov, Nice, France, p.E13.
- 72. Mathre, D. (1986).** Occurrence of *Verticillium Dahliae* on Barley. *Plant Dis.* 70 Mathre, D. 70: 981–981.
- 73. Mathre, D. (1989).** Pathogenicity of an Isolate of *Verticillium-Dahliae* Form Barley. *Plant Dis.* 73 Mathre, D. 73: 164–167.

- 74. Mench Michel, 1985.** influence des exsudats racinaires solubles sur la dynamique des metaux dans la rhizospher du mais, zea mays l.Ed Grenoble,p 109.
- 75. McCain A. H., Raabe R. D., and Wilhelm S. (1981).** Plants resistant or susceptible toVerticillium wilt. Cooperative Extension, U.S. Department of Agriculture, University of California, Berkeley, 12 pp.
- 76. Mol, L. and Riessen, H.W. van (1995).** Effect of plant roots on the germination of microsclerotia Mol, L. and Riessen, H.W. van ofVerticillum dahliae. Eur. J. Plant Pathol. 101: 673–678
- 77. Naidu, B.P.,D.F.Cameron Et S.V, Konduri(1998).**Improving drought tolerance of cotton by glycine betaine application and selection .Proceedings og the Australian Agronomy Conference.July 20-23,1998, The Australian society of Agronomy ,Australia.
- 78. Nannipieri P., Grego S., Ceccanti B. 1990.** Ecological significance of the biological activity in soil. In: Bollag JM, Stotzky G (Eds) Soil biochemistry, vol 6. MarcelDekker, New York, 293–355.
- 79. Neumann, M.J. and Dobinson, K.F. (2003).** Sequence tag analysis of gene expression during Neumann, M.J. and Dobinson, K.F. pathogenic growth and microsclerotia development in the vascular wilt pathogen Verticillium dahliae. Fungal Genet. Biol. FG B 38: 54–62.
- 80. Patricia Erard, 2003,** édition centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, France
- 81. Pegg G. F. (1984).** The impact of *Verticillium* diseases in agriculture, Phytopathol. Mediterr.,**23**, 176-192.
- 82. Pegg, G.F. and Brady, B.L. (2002).***Verticillium Wilts* (CABI).
- 83. Philippot L, Raaijmakers JM, Lemanceau P, van der Putten WH (2013)** Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. Nat RevMicrobiol 11: 789–799.
- 84. Pierre Tilma , Romuald Fontaine,2015 ,** FICHE PHYTOSANITAIRE , CULTURES MARAÎCHÈRES ,Ecophyto, France
- 85. Powelson, M.L. and Rowe, R.C. (1993).** Biology and Management of Early Dying of Potatoes. Annu. Powelson, M.L. and Rowe, R.C. Rev. Phytopathol. 31: 111–126.
- 86. Presley, J.T., Carnes, H.R., Taylor, E.E., and Schnathorst, W.C. (1966).** Movement of conidia of Presley, J.T., Carnes, H.R., Taylor, E.E., and Schnathorst, W.C. yerticillium albo-atrum in cotton plants. Phytopathology: 375.

- 87. Rapilly F.**(1968). Les techniques de mycologie en pathologie végétale. Ann Epiphyt 19 ,(n° HS).
- 88. Reusche, M., Thole, K., Janz, D., Truskina, J., Rindfleisch, S., Drübert, C., Polle, A., Lipka, V., and Teichmann, T. (2012).** Verticillium infection triggers VASCULAR-RELATED NAC Teichmann, T. DOMAIN7-dependent de novo xylem formation and enhances drought tolerance in Arabidopsis. Plant Cell 24: 3823–3837.
- 89. Reusche, M., Truskina, J., Thole, K., Nagel, L., Rindfleisch, S., Tran, V.T., Braus-Reusche, M., Truskina, J., Thole, K., Nagel, L., Rindfleisch, S., Tran, V.T., Braus-Stromeyer, Stromeyer,Stromeyer, Stromeyer,S.A., Braus, S.A., Braus, S.A., Braus, S.A., Braus, G.H., Teichmann, T., and Lipka, V. (2013).** Infections with the vascular pathogens G.H., Teichmann, T., and Lipka, V. Verticillium longisporum and Verticillium dahliae induce distinct disease symptoms and differentially affect drought stress tolerance of Arabidopsis thaliana. Environ. Exp. Bot.
- 90. Robb, J., Shittu, H., Soman, K.V., Kurosky, A., and Nazar, R.N. (2012).** Arsenal of elevated defense Robb, J., Shittu, H., Soman, K.V., Kurosky, A., and Nazar, R.N. proteins fails to protect tomato against Verticillium dahliae. Planta 236: 623–633.
- 91. Rowe, R.C. and Powelson, M.L. (2002).** Potato Early Dying: Management Challenges in a Changing Rowe, R.C. and Powelson, M.L. Production Environment. Plant Dis. 86: 1184–1193.
- 92. Rubatzky VE., Yamaguchi M., 1997 .**eggplant in :world vegetables ,principales production and nutritive values, ITP,pp. 562-567
- 93. Schnathorst, W.C. (1981).** Life cycle and epidemiology of Verticillium. In Fungal wilt diseases of Schnathorst, W.C. plants, edited by Marshall E (New York, Academic Press, 1981.).
- 94. Scuthot et HIL.DEBHA., 1964.-** Influence of plant exudats on rool infecting fungi. Ann. Rev. Jhytopatlz., 2, 101-132.
- 95. Singh, T.N., D. Aspinall, L.G. Paleg et S.F. Bogges (1973).** Stress metabolism. II. Changes in proline concentration in excised plant tissues. Aust. J. Biol. Sci., 26: 57-63.
- 96. Soufiane B. (1998).** Isolement à partir de la rhizosphère des conifères de bactéries et d'actinomycètes antagonistes aux champignons phytopathogènes. Mémoire de métrise. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. Université Laval, Québec.
- 97. Subbarao, K.V., Raid, R.N., Kurtz, E.A., and Davis, R.M. (1997).** Compendium of Lettuce Diseases Subbarao, K.V., Raid, R.N., Kurtz, E.A., and Davis, R.M. (Amer Phytopathological Society: St. Paul, Minn.).

- 98. subramoniam, V.1974** Rapport sur la microflore d'algerie. I. N. A, Alger, Algérie, 15p.
- 99. Talboys, P.W. (1958).** Association of tylosis and hyperplasia of the xylem with vascular invasion of Talboys, P.W. the hop by *Verticillium albo-atrum*. Trans. Br. Mycol. Soc. 41: 249–IN8.
100. **Terresinovia, 2017-Verticillium** [page consulté 18 Aout 2017] <<http://www.terresinovia.fr/tournesol/cultiver-du-tournesol/maladies/verticillium/>>
- 101. Triki M.A., Hassaïri A., Mahjoub M. 2006.** Premières observations de *Verticillium dahliae* sur olivier en Tunisie. Bull EPPO Bull., 36 (1): 69–71.
- 102. Vallad, G.E. and Subbarao, K.V. (2008).** Colonization of resistant and susceptible lettuce cultivars by Vallad, G.E. and Subbarao, K.V. a green fluorescent protein-tagged isolate of *Verticillium dahliae*. Phytopathology 98: 871– 885.
- 103. Walker TS, Bais HP, Grotewold E, Vivanco JM. 2003a.** Root Exudation and Rhizosphere Biology. Plant Physiol. 132:44-51
- 104. Waligora Cécile ., 2010** -,racines et sol : un monde de communications et d'équilibres, TCS n°57
- 105. Westover K.M., Kennedy A.C. and Kelley S.E. (1997).** Patterns of rhizosphere microbial community structure associated with Co-occurring plant species. J. Ecol. 85, 563-873
- 106. Whipps J. M. (1990).** Carbon economy in the rhizosphere. In: Ecological and applied microbiology. Lynch J.M. (Eds). Wiley Series. 59-97.
- 107. Wilhelm S. 1955.** Longevity of the *Verticillium* wilt fungus in laboratory and field. Phytopathology,45:180–181.
- 108. Xiao-gang Li, 2013** The Composition of Root Exudates from Two Different Resistant Peanut Cultivars and Their Effects on the Growth of Soil-Borne Pathogen
Xiao-gang Li¹, Tao-lin Zhang¹, Xing-xiang Wang^{1,3}, Ke Hua², Ling Zhao¹, Zheng-min Han² In ntteerrna at tiio on na al l J Jo ouurrna al l o of f B Bi iool lo oggiicca al l S Sc ci ie en ncees s 2013; 9(2):164-173. doi: 10.7150/ijbs.5579
- 109. Yangui T., Sayadi S., Gargoubi A., Dhouib A. 2010.** Fungicidal effect of hydroxytyrosolrich preparations from olive mill wastewater against *Verticillium dahliae*. Crop Protection 29:1208-1213
- 110. Yıldız Dasgan H , Sebahattin Çürük, Sedat Mansuroglu, Sener Kurt,**

Meltem Mazmanoglu, Özgür Antaklı and Gülcan Tarla,.(2009).Grafted eggplant yield, quality and growth in infested soil with *Verticillium dahliae* and *Meloidogyne incognita*, Pesq. agropec. bras., Brasília, v.44, n.12, p.1673-1681, dez.

- 111. Zare, R., Gams, W., Starink Zare, R., Gams, W., Starink Starink-Willemse, M., and Summerbell, R.C. Willemse, M., and Summerbell, R.C. Willemse, M., and Summerbell, R.C. (2007).** Gibellulopsis, a suitable genus for *Verticillium nigrescens*, and *Musicillium*, a new genus for *V. theobromae*. Nova Hedwig. 85: 463–489.

ANNEXE :

ANNEXE 1 : MILIEU DE CULTURE

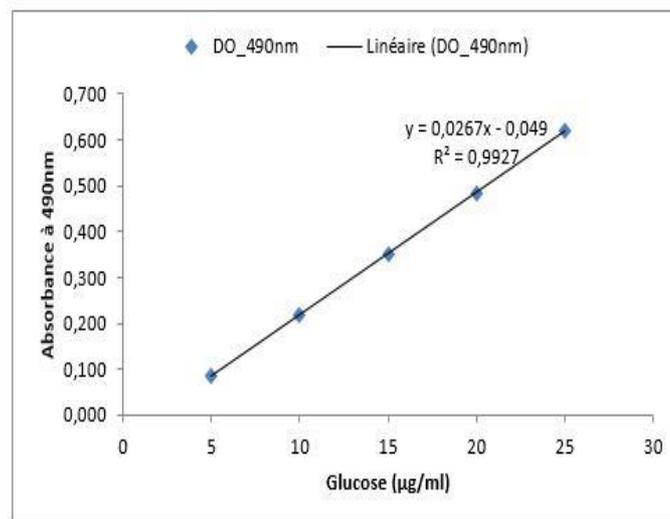
Préparation du milieu de culture PDA (Rapilly 1968) :

Pomme de terre	200 g
Glucose	20 g
Agar	20 g
Eau distillée q.s.p	1000 ml

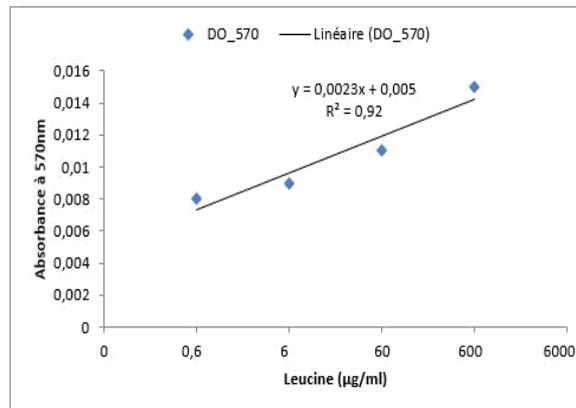
Peler, laver, couper en tranches minces les pommes de terre. Cuire 15 à 20 minutes dans 200 ml d'eau distillée, filtrer sur compresse et presser. Ajouter le glucose au filtrat, compléter le volume à 1000 ml, ajuster le pH à 6,5. Ajouter l'agar, le dissoudre. Autoclaver 20 min à 120°C.

ANNEXE 2 : COURBES D'ETALON DE REFERENCES (DEGAICHTIA, H 2015)

2- Courbe étalon du D-glucose



3- Courbe étalon de la L-leucine



Activ
Accéder

ANNEXE 3 : REGRESSION STADE1 :

Modèle	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
1 Régression	1046,51	1,00	1046,51	60,25	,016 ^c
Résidu	34,74	2,00	17,37		
Total	1081,250 ^d	3,00			

- Variable dépendante : Distance
- Régression linéaire à l'origine
- Valeurs prédites : temps_h
- Ce total des carrés n'est pas corrigé pour la constante car celle-ci vaut zéro pour la régression à l'origine.

Coefficients^{a,b}

Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés	t	Sig.	95,0% % intervalles de confiance pour B	
	A	Erreur standard	Bêta			Borne inférieure	Limite supérieure
1 temps_h	0,145	0,02	0,98	7,76	0,02	0,06	0,23

- Variable dépendante : Distance
- Régression linéaire à l'origine

ANNEXE 4 : REGRESSION STADE 2

Modèle	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
1 Régression	2577,620	1	2577,620	132,594	,007 ^c
Résidu	38,880	2	19,440		
Total	2616,500 ^d	3			

- a. Variable dépendante : Distance
- b. Régression linéaire à l'origine
- c. Valeurs prédites : temps_h
- d. Ce total des carrés n'est pas corrigé pour la constante car celle-ci vaut zéro pour la régression à l'origine.

Coefficients^{a,b}

Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés	t	Sig.	95,0% % intervalles de confiance pour B	
	A	Erreur standard	Bêta			Borne inférieure	Limite supérieure
1 temps_h	,299	,026	,993	11,515	,007	,187	,411

- a. Variable dépendante : Distance
- b. Régression linéaire à l'origine

ANNEXE 5 : REGRESSION TEMOIN

Modèle	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
1 Régression	1924,05	1,00	1924,05	210,27	,001 ^c
Résidu	27,45	3,00	9,15		
Total	1951,500 ^d	4,00			

- a. Variable dépendante : Distance
- b. Régression linéaire à l'origine
- c. Valeurs prédites : Temp
- d. Ce total des carrés n'est pas corrigé pour la constante car celle-ci vaut zéro pour la régression à l'origine.

Coefficients^{a,b}

Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés	t	Sig.
	A	Erreur standard	Bêta		
1 Temp	0,27	0,02	0,99	14,50	0,00

- a. Variable dépendante : Distance
- b. Régression linéaire à l'origine

ANNEXE 6 : TEST D'ECHANTILLON INDEPENDANT

		Test de Levene sur l'égalité des variances								
		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatérale)	Différence moyenne	Différence écart-type	Intervalle de confiance 95% de la différence	
									Inférieure	Supérieure
Vitesse (cm/min)	Hypothèse de variances égales	0,0335	0,8636	-3,0166	4,0000	0,0393	-0,0020	0,0007	-0,0038	-0,0002
	Hypothèse de variances inégales			-3,0166	3,9790	0,0396	-0,0020	0,0007	-0,0038	-0,0002
SST	Hypothèse de variances égales	3,6369	0,0930	-5,9691	8,0000	0,0003	-37,8876	6,3473	-52,5247	-23,2506
	Hypothèse de variances inégales			-5,9691	4,1579	0,0035	-37,8876	6,3473	-55,2499	-20,5254
AA	Hypothèse de variances égales	1,2957	0,3185	-3,9173	4,0000	0,0173	-	43,6559	-	-49,8062
	Hypothèse de variances inégales			-3,9173	2,6177	0,0377	-	43,6559	-	-19,8665

ANNEXE 7 : TEST DE CORRELATIONS POUR LE DOSAGE DE SUCRE ET ACIDE AMINEE :

		Vitesse (cm/min)	SST	AA
Vitesse (cm/min)	Corrélation de Pearson	1,0000	0,879*	0,913*
	Sig. (bilatérale)		0,0209	0,0110
	N	6,0000	6,0000	6,0000
SST	Corrélation de Pearson	,879*	1,0000	,949**
	Sig. (bilatérale)	0,0209		0,0038
	N	6,0000	10,0000	6,0000
AA	Corrélation de Pearson	,913*	,949**	1,0000
	Sig. (bilatérale)	0,0110	0,0038	
	N	6,0000	6,0000	6,0000

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

**. La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

ANNEXE 8 : VITESSE

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter- groupes	0,0000	2,0000	0,0000	5,2980	0,0473
Intra- groupes	0,0000	6,0000	0,0000		
Total	0,0000	8,0000			

ANNEXE 9 : COMPARAISONS MULTIPLES

Variable dépendante : Vitesse

Test de Tukey

(I) Stade		Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
0	1	0,0014	0,0006	0,1355	-0,0005	0,0034
	2	-0,0006	0,0006	0,6743	-0,0025	0,0014
	0	-0,0014	0,0006	0,1355	-0,0034	0,0005
1	2	-	0,0006	0,0451	-0,0040	-0,0001
		,00200231481*				
2	0	0,0006	0,0006	0,6743	-0,0014	0,0025
	1	,00200231481*	0,0006	0,0451	0,0001	0,0040

ANNEXE 10 : TEST DE TUKEY

Stade	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
1	3,0000	0,0027	
0	3,0000	0,0042	0,0042
2	3,0000		0,0047
Signification		0,1355	0,6743

ANNEXE 11

Stade	Distance (cm)	temps (h)
1	5	24
1	16,5	144
1	28	168
1	29,568	192
1	33,264	216
1	36,96	240
2	16,5	72
2	28	96
2	39,5	120
2	43,056	144
2	50,232	168
2	57,408	192
2	64,584	216
2	71,76	240
0	5	24
0	16,5	48
0	28	96
0	29,5	120
0	38,88	144
0	45,36	168
0	51,84	192
0	58,32	216
0	64,8	240