

UNIVERSITE BLIDA 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologies

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Phytopathologie

**ESSAI D'EFFICACITE D'UN BIOFERTILISANT DANS
LA LUTTE CONTRE LA DISSEMINATION DU VIRUS
Y DE LA POMME DE TERRE**

Par

Nassira BOUKAYA

Devant le jury composé de :

S-A. Snoussi	Professeur, U. Blida 1	Président
L. Khelifi	Professeur, ENSA, El-Harrach, Alger	Examineur
Z. Krimi	Professeure, U. Blida 1	Examinatrice
H. Belkahla	Professeure, U. Blida 1	Promotrice
Z-E. Djazouli	Professeur, U. Blida 1	Co-promoteur

Blida, Octobre 2016

RÉSUMÉ

Essai d'efficacité d'un biofertilisant dans la lutte contre la dissémination du virus Y de la pomme de terre

L'importance agronomique et économique de la culture de pomme de terre nous a dirigé à mener ce travail dont l'objectif principal est de tester l'efficacité de jus de vermicompost pour la lutte contre les pucerons-vecteurs du virus Y de la pomme de terre cultivée en arrière-saison dans la région d'El-Bayadh. Pour cela, un essai a été mené en blocs aléatoire complets, dont nous avons appliqué un traitement à (2) niveaux [$D_1= 1/10$ (V/V) ; $D_2= 1/5$ (V/V); et un témoin (D_0)]. Au cours de l'expérimentation, (6) traitements ont été effectués dont les paramètres étudiés sont le dénombrement et l'identification des pucerons capturés à l'aide des pièges jaunes, l'estimation du rendement en tubercules et l'analyse immuno-enzymatique par la DAS-ELISA. Les résultats obtenus ont montré un effet répressif, du jus appliqué, sur le nombre d'individus piégés, dont il diminue en fonction de la durée de l'application du traitement. Le jus de vermicompost a pu également améliorer le rendement des plants où le meilleur résultat (236,17 qx/ha) a été donné par les plants traités avec la dose maximale (D_2). Concernant le test immuno-enzymatique, la DAS- ELISA a révélé que les plants non traités sont les plus infectés par le PVY (100 %), par rapport à ceux traités avec la D_1 et la D_2 qui ont montré un taux d'infection nul (0 %). Une forte corrélation entre la dose de traitement et le rendement en tubercules, et entre le taux d'infection par le PVY a été enregistrée.

Mots clé : Pomme de terre, Jus de vermicompost, Pucerons-vecteurs, PVY, DAS-ELISA.

ABSTRACT

Effectiveness of a biofertilisant in the fight against *PVY* dissemination

The agronomic and economic importance of the potato culture directed us to undertake this work whose principal objective is to test the effectiveness of juice of the vermicompost in the fight against the plant aphid-vectors of the virus *Y* of potato cultivated in off-season in the area of El-Bayadh. For that, a test was carried out in complete blocks random, of which we have applied a treatment to (2) levels [D_1 = half-amount; D_2 = amount; and under pilot block (D_0)]. During the experimentation, (6) taking away were carried out whose studied parameters are the enumeration and the identification of the plant aphids captured using the yellow traps, the estimate of the output in tubers and the analysis immuno-enzymatic by Das-ELISA. The results obtained showed a repressive effect, of juice applied, to the number of trapped individuals, of which it decreases according to the period of validity of the treatment. The juice of the vermicompost also could improve the output of the seedlings where the best result (236,17 qx/ha) is given by the seedlings treated with the maximum amount (D_2). Concerning the test immuno-enzymatic, Das- ELISA revealed that the untreated seedlings are the most infected by the *PVY* (100 %), compared with those treated with D_1 and D_2 which showed a null rate of infection (0 %). A strong correlation enters the amount of treatment and the output in tubers, and between the rate of infection by *the PVY* was recorded.

Key words: Potato, Juice of the vermicompost, Aphid-vector, *PVY*, DAS- ELISA.

مُنْخَص

إختبار فعالية الأسمدة في مكافحة انتشار فيروس البطاطا PVY

الأهمية الزراعية والاقتصادية لمحصول البطاطا دفعتنا إلى القيام بهذا العمل، الذي يهدف إلى اختبار كفاءة عصير vermicompost في مكافحة حشرات المن الناقلة لفيروس PVY الذي يُصيب البطاطا المزروعة في أواخر الصيف في منطقة البيض. لذا، تم إجراء الاختبار في كتل عشوائية كاملة، طبقنا العلاج على مُستويين [1/10 D1 = (V/V)، D2=1/10 (V/V) والشاهد D0]. خلال التجربة، تم تطبيق العلاج (6) مرّات حيث كانت أهم العوامل المدروسة: تعداد وتحديد أنواع المن الموجودة، تقدير المردودية، وإجراء اختبار DAS-ELISA. أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها وجود تأثير فمعي لعصير vermicompost على عدد أفراد حشرات المن، الذي يتناقص مع مدة تطبيق العلاج. حسب النتائج يمكن للعصير أيضاً تحسين المردودية حيث تم الحصول على أفضل نتيجة (236.17 ق/هـ) من قبل النباتات المعالجة بأعلى جرعة. كشف اختبار DAS-ELISA أن النباتات غير المعالجة هي الأكثر إصابة بفيروس PVY (100 %)، مقارنة مع النباتات المعالجة ب D₁ و D₂ حيث كان معدل الإصابة مُعدماً (0 %). تم تسجيل وجود ارتباط قوي بين جرعة العلاج والمردودية، وبين معدل الإصابة بفيروس PVY أيضاً.

الكلمات المفتاحية: البطاطا، عصير Vermicompost، حشرات المن-الناقلة، PVY، DAS-ELISA.

REMERCIEMENTS

Je voudrai tout d'abord remercier les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail et pour leur temps consacré afin de valoriser le mémoire. Merci à : **Pr. Snoussi Sid-Ahmed**, à **Pr. Khelifi Lakhdar**, et à **Pr. Krimi Zoulikha**.

J'exprime mes vifs remerciements aux encadrants de ce mémoire, **M^{me}. Belkahla Hadjira**, Professeure à l'université Blida 1 et **Mr. Djazouli Zahr-Eddine**, Professeur à l'université Blida 1, d'avoir accepté de diriger ce mémoire et pour leurs encouragements lors de la réalisation du travail.

Merci tout particulièrement à **Mr. Beldjilali Ali**, propriétaire de la parcelle, qui m'a donné l'opportunité d'effectuer ce travail, à **Mr. Benhassine Mohamed-Lamine**, Chargé de cours à l'université Ammar-Telidji de Laghouat, et à **Mr. Zouaoui Ahmed**, Maitre de conférences à l'université Blida 1 pour leurs aides et encouragements.

Merci aussi à **M^{me}. Lamouri Fadhila**, à **M^{me}. Guesmi Fadhila**, et à mes collègue **Benzahra Mohammed**, **Idir Idris** et **Bentaher Mohammed** pour leur aide.

J'adresse également mes vifs remerciements et mes profonds respects à tous mes enseignants à l'université Ammar-Telidji de Laghouat, pour leurs encouragements et leurs accompagnements sans faille tout le long de mon cursus.

Merci aussi à tous les enseignants qui ont assuré notre formation, au personnel des laboratoires de zoologie et de virologie à l'université Blida 1.

Je suis très reconnaissante envers mes parents, mes sœurs et frères pour m'avoir soutenu et pour avoir cru en moi.

Toute ma reconnaissance à mes amis (es) en particulier **Hechachena Hind** ainsi que sa famille, **Ben Ali Fatma-Zahra**, **Haddane Razika** et **Mekhaldi Delel**, pour m'avoir couvert de leur amitié, qui en plus d'être des amies je l'ai toujours considéré comme mes sœurs.

Je tiens à exprimer ma vive reconnaissance à toutes les personnes qui ont participé, de près ou de loin, à l'achèvement de ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ

ABSTRACT

مُلَخَّص

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ILLUSTRATIONS GRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION	11
1. CHAPITRE 1 : DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES	13
1.1. Généralités sur la plante-hôte (Pomme de terre : <i>Solanum tuberosum</i> L.)	13
1.1.1. Origine	13
1.1.2. Taxonomie	13
1.1.3. Aire de production	13
1.1.4. Importance économique	14
1.1.4.1. Dans le monde	14
1.1.4.2. En Algérie	14
1.1.5. Exigences pédoclimatiques	15
1.1.5.1. Climats	15
1.1.5.2. Sols	15
1.1.6. Stades de développement physiologique	15
1.1.7. Maladies et ravageurs	16
1.1.7.1. Maladies cryptogamiques	16
1.1.7.1.1. Mildiou	16
1.1.7.1.2. Rhizoctone noire	17
1.1.7.1.3. Alternariose	17
1.1.7.1.4. Fusariose	17
1.1.7.2. Maladies bactériennes	17
1.1.7.2.1. Pourritures molles	17
1.1.7.2.2. Gale commune	18

1.1.7.2.3. Flétrissement bactérien	18
1.1.7.2.4. Flétrissement bactérien ou pourriture annulaire des tubercules	18
1.1.7.3. Maladies virales	18
1.1.7.4. Ravageurs	19
1.1.7.4.1. Dégâts directs	20
1.1.7.4.2. Dégâts indirects	20
1.1.7.5. Nématodes	20
1.2. Données sur l'agent pathogène <i>PVY (Potato Virus Y)</i>	20
1.2.1. Taxonomie	20
1.2.2. Génome	21
1.2.3. Symptomatologie	21
1.2.3.1. Mosaïque	22
1.2.3.2. Frisolée	22
1.2.3.3. Bigarrure	22
1.2.4. Voies de transmission	23
1.3. Pucerons vecteurs	23
1.3.1. <i>Myzus persicae</i> (Sulzer)	23
1.3.2. <i>Aphis nasturtii</i> (Kaltenbach)	24
1.3.3. <i>Aphis gossypii</i> (Golver)	24
1.3.4. <i>Macrosiphum euphorbiae</i> (Thomas)	24
1.3.5. <i>Aulacorthum solani</i> (Kaltenbach)	25
1.3.6. Mécanisme de transmission	26
1.4. Lutte contre les pucerons-vecteurs de virus	27
1.4.1. Méthodes de lutte préventive	27
1.4.2. Méthodes de lutte physique	27
1.4.3. Méthodes de lutte culturale	27
1.4.4. Méthodes de lutte chimique	28
1.4.5. Méthodes de lutte biologique	28
1.4.5. Méthodes de lutte intégrée	29
1.4.6. Nouvelles approches de lutte contre les pucerons-vecteurs de virus	29
1.4.7. Jus de vermicompost	30

1.4.7.1. Méthodes d'obtention du jus	31
1.4.7.2. Effet du jus de vermicompost sur la santé des plantes	31
1.4.7.3. Facteurs influençant l'efficacité du jus de vermicompost	32
2. CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES	33
2.1. Matériel d'études	33
2.1.1. Présentation de la région d'étude	33
2.1.1.1. Situation géographique de la région d'El-Bayadh	33
2.1.1.2. Climatologie	34
2.1.1.2.1. Pluviométrie	34
2.1.1.2.2. Température	34
2.1.1.2.3. Vent	35
2.1.1.2.4. Classification du climat	35
2.1.1.3. Nature des sols	35
2.1.1.4. Présentation du site d'étude	35
2.1.2. Matériel végétal	36
2.1.3. Biofertilisant	36
2.2. Méthodes d'étude	37
2.2.1. Dispositif expérimental	37
2.2.2. Plantation de la pomme de terre	37
2.2.3. Dilution du biofertilisant	38
2.2.4. Méthode d'application des traitements	39
2.2.5. Méthode de piégeage	39
2.2.6. Méthode d'identification des pucerons-vecteurs	40
2.2.7. Test de pré-culture	40
2.2.8. Méthode d'identification par le test DAS-ELISA	40
2.2.9. Méthode d'échantillonnage	41
2.2.10. Étapes de la DAS-ELISA	41
2.3. Analyses statistiques	43
3. CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSION	44
3.1. Diagnostic symptomatologique	44
3.1.1. Symptômes sur le feuillage	44
3.1.2. Symptômes sur les tubercules	45

3.1.3. Discussion	45
3.2. Identification des pucerons capturés	46
3.2.1. Résultats	46
3.2.2. Discussion	46
3.3. Densité des espèces de pucerons capturés	48
3.3.1. Résultats	48
3.3.2. Discussion	48
3.4. Estimation du rendement en tubercules	52
3.4.1. Résultats	52
3.4.2. Discussion	53
3.5. Analyse immuno-enzymatique (DAS-ELISA)	55
3.5.1. Résultats de la lecture de la densité optique	55
3.5.2. Résultats de l'estimation du taux d'infection des tubercules par le <i>PVY</i>	55
3.5.3. Discussion	57
3.6. Discussion générale	59
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	61
APPENDICES	63
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	74

LISTE DES ILLUSTRATIONS GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1	Production mondiale de pommes de terre (2000-2014)	14
Figure 1.2	Cycle végétatif de la pomme de terre	16
Figure 1.3	Schéma de la particule virale (<i>PVY</i>)	21
Figure 1.4	Symptômes du <i>PVY</i> sur feuilles de pomme de terre	22
Figure 1.5	Nécroses annulaires superficielles sur tubercules (<i>PVY</i>)	23
Figure 1.6	Principaux pucerons vecteurs du <i>PVY</i>	25
Figure 1.7	Transmission des virus non-persistant	26
Figure 2.1	Localisation de la région d'étude	33
Figure 2.2	Localisation du site d'étude	36
Figure 2.3	Dispositif expérimental en Blocs Aléatoires Complets	37
Figure 2.4	Schéma d'un sous-bloc	38
Figure 2.5	Dilution du biofertilisant	39
Figure 2.6	Dispositif expérimental après 3 mois de l'installation de l'essai	38
Figure 3.1	Différents symptômes observés sur les feuilles de pomme de terre (observé à l'œil nu)	44
Figure 3.2	Différents symptômes observés sur les tubercules de pomme de terre (observé à l'œil nu)	45
Figure 3.3	Pucerons capturés au niveau de la parcelle (observé sous loupe binoculaire : Gx4)	46
Figure 3.4	Effectif des espèces capturées durant la période d'étude	48
Figure 3.5	Rendement obtenu en fonction de la dose de traitement appliqué	52
Figure 3.6	Relation entre le Rendement (qx/ha) en tubercules et la dose de traitement	53
Figure 3.7	Taux d'infection des tubercules en fonction de la dose du biofertilisant.	56
Figure 3.8	Relation entre le taux d'infection (%) des tubercules et la dose de traitement.	56

Tableau 1.1	Principales régions productrices de pomme de terre en Algérie	14
Tableau 1.2	Distribution des virus de la pomme de terre	19
Tableau 3.1	Localisation des plants infectés dans la parcelle	55

INTRODUCTION

En Algérie, l'extension des terres agricoles a connu une augmentation de la production. Toutefois, les rendements restent relativement faibles par rapport aux potentialités des milieux, et par conséquent n'arrivent pas encore à répondre à la demande du consommateur.

Il y a lieu par conséquent de mettre en œuvre des techniques d'intensification de la production pour améliorer les rendements agricoles. L'irrigation et la fertilisation sont essentielles, avec lesquelles, la protection phytosanitaire est devenue une condition indispensable.

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) est la deuxième culture principale dans le monde après les céréales, elle présente une bonne source de protéines et des hydrates de carbone. C'est un aliment principal dans quelques pays, elle peut être également employée comme plante industrielle pour produire le dextrose.

La réduction du rendement de la pomme de terre est attribuée à la susceptibilité de cette culture à un grand nombre d'agents phytopathogènes (champignons et bactéries) dont les virus [1 ; 2]. Ainsi, elle est infectée naturellement par au moins 37 virus. Parmi ces derniers, le *PVY* (*Potato Virus Y*) et le *PLRV* (*Potato Leaf Roll Virus*) sont les plus dommageables causant des pertes énormes de rendement pouvant atteindre 80% dans une culture pomme de terre et de 39 à 75% chez le tabac [1 ; 3]. Les pucerons sont de redoutables vecteurs de virus de plantes, provoquant des maladies, et d'importants ravageurs directs de cultures, provoquant le rabougrissement des plantes et des déformations [4 ; 5].

Depuis plusieurs années, les chercheurs ont adopté diverses méthodes pour limiter les dégâts causés par ces bioagresseurs telles que la lutte culturale, physique, biologique, intégrée et chimique qui s'avère être la plus utilisée où nous assistons à une explosion de l'utilisation des pesticides, qui ont fortement contribué à l'amélioration des rendements agricoles et permis un énorme progrès dans la maîtrise des ressources alimentaires.

Ces substances chimiques ont rapidement extériorisé des effets négatifs sur les écosystèmes et sur la santé, auxquels s'ajoute le développement des mécanismes de résistances chez certains ravageurs. Par ailleurs, le développement d'une agriculture durable nécessite le recours vers la protection efficace en utilisant de nouveaux moyens qui visent à protéger sans nuire à la santé et à l'environnement.

En Algérie, peu d'études ont été réalisées sur le *PVY*, un inventaire des maladies à virus des solanacées maraichères est réalisé par Chaïch en 1987 [6] dans les régions d'Alger, Tipaza et de Boumerdes ; une autre étude réalisée dans la SAGRODEV à Sétif par Lamouri en 2014 [7].

De nombreuses études ont été menées par plusieurs auteurs [8 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12 ; 13 ; 14 ; 15 ; 16], pour combattre les pucerons-vecteurs de virus, en adoptant différents moyens de lutte. Ainsi, d'autres travaux se sont intéressés par des méthodes de lutte biologiques. Parmi ces dernières les molécules bioactives (biofertilisants et biopesticides) occupent une place de choix [17 ; 18 ; 19 ; 20 ; 21 ; 22 ; 23].

Dans un autre cadre, les études ont également montré que le traitement des végétaux avec du jus de vermicompost a été associé au développement de certaines réponses défensives dans les tissus des plantes hôtes [24 ; 25 ; 26 ; 27 ; 28 ; 29 ; 30 ; 31 ; 32 ; 33 ; 34].

C'est dans ce contexte que s'intègre notre étude, dont le premier objectif consiste à vérifier l'effet répressif du jus de vermicompost sur la densité des pucerons-vecteurs du *PVY*. Un second objectif vise à vérifier le taux d'infection des plants par le *PVY*, à travers la réalisation de l'analyse immuno-enzymatique.

La présentation de ce mémoire est organisée en (3) parties ; la 1^{ière} est une synthèse bibliographique traitant la description de la culture de pomme de terre, ses maladies et ravageurs ainsi que les différents moyens de lutte dont l'utilisation de jus du vermicompost ; la 2^{ème} se consacre à la représentation de la région d'étude, et à la méthodologie adoptée ; et la 3^{ème} partie traitant les résultats obtenus, le travail est achevé par une conclusion générale avec quelques perspectives.

CHAPITRE 1

DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES

1.1. Généralités sur la plante-hôte (Pomme de terre : *Solanum tuberosum* L.)

1.1.1. Origine

La pomme de terre est une plante vivace herbacée cultivée depuis 8 000 ans, originaire des Andes (Pérou), fut introduite en Europe via l'Espagne au milieu du XVI^{ème} siècle. Elle est arrivée tardivement en Afrique, environ au tournant du XX^{ème} siècle [35]. En Algérie, la pomme de terre a probablement été introduite une première fois au XVI^{ème} siècle par les Maures andalous qui ont propagé les autres cultures dans la région [36].

1.1.2. Taxonomie

Le nom botanique de la pomme de terre est *Solanum tuberosum*. Il a été donné par Bauhin (1560-1624), naturaliste suisse en 1595 [37]. L'immense famille des *Solanacées* compte plusieurs espèces : la tomate, le tabac, le piment, l'aubergine, le pétunia, et naturellement la pomme de terre [38]. Le genre *Solanum* L. regroupe environ 1 000 espèces, dont plus de 200 sont tubéreuses [35]. Les espèces tubéreuses sont des espèces herbacées qui produisent des tubercules; du latin *tuberosus* "garni de protubérances" [35].

1.1.3. Aire de production

D'après Nyabyenda (2005), la pomme de terre est la plante la plus importante des régions tempérées, sa production est surtout concentrée en Europe (Russie, Pologne, Ukraine, Allemagne, Biélorussie, etc.), mais elle est produite également à grande échelle en Amérique du Nord (États-Unis) et en Asie (Chine, Inde) [39].

Néanmoins, la production de la pomme de terre est non négligeable en Amérique du sud, et également en Afrique où sa production est surtout concentrée dans quelques pays à climat tempéré d'Afrique du Nord et d'Afrique du Sud et dans les régions des terres d'altitude d'Afrique centrale et orientale [39].

En Algérie, la production est répartie selon 4 zones géographiques : littoral, sublittoral, atlas tellien et hautes plaines [40].

1.1.4. Importance économique

1.1.4.1. Dans le monde

D'après Oswald, (2010), la production annuelle mondiale de pomme de terre avait atteint plus de 325 millions de tonnes et se répartit sur environ 17 millions d'hectares [37]. La Chine est actuellement le plus grand producteur au monde avec plus de 75 356 945 tonnes [41] (Figure 1.1).



Figure 1.1 : Production mondiale de pomme de terre (2000-2014) [41].

1.1.4.2. En Algérie

Selon Amrar (2013), en Algérie la pomme de terre est cultivée selon 3 types de culture qui sont : la saison, l'arrière-saison et la primeur [42]. Cette culture occupe une position dominante dans le système maraîcher par les surfaces qui lui sont consacrées, ses volumes de production (Tableau 1.1), et les emplois qu'elle génère [43].

La production moyenne de pomme de terre en Algérie entre 2000 et 2014 avait atteint 33 millions de tonnes (Figure 1.1) [41].

Tableau 1.1. Principales régions productrices de pomme de terre en Algérie [44].

Régions productrices	Superficie (ha)	% Total	Production (qx)	% Total	Rendement (qx/ha)
EL-Oued	30 200	21,77	11 176 000	26,48	370,1
Ain-Defla	18 385	13,25	5 601 681	13,27	304,7
Mascara	11 400	8,22	3 552 000	8,41	311,6
Total Algérie	138 666	100	42 194 758	100	304,3

1.1.5. Exigences pédoclimatiques

1.1.5.1. Climat

La pomme de terre est sensible au gel (le feuillage est détruit à -21°C), est rustique des zones tempérées et préfère les températures modérées [38]. Les températures basses ralentissent la croissance directement en favorisant la tubérisation, tandis que les températures élevées (29°C) perturbent la tubérisation et provoquent la repousse. Son zéro de végétation se situe entre $+5$ et $+7^{\circ}\text{C}$ et sa température optimale de tubérisation aux environs de $+18^{\circ}\text{C}$ [35].

Les besoins en eau de la pomme de terre, faibles en début de végétation, sont très importants au moment de la croissance foliaire et de la tubérisation [38]. Un stress hydrique à ce stade peut entraîner une réduction du nombre d'ébauches par plante, consécutive à une réduction du nombre de stolons par tige [35].

Enfin, l'action de la durée du jour, combinée à celle de la température, favorise la croissance végétative de la pomme de terre, l'effet du jour long peut être atténué par les basses températures [45].

1.1.5.2. Sols

La pomme de terre peut donner de bons rendements dans les terres silico-argileuses humifères, meubles, aérées et fraîches, au ($5 \leq \text{pH} \leq 6,5$). Cette culture tolère des sols très variés, mais la présence de calcaire actif est responsable du développement des gales et d'une qualité gustative inférieure [45 ; 38].

1.1.6. Stades de développement physiologique

Selon Soltner (1999), le cycle végétatif de la pomme de terre se déroule en (3) étapes (Figure 1.2) [38] : i) le tubercule germé est planté en terre, ses germes se transforment en tiges feuillées qui donnent, au-dessus du sol, des rameaux, et, au-dessous des stolons ; c'est la phase de croissance.

ii) la phase de tubérisation commence par l'arrêt de l'élongation des stolons. Le grossissement des ébauches de tubercules différenciés s'effectue en emmagasinant des substances de réserve synthétisées au niveau du feuillage.

Le grossissement ralentit puis s'arrête au cours de la sénescence du feuillage qui se traduit par un jaunissement suivi d'un dessèchement total du système aérien ; c'est la maturation des tubercules.

iii) après la récolte, les tubercules se trouvent dans un état de repos végétatif. Durant ce stade, quelques soient les conditions optimales (température, éclairage, humidité), leurs bourgeons sont incapables de croître pour produire des germes.

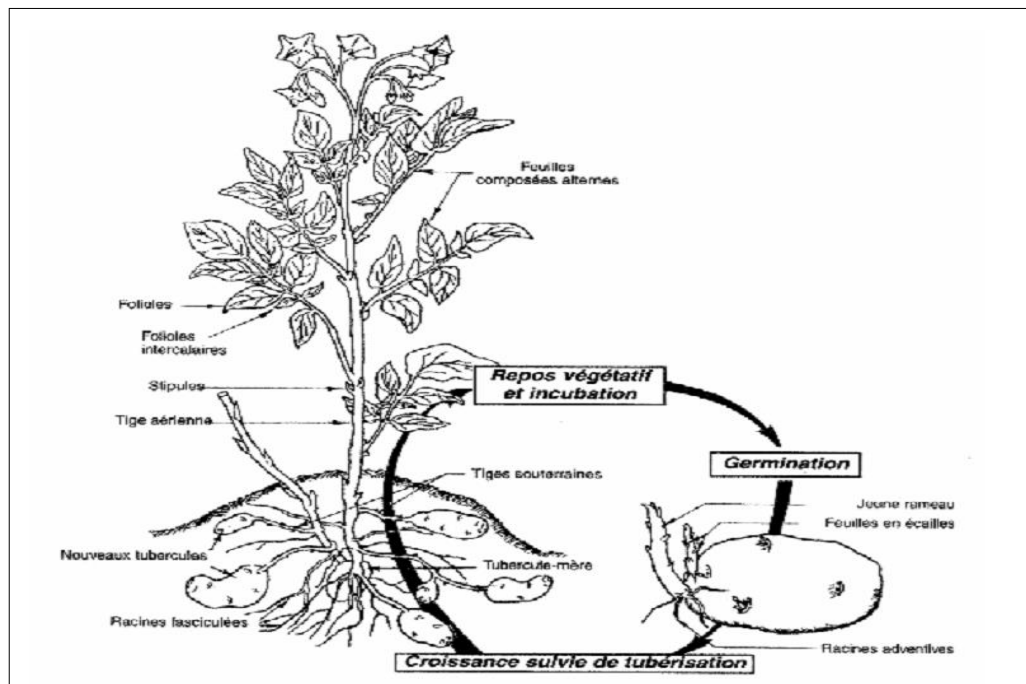


Figure 1.2 : Cycle végétatif de la pomme de terre [38].

1.1.7. Maladies et ravageurs

La pomme de terre est sujette à l'attaque de plusieurs ravageurs, elle représente également l'une des cultures les plus affectées par les maladies, en raison de son mode de multiplication végétative qui favorise le maintien et la propagation d'agents pathogènes [46].

1.1.7.1. Maladies cryptogamiques

1.1.7.1.1. Mildiou

Le mildiou, causé par *Phytophthora infestans*, est une maladie très redoutable de la pomme de terre et de la tomate non seulement dans les régions tempérées mais pratiquement dans toutes les zones de production de ces cultures [47]. Le mildiou peut toucher tous les organes de la plante. Ainsi, les lésions qui se

développent sur les feuilles et se propagent, produisent des spores et défolient le plant lorsque les conditions sont favorables. Les infections des tiges débutent à la jonction de la tige et des pétioles, puis le plant se fane et meurt. L'infection des tubercules provoque l'apparition de lésions de forme irrégulière qui pénètrent jusqu'à 2 cm dans le tubercule [45 ; 48].

1.1.7.1.2. Rhizoctone noire

Cette maladie est provoquée par *Rhizoctonia solani* qui possède de nombreuses plantes-hôtes et survit dans les résidus de récolte, ses sclérotés noirs de forme irrégulière formés sur les tubercules sont facilement disséminés [49]. Cette maladie provoque l'apparition de plusieurs petits tubercules aériens de couleur violacée, des nécroses des racines et la pourriture du collet [45].

1.1.7.1.3. Alternariose

L'Alternariose causée par *Alternaria solani*, provoque sur le feuillage des taches rondes à anguleuses s'accroissant par cercles concentriques ; et des taches brunes légèrement déprimées à la surface des tubercules [45].

1.1.7.1.4. Fusariose

Le champignon *Fusarium oxysporum Fsp solani* provoque l'apparition de taches brunes légèrement déprimées, bientôt entourées de ride concentrique. Le tubercule se ratatine et devient dur : Pourriture sèche [35].

1.1.7.2. Maladies bactériennes

1.1.7.2.1. Pourritures molles

Les pourritures molles provoquées par les bactéries du groupe des *Pectobacterium sp.* (*P. atrosepticum*, *P. carotovorum subsp. Carotovorum*), et *Dickeya sp.* Ces 2 genres sont responsables de la pourriture molle des tubercules en post-récolte et de la jambe noire au champ [49].

La jambe noire est provoquée lorsque la tige du plant est attaquée en cours de végétation. Cette maladie est très répandue, et est particulièrement nuisibles dans les régions humides. Elle engendre un enroulement typique du sommet, puis un jaunissement généralisé. Une lésion noire se développe à la base du collet

jusqu'au tubercule mère, le tissu devient mou de couleur brunâtre, puis une pourriture totale du tubercule est observée [50].

Les symptômes observés sur les tubercules en conservation se caractérisent par des pourritures molles, d'une couleur claire, brunissent au niveau des tissus du tubercule, la production de poches gazeuses, sont à l'origine d'une odeur nauséabonde très prononcée [51].

1.1.7.2.2. Gale commune

Les agents pathogènes responsables de la gale commune sont des bactéries appartenant au genre des *Streptomyces* [52], mais *S. scabies* (Thaxter) est la plus virulente sur la pomme de terre [53]. C'est l'une des maladies du tubercule les plus répandues dans toutes les régions du monde [49]. Les pustules sont observées à la surface et parfois en profondeur du tubercule [45].

1.1.7.2.3. Flétrissement bactérien

Le flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum* compte parmi les maladies destructives et pèse lourdement sur l'agriculture et l'économie de nombreux pays [54 ; 55]. Le premier stade de l'infection se traduit par un flétrissement des feuilles du haut de la plante à température élevée pendant la journée et un retour à l'aspect normal pendant la nuit, il devient rapidement irréversible et se traduit par la mort de la plante [56].

1.1.7.2.4. Flétrissement bactérien ou pourriture annulaire des tubercules

Cette maladie est causée par *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, elle se manifeste principalement par le pourrissement de l'anneau vasculaire au niveau du tubercule, et par le flétrissement de la plante entière [57].

1.1.7.3. Maladies virales

Environ 40 virus peuvent infecter naturellement la pomme de terre cultivée. Il s'agit du *PLRV* (*Potato Leaf Roll Virus*) appartenant aux *Luteovirus*, les *Potyvirus* sont représentés par le *PVY* (*Potato virus Y*), les *Carlavirus* sont représentés par le virus *M* et le virus *S* de la pomme de terre (*Potato Virus M* et *Potato Virus S*), et

le PVX (*Potato Virus X*) appartenant aux *Potexvirus* (Tableau 1.2) [58 ; 59 ; 60 ; 61].

Tableau 1.2. Distribution des virus de la pomme de terre [60].

Virus	Acronyme	Genre	Distribution géographique
<i>Potato virus A</i>	PVA	<i>Potyvirus</i>	Mondiale
<i>PotatovirusV</i>	PVV	<i>Potyvirus</i>	Europe et Amérique
<i>Potato virus Y</i>	PVY	<i>Potyvirus</i>	Mondiale
<i>Henbanemosaic virus</i>	HeMV	<i>Potyvirus</i>	Europe
<i>Potato virus X</i>	PVX	<i>Potexvirus</i>	Mondiale
<i>Potatoleaf roll virus</i>	PLRV	<i>Luteovirus</i>	Mondiale
<i>Potato virus M</i>	PVM	<i>Carlavirus</i>	Mondiale
<i>Potato virus S</i>	PVS	<i>Carlavirus</i>	Mondiale
<i>Potato virus T</i>	PVT	<i>Capillovirus</i>	Amérique du sud
<i>Andeanpotatomottle virus</i>	APMV	<i>Comovirus</i>	Pérou, Bolivie
<i>Cucurbitmosaicvirus</i>	CMV	<i>Cucumovirus</i>	Angleterre, Scotland
<i>Potatomop-topvirus</i>	PMTV	<i>Furovirus</i>	Amérique du nord, Nord et Europe centrale
<i>Alfalfamosaicvirus</i>	AMV	<i>Alfalfamosaicvirus</i>	Mondiale
<i>Tomato black ring virus</i>	TBRV	<i>Nepovirus</i>	Nord et centre de l'Europe
<i>Potato black ring spot virus</i>	PBRSV	<i>Nepovirus</i>	Andes
<i>Tobacco rattle virus</i>	TRV	<i>Tobravirus</i>	Europe, Amérique, Asie
<i>Beetcurly top virus</i>	BCTV	<i>Geminivirus</i>	Ouest des Etats-Unis
<i>Solanum apical leaf curl virus</i>	SALCV	<i>Geminivirus</i>	Andes, Inde
<i>Potatoyellowdwarf virus</i>	PYDV	<i>Rhabdovirus</i>	Canada, E-A
<i>Tobacco mosaic virus</i>	TMV	<i>Tobamovirus</i>	Mondiale
<i>Tobacco necrosis virus</i>	TNV	<i>Necrovirus</i>	Pays-Bas, Italie
<i>Tomatospottedwilt virus</i>	TSWV	<i>Necrovirus</i>	Mondiale
<i>Tobacco streak virus</i>	TSV	<i>Ilarvirus</i>	Europe
<i>Andeanpotato latent virus</i>	APLV	<i>Tymovirus</i>	Andes
<i>Arracacha virus B</i>	AVB	–	Pérou
<i>Eggplant mottled dwarf virus</i>	EMDV	<i>Rhabdovirus</i>	–
<i>Potato aucuba mosaic virus</i>	PAMV	–	Mondiale
<i>Potatoyellowvein virus</i>	PYVV	– ^a	Andes
<i>Potatodeformingmosaic virus</i>	PDMV	– ^a	Andes

^a L'étiologie du virus est non certaine.

1.1.7.4. Ravageurs

Les ravageurs de la pomme de terre sont nombreux et appartiennent majoritairement à la classe des insectes (la Teigne (*Phthorimaea perculella*) ; les Noctuelles (*Spodoptera littoralis*, *S. exigna*) et les pucerons (*Homoptera* : *Aphididae*), etc.). Concernant ces derniers, ils sont parmi les insectes ravageurs les plus dommageables pour les cultures [62].

D'après Alyokhin *et al.* (2002), cette nuisibilité est due non seulement aux effets directs des populations à densité élevée, mais aussi indirectement comme étant des vecteurs importants de virus affectant les plantes cultivées [63].

1.1.7.4.1. Dégâts directs

Les dégâts directs correspondent au prélèvement et à l'absorption de la sève. Les piqûres alimentaires sont également irritatives et toxiques pour la plante, induisant l'apparition de galles qui se traduisent par la déformation des feuilles ou des fruits et donc une perte de rendement [64].

1.1.7.4.2. Dégâts indirects

D'après Matthews (1991), au moins 250 espèces d'aphides appartenant à 13 genres sont vectrices de plus de 300 phytovirus [65].

Selon Rousselle *et al.*, (1996), 5 espèces de pucerons sont capables de se reproduire sur la pomme de terre et transmettre de nombreux virus [35].

1.1.7.5. Nématodes

Les principaux symptômes d'une nématodose sont : un arrêt de croissance, le développement de petits tubercules et une mortalité massive. Les systèmes racinaires peuvent devenir plus vulnérables à d'autres maladies. Des réductions de rendement pouvant atteindre 40 % sont possibles [66].

1.2. Données sur l'agent pathogène PVY (*Potato Virus Y*)

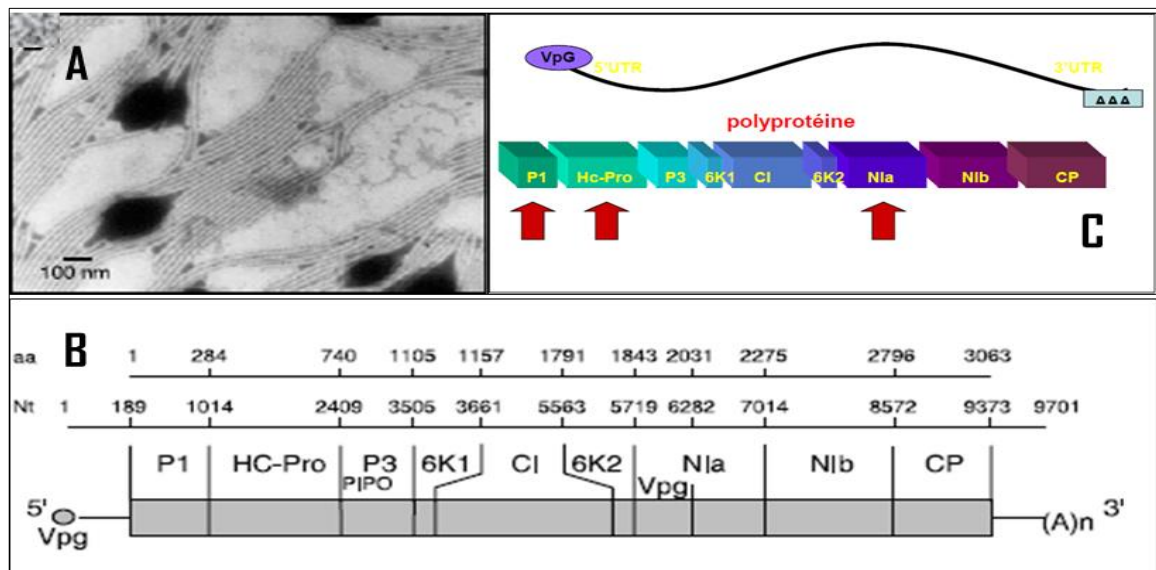
Le virus Y de la pomme de terre est considéré comme l'un des principaux problèmes dans la production de pomme de terre de semence à travers le monde, car les dégâts causés ont un impact économique important [58 ; 60]. Ce virus a été décrit pour la première fois par Smith (1931) et est classé en 5^{ème} position parmi les 10 principaux phytovirus ayant une importance économique [67].

1.2.1. Taxonomie

Le virus Y de la pomme de terre, appartient au genre *Potyvirus*, de la famille des *Potyviridae* composée de 30 % de tous les genres de phytovirus et de la superfamille des *Picornaviridae* [67 ; 68 ; 69]. Le genre *Potyvirus* compte 217 espèces, dont 128 sont déjà assignées et 89 ne le sont pas encore, et est l'un des plus grands genres de virus infectant les plantes [69].

1.2.2. Génome

Les *Potyvirus* sont des virus d'une forme filamenteuse (Figure 1.3_a) de 730 nm de longueur X 11 nm de diamètre [68 ; 69 ; 70], à ARN monocaténaire de polarité positive d'environ 10 kb encode un seul cadre de lecture d'où dérive une polyprotéine de haut poids moléculaire (Figure 1.3_b). Le génome est traduit directement après désassemblage de la particule virale par les ribosomes de la cellule hôte (Figure 1.3_c) [71 ; 72 ; 73 ; 74].



1.2.3. Symptomatologie

Les symptômes provoqués par le PVY varient en fonction des facteurs environnementaux, de la variété infectée [76] et des souches [77]. Les températures comprises entre 10 et 26°C permettent l'expression du PVY [76].

Les symptômes les plus fréquents associés au virus Y sont des mosaïques foliaires, généralement accompagnées de frisolées, parfois de nécroses.

1.2.3.1. Mosaïques

L'apparition des symptômes de mosaïques est fonction des conditions climatiques. Il s'agit de l'alternance de zones vert-clair et vert-foncé, non déformante, plus ou moins prononcée (Figure 1.4_a).

1.2.3.2. Frisolée

Les symptômes de frisolée (infection secondaire) sont des déformations du feuillage parfois moins accentuées, et se caractérisent par de simples ondulations, gaufrages ou cloquages, une mosaïque s'installe également (Figure 1.4_a) [35].

1.2.3.3. Bigarrure

L'infection primaire provoque l'apparition des symptômes de bigarrure. Des nécroses brunes qui se développent le long des nervures sur les deux faces de la feuille (Figure 1.4_{a,b}). La maladie évolue par la formation des taches nécrotiques gagnant les tissus internes vairés ainsi que les pétioles et la tige.

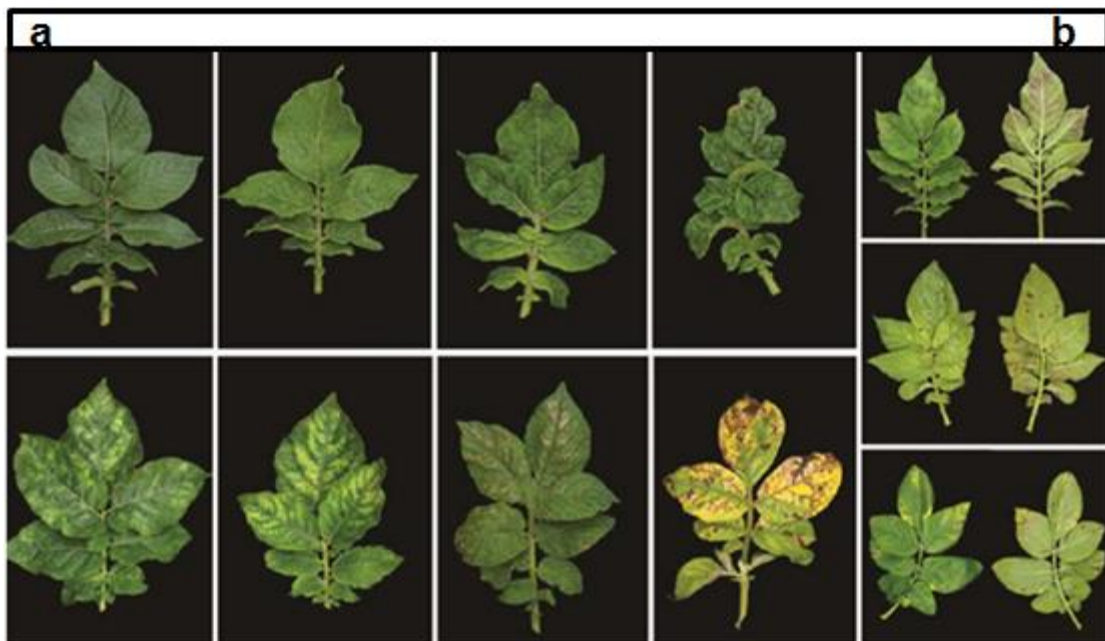


Figure 1.4 : Symptômes du *PVY* sur feuilles de pomme de terre [79].

(a), Feuille saine (en haut à gauche) et infectée par le virus Y de la pomme de terre exprimant des symptômes fréquemment observés sur les différentes variétés et causées par les différentes souches du *PVY*. Les symptômes vont d'une mosaïque légère à une mosaïque sévère, Déformations des feuilles (frisolée), Chlorose/Nécrose, Nécrose nerveaire, Chlorose totale des feuilles/Nécrose. **(b)**, Symptômes du *PVY* sur la face supérieure et inférieure de feuilles.

1.2.3.4. Symptômes sur tubercules

Le virus Y de la pomme de terre cause des nécroses au niveau des tubercules chez toutes les variétés [4 ; 80]. Les lésions restent superficielles (Figure 1.5) et il n'y a aucun arc nécrotique à l'intérieur de la chair du tubercule [81].



Figure 1.5 : Nécroses annulaires superficielles sur tubercules (*PVY*) [76].

1.2.4. Voies de transmission

Le virus Y de la pomme de terre se transmet naturellement par la voie mécanique et par plusieurs pucerons y compris les espèces colonisatrices et non colonisatrices de la pomme de terre [82 ; 83 ; 84 ; 85 ; 59 ; 86 ; 87 ; 88]. Plusieurs espèces de la famille des *Aphididae* sont des vecteurs potentiels du *PVY* [89 ; 74].

1.3. Pucerons vecteurs

1.3.1. *Myzus persicae* (Sulzer)

Le puceron vert du pêcher (Figure 1.6_a) est présent sur toutes les latitudes [9], et attaque le plus grand nombre de plantes cultivées [90]. Les œufs de *M. persicae* hibernent en diapause sur le pêcher dont il représente l'hôte primaire, sur lequel, les pucerons du printemps se multiplient pour quelques générations par parthénogenèse, lorsque la température est supérieure à 18°C [91].

Les individus ailés émigrent sur plusieurs hôtes secondaires tels que la pomme de terre, la betterave, la laitue et le tabac. Ils se caractérisent par la présence d'une tache noire sur l'abdomen vert ; les 2 paires d'ailes sont longues et translucides, leurs antennes sont 0.7-1.0 fois plus longue que leur corps. Les individus aptères sont d'une couleur verte et de taille plus petite que les adultes (1.2-2.3 mm) [92].

1.3.2. *Aphis nasturtii* (Kaltenbach)

Appelé également le puceron de nerprun (Figure 1.6_b) l'individu adulte aptère mesure de 1,2 à 2.4 mm de long, d'une forme trapue, de couleur jaune à jaune verdâtre brillant avec des cornicules pâmes ou légèrement pigmentés à l'extrémité [92]. Les ailés sont de couleur vert à vert citron presque fluorescent. Ils mesurent de 1.8 à 2.7 mm, les antennes sont nettement moins longues que le corps [92].

1.3.3. *Aphis gossypii* (Golver)

Nommé le puceron du melon ou du coton (Figure 1.6_c). C'est une espèce cosmopolite et fait partie des 5% d'espèces qualifiées de polyphages. Néanmoins des études récentes ont montré que l'espèce est constituée de plusieurs races-hôtes très spécialisées. Elle possède une préférence pour les Cucurbitacées (melon, concombre, courgette...), les Malvacées (cotonnier) et les Rutacées (*Citrus*), mais peut être retrouvée sur un très grand nombre d'espèces de plantes dont les Solanacées (pomme de terre, aubergine, piment, poivron) [93]. Il est anholocyclique donc il hiverne sous forme d'individus parthénogénétiques.

Les individus aptères ont une longueur de 1.2 à 2.2 mm, avec une couleur jaunâtre à vert sombre. Les antennes sont jaune pâles, les cornicules sont très foncées et le cauda est pâle [64]. Alors que les individus ailés sont le plus souvent noirs et plus petits, avec un corps généralement vert à vert foncé et des antennes courtes par rapport à la longueur du corps. L'abdomen est muni de sclérites marginaux. Les cornicules sont noires et plus courtes que celles des aptères, la cauda est pigmentée et plus claire que les cornicules [64].

1.3.4. *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas)

Le puceron de la pomme de terre (Figure 1.6_d), attaquent plusieurs plantes herbacées, souvent des espèces cultivées, qui sont utilisées comme hôtes secondaires au cours de l'été. Ce puceron est donc nuisible tant pour les cultures de pomme de terre que celles de tomates [63].

Ce puceron est d'une taille grande (3 à 4 mm) par rapport aux autres pucerons, sa forme est très allongée, il est d'un aspect velouté et d'une couleur vert-moyen à vert-foncé ou rose-mauve. Les antennes sont nettement plus longues que le corps

et les pattes sont très grandes.

C'est un puceron holocyclique et hétéroïque chez qui les formes sexuées s'observent à l'automne sur certaines Rosacées (*Rosa nitida*, *R. palustris* et *R. rugosa*) servant d'hôtes primaires, en vue de la reproduction sexuée et de la ponte d'œufs hibernants [94 ; 95].

C'est une espèce extrêmement polyphage (pomme de terre, laitue, betterave et même des espèces ornementales). L'hôte primaire est le rosier (*Rosa*), sur lequel il se multiplie par la voie sexuée, mais durant la mauvaise saison il se maintient par parthénogénèse. Le nombre de pucerons augmentent rapidement au début du printemps, et selon le taux d'infestations des autres plantes par les ailés [92].

1.3.5. *Aulacorthum solani* (Kaltenbach)

Appelé le puceron strié de la digitale et de la pomme de terre (Figure 1.6_e). Dans les climats tempérés la plupart des populations hivernales sont des aptères ou des nymphes, surtout sur les feuilles de pomme de terre et des espèces sauvages comme *Digitalis* [92].

L'individu aptère est d'une taille comprise entre 1,5 à 3 mm, sa couleur varie du vert au jaune pâle, une tache verte parfois rougeâtre est généralement bien visible à la base des cornicules. Les appendices sont entièrement pâles excepté l'extrémité des tibias, des cornicules et des antennes qui sont sombres [92].

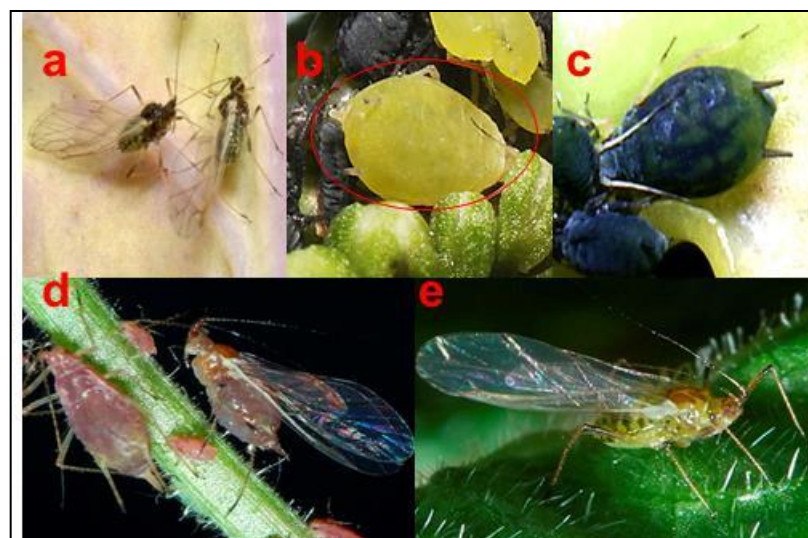


Figure 1.6 : Principaux pucerons vecteurs du PVY [92].

1.3.6. Mécanisme de transmission non-persistante

Les virus non-persistants sont présents, entre autres, dans les cellules de l'épiderme des plantes (Figure 1.7_a) [71 ; 59; 96]. Ils sont ingérés très rapidement, en quelques secondes à quelques minutes, par le puceron au moment des piqûres d'épreuve. Les virus, prélevés en même temps que le contenu de la cellule sondée, pénètrent dans les stylets et remontent tout d'abord dans le conduit commun (Figure 1.7_b) [95 ; 97], à l'extrémité distale, puis plus loin dans le canal alimentaire (Figure 1.7_c) [98]. Les particules virales sont retenues sur la cuticule tapissant les canaux des stylets ou la partie antérieure du tube digestif, dans une zone qui, jusqu'à présent, n'a pas été précisément délimitée. Après cette phase d'acquisition, le virus est retenu sur la cuticule du puceron durant un temps relativement court, pouvant s'étendre de quelques minutes à quelques heures suivant les cas [59 ; 97].

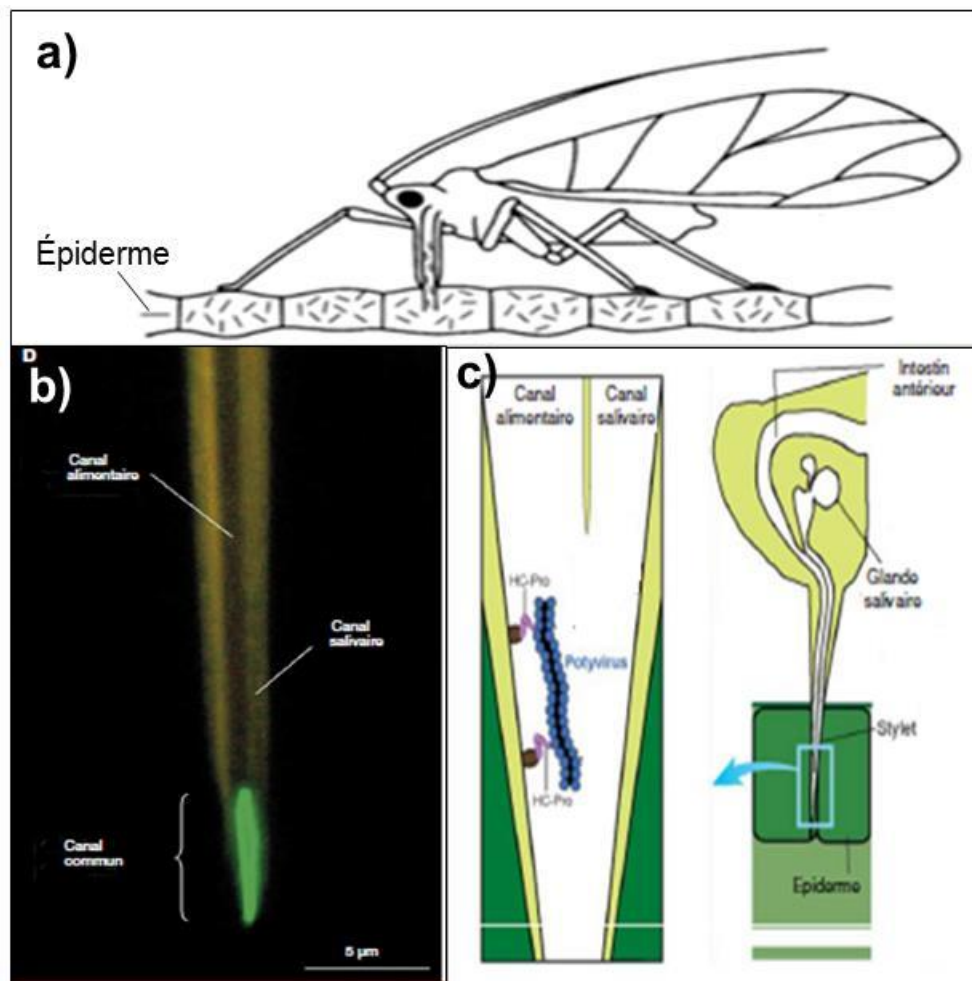


Figure 1.7 : Transmission des virus non-persistant [59 ; 71 ; 96 ; 97 ; 98].

1.4. Lutte contre les pucerons vecteurs de virus

La gravité des dégâts infligés aux plantes cultivées, a conduit à la mise en place de nombreuses études et au développement de plusieurs stratégies pour combattre les pucerons (traitements insecticides, vaporisation d'huiles, lutte biologique, utilisation de répulsifs, plantes résistantes, etc.) [99].

1.4.1. Méthodes de lutte préventives

Selon Ajouz, (2009), dans la protection des végétaux, la prophylaxie représente les mesures pouvant être recommandées pour prévenir ou défavoriser l'installation d'un organisme nuisible et son développement préjudiciable sur un territoire déterminé. Elle repose sur des moyens directs visant à lutter contre cet organisme ou sur des mesures indirectes dont l'objectif est de minimiser ou de rendre impossible l'expression de la nuisibilité de l'organisme visé [99].

Les méthodes habituelles de surveillance des pucerons sont l'utilisation des pièges collantes, les pièges à succions, et les pièges jaunes [101 ; 102].

1.4.2. Méthodes de lutte physique

Un moyen qui vise à interrompre la colonisation des plantes par les insectes, ou à contrôler l'insecte ou sa descendance lorsqu'il est établi dans les champs [103 ; 104]. Dans ce cadre l'aspirateur d'insectes a été utilisé, il présente un taux de succès de 56%, mais son utilisation à plusieurs reprises cause des dommages aux plantes [103 ; 105].

1.4.3. Méthodes de lutte culturale

C'est l'ensemble des méthodes défavorisant les ravageurs des plantes. Il y a plusieurs techniques telles que les rotations de cultures, les bicultures ou plusieurs associations de plantes, le sarclage des mauvaises herbes ...etc. [106 ; 107].

La plantation de semences de pomme de terre certifiées constitue actuellement le cœur du dispositif de lutte intégrée contre les viroses. En effet, elle garantit l'utilisation d'un matériel sain et retarde les épidémies [59].

L'association de méthodes de lutte rassemblant l'emploi de plantes résistantes au virus, la sélection sanitaire et les traitements insecticides permet de contrôler plus ou moins efficacement les épidémies virales [59].

1.4.4. Méthodes de lutte chimique

À l'heure actuelle, la méthode de lutte la plus fréquemment utilisée pour contrôler les infestations d'insectes nuisibles est la lutte chimique [108]. Mais dans les dernières décennies, l'emploi de ces produits est devenu responsable de nombreux problèmes tant pour l'environnement que pour la santé humaine. De plus leur utilisation massive a permis la sélection de populations d'insectes résistants aux insecticides [108].

1.4.5. Méthodes de lutte biologique

Les scientifiques ont développé de nouvelles approches de lutte alternatives aux méthodes classiques, utilisées seules ou en combinaison avec les méthodes existantes, permettant de contrôler d'une manière efficace les ravageurs tout en respectant l'environnement et la santé humaine [109].

Selon Van Lenteren *et al.*, (2006), des solutions biologiques de lutte contre les ravageurs qui sont maintenant effectués sur 55.5 milliards d'hectares dans le monde, ainsi, environ 95% des ravageurs sont aujourd'hui sous contrôle biologique ou naturel, et il n'y a que 5 000 espèces contrôlées par d'autres méthodes. Plus de 150 espèces d'ennemis naturels, parasitoïdes, prédateurs et pathogènes, sont commercialisées à travers le monde [109].

La grande diversité des ressources biologiques en principe exploitables en lutte biologique donne lieu à diverses techniques utilisables, telles que les substances sémio-chimiques et les cultures intercalaires qui peuvent émettre des substances allélochimiques ou jouer un rôle de plantes tampons [111 ; 112 ; 113 ; 114].

Autres interventions sont distinguées, celles qui visent à exploiter des organismes vivants (antagonistes) ou des produits dérivés, et celles dont l'objectif est de diminuer l'activité des ravageurs [102], car les pucerons constituent une ressource alimentaire abondante et régulière utilisée par de nombreux organismes ou ennemis naturels [102] comme les prédateurs on y compte des mésanges, des

araignées et surtout des insectes, notamment les coccinelles qui se nourrissent de pucerons, mais aussi les syrphes et les chrysopes, les insectes parasitoïdes (Hyménoptères), et certains champignons entomophthorales [115].

D'après Vandermoten *et al.* (2008), une autre voie actuellement envisagée est la formulation de nouveaux insecticides appelés bio-insecticides. Ces derniers sont conçus pour perturber certaines fonctions biochimiques essentielles à la survie de l'insecte ravageur visé [108].

1.4.5. Méthodes de lutte intégrée

Aujourd'hui, la protection conventionnelle exclusive des cultures est de plus en plus remise en cause. Des alternatives sont nécessaires pour développer des stratégies de contrôle intégrées et durables [10], pouvant interrompre le cycle de vie des insectes pendant l'une ou l'autre de ses phases [116].

La lutte intégrée n'écarte pas l'usage bien maîtrisé des produits chimiques, en associant toutes les mesures compatibles avec une saine gestion qui peuvent contribuer à une bonne protection des plantes, tout en respectant les insectes auxiliaires et pollinisateurs [116]. Il n'est plus question d'éliminer les ravageurs jusqu'au dernier, mais d'abaisser leurs effectifs de telle façon que les dégâts soient supportables. Donc, la lutte intégrée est une approche qui semble rassembler de plus en plus de producteurs et de scientifiques [116].

1.4.6. Nouvelles approches de lutte contre les pucerons vecteurs de virus

Yattara *et al.* (2013), ont montré l'efficacité de la mise en place de diffuseurs de substances informatives répulsives, notamment phéromonaux pour éviter les infestations de pucerons ou encore l'utilisation de substances compétitrices des virus, telles que les lectines. Ce sont donc des développements technologiques récents qui peuvent permettre le contrôle des virus transmis par pucerons [10].

Des approches nouvelles et intéressantes ont été explorées pour la suppression des maladies des plantes par des moyens naturels tels que l'utilisation de compost et de jus de compost [117].

Néanmoins, la lombriculture représente une technologie appropriée pour valoriser les résidus de cultures ainsi que d'autres déchets végétaux mélangés aux déjections animales provenant de l'exploitation agricole. Il s'agit notamment d'un système technologique à faible coût lorsqu'il est mis en œuvre en fonction des matières organiques disponibles localement. L'intérêt pour le vermicompostage s'est intensifié au cours des 20 dernières années [109].

Le lombricompostage peut être défini comme un procédé de bio-oxydation et de stabilisation des matières organiques [118 ; 119], mais à travers l'interaction entre les vers de terre et les microorganismes [120 ; 121 ; 122 ; 123].

Selon Vivas (2009), les microorganismes sont surtout responsables à la dégradation biochimique des matières organiques pendant le processus du compostage et du vermicompostage et, dans ce dernier, les vers de terre jouent un rôle important dans l'activité et la biodiversité des microorganismes [123].

1.4.7. Jus du vermicompost

Il s'agit d'un extrait aqueux du vermicompost et des vers de terre présents dans le milieu [125]. C'est un liquide rouge brunâtre collecté durant le vermicompostage des matières organiques [33].

Les composants actifs du jus de compost qui ont été identifiés jusqu'à maintenant sont des bactéries (Bacille), des levures (*Sporobolomyces* et *Cryptococcus*) et des moisissures, aussi il y a des antagonistes chimiques tels que les phénols et les acides aminés [126].

Le jus du vermicompost contient également des substances qui peuvent promouvoir la croissance des plantes (acide humique, acide fulvique et autres acides organiques ; des auxines ; et des cytokinines) [33].

1.4.7.1. Méthodes d'obtention du jus

Selon Znaïdi (2002), il semble y avoir deux méthodes de préparation distinctes, l'une par aération et l'autre par fermentation [116].

La méthode aérobie décrite par Cantisano en Novembre 1995 à Saint Louis aux États-Unis peut être résumée comme suit :

Le thé de compost est fabriqué en mettant l'accent sur l'aération et le temps d'extraction peut être de 7 jours. Un tube PVC de 12 pouces est coupé en deux suivant le sens de la longueur, plusieurs autres tubes sont montés l'un dans l'autre pour faire au moins 4 pieds de longueur au-dessus d'un réservoir qui collectera le thé de compost. Le tube qui s'introduit dans le réservoir est troué en bas pour laisser passer le jus. Les autres tubes vont former une cuvette où sont placés des sacs contenant le compost, par la suite un courant d'eau passera alors dans les tubes et amènera l'extrait de compost directement au réservoir où une pompe va l'expulser en haut des tubes pour qu'il puisse refaire le chemin de nouveau, le thé de compost est ainsi aéré.

La méthode d'extraction originale, par fermentation a été développée par le chercheur allemand Wetzlein et améliorée par Brinton sur la Côte Est des États-Unis. Cette méthode peut être synthétisée comme suit :

Le thé de compost est obtenu en couvrant le compost avec de l'eau de robinet à une proportion entre 1 : 5 à 1 : 8 (volume/volume). Le contenu est remué une fois et laissé pour fermentation au grand air à une température de 15 à 20°C. Après un temps d'extraction (entre 2 à 21 jours ; le plus souvent entre 3 à 7 jours) ou période d'absorption, la solution est passée à travers un tissu pour fromage et appliquée ensuite avec un pulvérisateur ordinaire.

1.4.7.2. Effet du jus de vermicompost sur la santé des plantes

Selon Khan (2014), des résultats ont montré que l'application du jus du compost améliore la santé des plantes, le rendement, et la qualité nutritive [33].

D'après Brinton et William (1995), les extraits de compost permettent un bio-contrôle par leurs actions sur la phyllosphère. Plusieurs mécanismes sont

responsables de l'effet suppressif qui sont l'induction de la résistance, l'inhibition de la germination des spores, l'antagonisme et la compétition [126].

D'après Znaïdi (2002), le vermicompost peut supprimer un grand groupe de maladies, insectes nuisibles et les nématodes parasites des plantes. En ce qui concerne les maladies fongiques, ils ont observé que l'addition du jus du vermicompost à trois plantes ornementales a diminuée d'une manière significative la sporulation de *Phytophthora cryptogea*. De même, l'extrait aqueux du vermicompost est capable de réduire la croissance du champignon *Sclerotinia sclerotiorum*, *Corticium rolfsii*, *Rhizoctonia solani* et *Fusarium oxysporum* [116].

Cependant, selon des recherches faites dans plusieurs régions du monde, le jus de compost pourrait être efficace pour la lutte contre : le mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*) ; la pourriture grise de la fève et de la fraise (*Botrytis cinerea*) ; le mildiou et l'oïdium de la vigne ; l'oïdium du concombre (*Sphaerotheca fuliginea*) ; la pourriture grise de la tomate [127] ; et la gale de la pomme de terre (*Venturia conidia*) [128 ; 117].

Autres études ont reporté un effet suppressif considérable des nématodes (*Meloidogyne incognita*) et un effet suppressif radical des araignées (*Tetranychus spp.*) et de puceron (*Myzus persicae*) chez la tomate après l'application du jus de vermicompost [129].

1.4.7.3. Facteurs influençant l'efficacité du jus de vermicompost

Selon Brinton et William (1995), plusieurs facteurs peuvent être cités comme : l'âge du compost, la nature des matériaux de départ (les composts issus d'extraits d'animaux conservent plus longtemps leur activité que les composts d'origine uniquement végétale), le type de pathogène cible, la méthode de préparation, le mode et la fréquence d'application de l'extrait, et les conditions climatiques [126].

CHAPITRE 2

MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Présentation de la région d'étude

La steppe Algérienne est située entre les isohyètes 400 mm au Nord et 100 mm au Sud. Elle s'étend sur une superficie de 20 millions d'hectares, entre la limite Sud de l'Atlas Tellien au Nord et celle des piémonts sud de l'Atlas Saharien au Sud, répartie administrativement à travers 8 wilayate steppiques et 11 wilayate agro-pastorales totalisant 354 communes [130].

2.1.1.1. Situation géographique de la région d'El-Bayadh

Le territoire d'El Bayadh cadre dans un espace délimité en longitude par 0° à 2°E et en latitude par 31° à 34°N (Figure 2.1). Il se divise en 3 bandes géographiques parallèles à la mer méditerranée, soit successivement du Nord vers le Sud : la zone de hautes plaines steppiques, l'Atlas Saharien et la zone présaharienne [131].

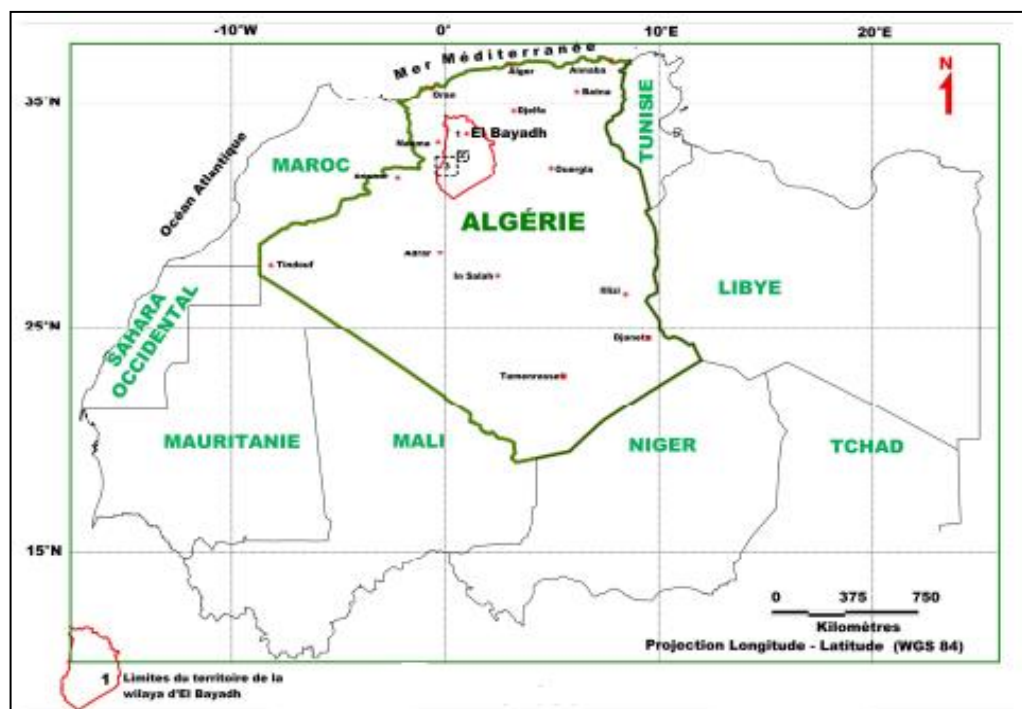


Figure 2.1 : Localisation de la région d'étude [132].

La wilaya d'El-Bayadh occupe une position géographique médiane entre les hauts plateaux et la chaîne steppique. Elle est délimitée par : Tiaret, Saida et Sidi Bel Abbés au Nord, Naâma à l'Ouest, Béchar au Sud-Ouest, Adrar, Ghardaïa au Sud et Laghouat à l'Est [133]. D'une superficie de 71 697 Km², elle se situe au Sud-Ouest Algérien, dont le chef-lieu est à 520 km au Sud-Ouest d'Alger [134].

2.1.1.2. Climatologie

Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution de la vie des êtres vivants, il dépend de nombreux facteurs: la température, les précipitations, l'humidité, la lumière.

D'après Prévost (1999), les végétaux comme les animaux ont des exigences climatiques qui définissent leurs aires géographiques de répartition [106].

2.1.1.2.1. Pluviométrie

Dans la steppe Algérienne, de façon générale la pluviométrie moyenne annuelle est faible (100 à 400 mm) et sa répartition est irrégulière dans le temps et dans l'espace. Les pluies se caractérisent par leur brutalité (averse) et leur aspect orageux [130]. La pluviosité moyenne annuelle de la région d'El Bayadh est relativement faible. Elle représente 326 mm/an en moyenne [135]. Cette pluviosité accuse une forte variabilité interannuelle et spatiale avec une diminution des hauteurs de pluie du nord vers le sud [132].

Les pluies sont concentrées sur la saison froide et les mois les plus chauds sont aussi les plus secs. Pour El-Bayadh, le nombre de jours d'orage est de l'ordre de 20 jours/an, l'enneigement moyen est de 13 jours/an avec une épaisseur moyenne de 10 cm [132].

2.1.1.2.2. Température

Elle influe considérablement sur la végétation, elle est l'élément climatique le plus important dans l'aire de répartition des végétaux sur le globe [106].

La température moyenne annuelle est relativement peu élevée. Les températures estivales sont assez fortes et les températures hivernales très basses induisent une amplitude thermique importante [132].

2.1.1.2.3. Vent

En hiver, les vents dominants sont de secteur Ouest à Nord-Ouest, dus aux hautes pressions qui règnent sur les Atlas, Tellien et Saharien. En été, ce sont les conditions locales qui prédominent et les vents du Sud-Est deviennent dominants. Dans l'ensemble, ces vents sont de force modérée et les plus forts sont ceux de fin d'hiver et de printemps [132].

2.1.1.2.4. Classification du climat

La région d'El Bayadh, vu la morphologie de son relief, présente 2 types de climat (semi-aride au Nord et aride au Sud) [133].

L'analyse des principaux indices et coefficients (coefficient pluviothermique de Emberger, diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen), montre que la station d'El-Bayadh (1310 m) appartient à l'étage bioclimatique semi-aride, variante à hivers froid (Appendice F).

2.1.1.3. Nature des sols

La plupart des sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire réduisant la profondeur de sol utile, ils sont généralement pauvres en matière organique et sensibles à la dégradation [130].

Dans la région d'El-Bayadh la nature des sols et leur répartition est en étroite relation avec les unités géomorphologiques. Une superficie considérable est occupée par des sols peu profonds tels : les sols minéraux bruts et peu évolués d'érosion, les sols calcimagnésiques à dalle, croûte ou encroûtement calcaire sur les glacis encroûtés du Quaternaire ancien et moyen [132].

Une superficie relativement peu importante est occupée par des sols plus profonds sur les terrasses du Quaternaire récent, les dayate et les chenaux d'oueds [132].

2.1.1.4. Présentation du site d'étude

Le site d'étude est localisé dans la région de Boualem (Figure 2.2) est caractérisée par des chaînes montagneuses qui sont presque dépourvues de

végétation. Elle correspond à la partie la plus orientale des monts ksour. Ces massifs sont traversés par de vastes plaines [136].

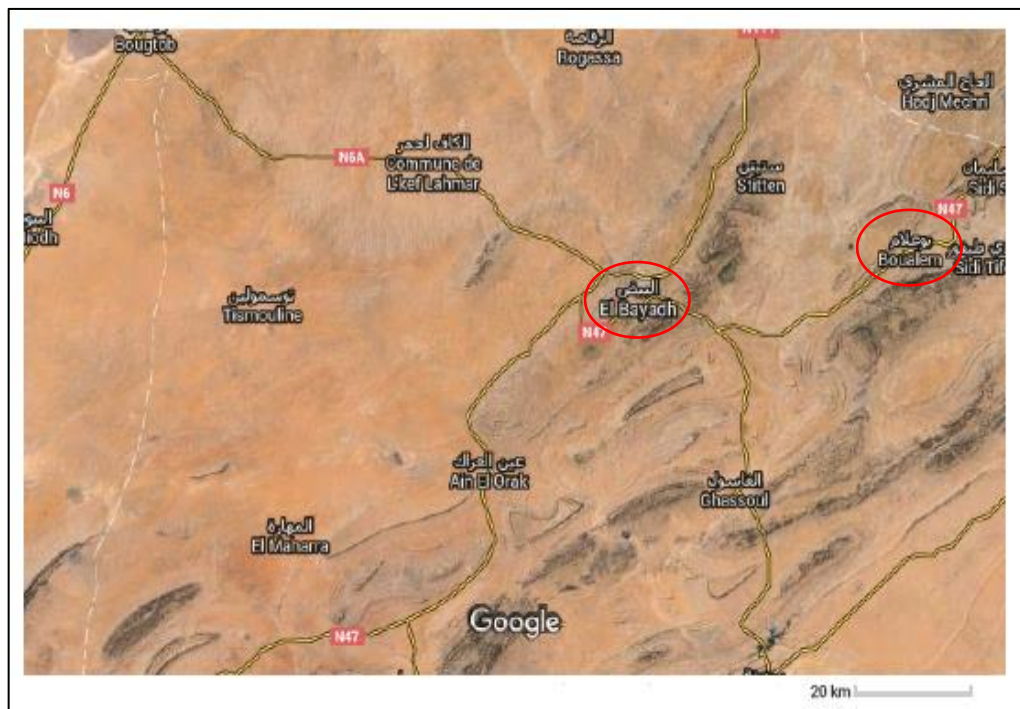


Figure 2.2 : Localisation du site d'étude [137].

2.1.2. Matériel végétal

La semence de pomme de terre que nous avons utilisée appartient à la variété Spunta (Plants de Base de la Classe E), elle est caractérisée par son bon rendement. Ses tubercules sont très gros, oblongs, allongés, peu sensibles au noircissement interne, aux bourgeons très superficiels, à peau jaune pâle et lisse et à chair jaune-pâle. Les germes du tubercule sont de couleur bleu violacé, à pointes vertes, plus colorés à la base et de faible pilosité [138].

2.1.3. Biofertilisant

Le biofertilisant a été fourni par le laboratoire de Zoologie à l'université Blida 1, il a été préparé sur la base du jus de vermicompost obtenu à partir d'un processus de vermicompostage.

2.2. Méthodes d'étude

2.2.1. Dispositif expérimental

D'après Dagnelie (2003), dans le cas des expériences en champ, au sens large on entend classiquement par bloc un ensemble de parcelles voisines et très semblables les unes aux autres, quant aux conditions de croissance et de développement de la végétation. Ces blocs sont dits complets quand tous les objets mis en expérience sont présents dans chacun d'eux, le nombre de parcelles par bloc étant au moins égal au nombre d'objets [139].

La répartition des objets au sein des différents blocs se fait normalement de façon complètement aléatoire et indépendamment d'un bloc à l'autre, d'où la notion de blocs aléatoires complets, aussi appelés blocs randomisés et parfois blocs Fisher [139].

Notre expérimentation a été menée sur une parcelle de forme rectangulaire (12m×17m) divisée en 3 blocs égaux avec un espacement de (2 m), dont chacun est subdivisé en 3 sous blocs (4m×3m) avec un espacement de (1 m) (Figure 2.3).

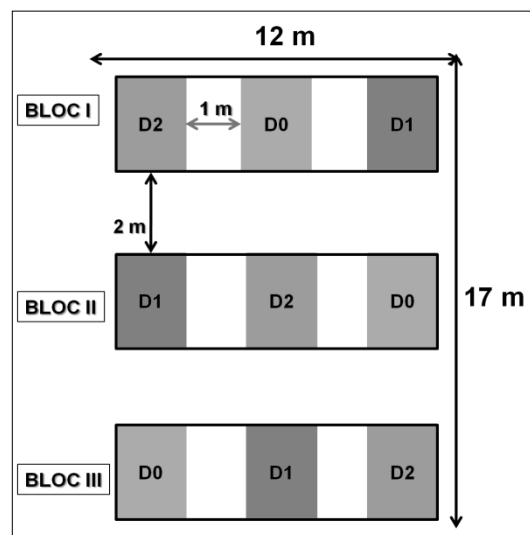


Figure 2.3 : Dispositif expérimental en Blocs Aléatoires Complets.

2.2.2. Plantation de la pomme de terre

La plantation des tubercules pré-germés a été faite à partir du 10 Août 2015, à raison de (10) tubercules par lignes ; avec un espacement de (0,75) m entre les lignes ; et (0,35 m) entre les plants (Figure 2.4).

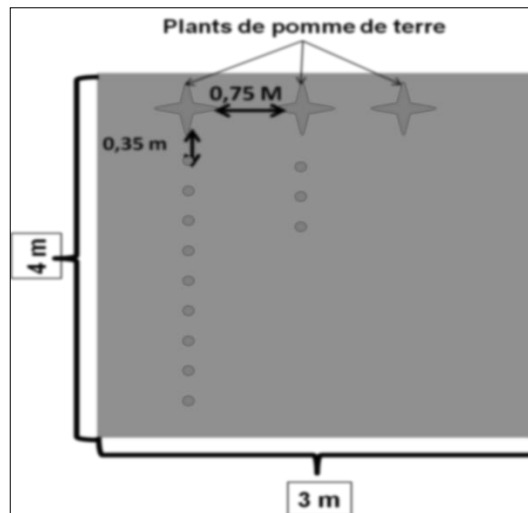


Figure 2.4 : Schéma d'un sous-bloc.

La parcelle est irriguée par aspersion (Figure 2.6), dès la levée à l'exception des périodes pluvieuses avec des fréquences de (2) fois par semaine, puis l'irrigation est arrêtée 20 jours avant la récolte.

2.2.3. Dilution du biofertilisant

Les doses appliquées ont été préparé selon la méthode suivante : une quantité du biofertilisant est mélangée avec de l'eau de robinet selon un rapport de 1/10 (Volume/Volume) pour préparer la dose 1 (D_1), et un rapport de 1/5 (Volume/Volume) pour préparer la dose 2 (D_2), puis le mélange a été agité et appliqué après 24 heures (Figure 2.5).



Figure 2.5 : Dilution du biofertilisant.

2.2.4. Méthode d'application des traitements

Les levées ont été enregistrées à partir de la 2^{ème} semaine après la plantation, dès que le taux de germination des plants a atteint 70 %, un traitement à 3 niveaux, [$D_1 = 1/10$ (Volume/Volume), $D_2 = 1/5$ (Volume/Volume) ; avec un sous bloc témoin sans traitement D_0] a été appliqué tous les 15 jours, dans chaque sous bloc, par pulvérisation à l'aide d'un pulvérisateur à dos. La période du traitement a commencé le 18 Septembre 2015 jusqu'au 27 Novembre 2015.

2.2.5. Méthode de piégeage

D'après (Roth, 1972), les pièges attractifs sont des récipients en matière plastique de couleur jaune citron (couleur préférentielle pour la plupart des insectes) [140]. Ils sont posés sur terre, près de la végétation [140].

Dans notre cas, nous avons installé au centre de la parcelle (Figure 2.6), une petite cuvette jaune en plastique remplie aux 2 tiers d'eau additionnée à quelques gouttes d'un mouillant. L'eau du piège est renouvelée après chaque prélèvement à l'aide d'un pinceau fin, ils sont conservés dans l'alcool à 70 %, pour être identifiés et dénombrés selon la méthode suivante :

[% espèce = nombre d'individus de l'espèce / nombre total de pucerons]

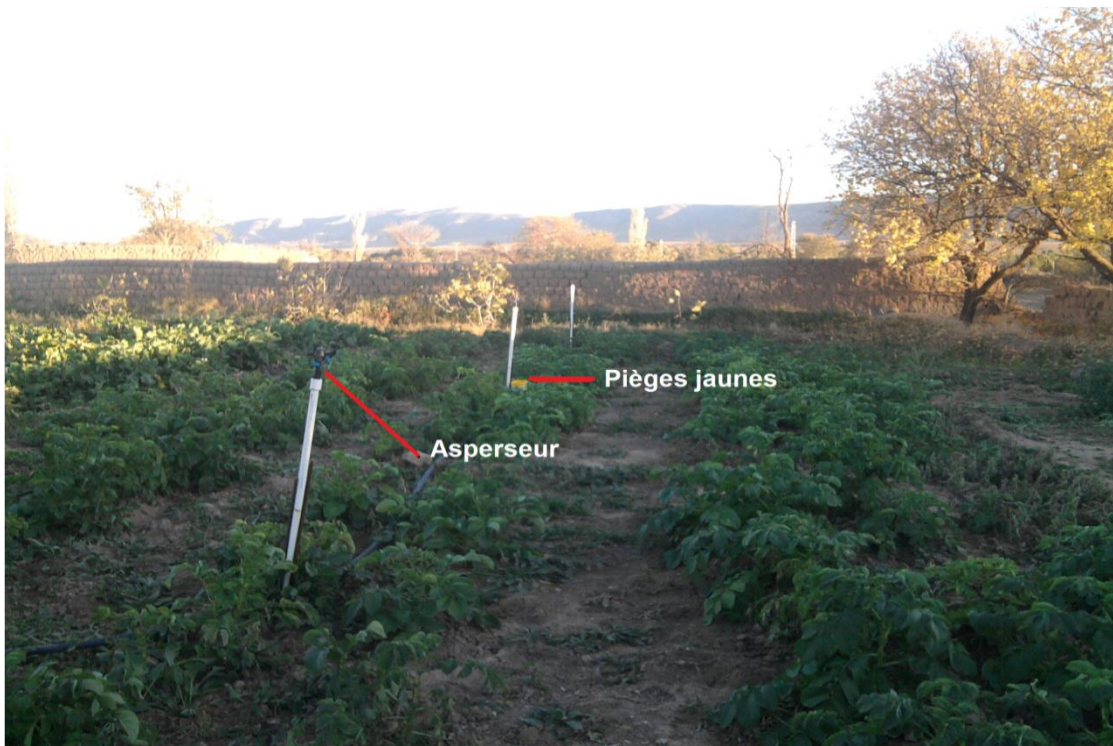


Figure 2.6 : Dispositif expérimental après 3 mois de l'installation de l'essai.

2.2.6. Méthode d'identification des pucerons vecteurs

Les espèces d'insectes piégés sont observées sous loupe binoculaire et identifiées à l'aide d'une clé d'identification Godin et Boivin, (2002) [141], au niveau du laboratoire de Zoologie de l'université Blida 1.

2.2.7. Test de pré-culture

Un échantillonnage au hasard des tubercules récoltés de chaque bloc et traitement a été réalisé pour l'essai de pré-culture.

La plantation des tubercules échantillonnés après pré-germination a été réalisée le : 20 Mars 2016 dans des pots en plastique mis dans une salle fermée, (4) répétitions ont été réalisées pour chaque traitement.

Un échantillonnage des feuilles pour l'analyse immuno-enzymatique a été réalisé à partir de la 6^{ème} semaine, les feuilles ont été conservées au froid dans des sachets en plastiques étiquetées et numérotées.

2.2.8. Méthode d'identification par le test DAS-ELISA

Les particules du *PVY* sont immunogènes, de sorte que les méthodes de détection sérologique, telles que le DAS-ELISA, se sont montrées particulièrement valables pour détecter les particules virales présentes dans les tissus de pomme de terre [142].

D'après, Walter *et al.* (1984) [143], à cause de sa grande sensibilité, la technique ELISA (Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay) s'est révélée très utile pour la détection sérologique des virus. La méthode ELISA la plus utilisée est la méthode sandwich directe (Clark & Adams, 1977) qui présente cependant 2 inconvénients : Sa trop grande spécificité au niveau de la souche du virus ; et la nécessité de préparer un conjugué enzyme anticorps pour chaque virus que l'on souhaite diagnostiquer.

La méthode ELISA indirecte ne présente pas ces inconvénients car elle permet la détection d'une gamme plus large de souches et ne requiert que la préparation d'un seul conjugué (par exemple des anticorps de chèvre anti-globulines de lapin).

La technique indirecte est bien adaptée au diagnostic viral dans les extraits bruts de plantes, mais elle nécessite la préparation de 2 sérums anti-virus à partir de 2 espèces animales différentes dont les immunoglobulines ne présentent pas de réaction croisée : lapin et poule par exemple.

2.2.9. Méthode d'échantillonnage

Le protocole Prélèvement des feuilles de pommes de terre avant défanage pour dépister des virus précise les paramètres à respecter pour procéder au prélèvement aléatoire des feuilles (les trois folioles terminales) selon une grille systématique d'échantillonnage au champ. Les feuilles sont échantillonnées après un minimum de 50 jours suivant la plantation et jusqu'à une à deux semaines avant le défanage. Les feuilles doivent être turgescents, pleinement développées et localisées dans le premier tiers supérieur du plant [144].

L'échantillonnage a été fait aléatoirement, par la suite nous avons prélevé près de 300 feuilles [144] qui ont été mises dans des sacs en plastique étiquetés et numérotés selon le traitement réalisé et puis conservées au froid.

2.3.10. Étapes de la DAS-ELISA

Dans le cadre du présent travail, le recours aux méthodes classiques de détection comme le test DAS-ELISA est suffisant pour l'obtention de résultats déterminants.

Pour le test DAS-ELISA il existe des kits commercialisés permettant de détecter la présence du virus. Ils sont composés de :

Plaques de microtitration, Coating (anticorps), Tampon de l'anticorps, Tampon de broyage, Témoin négatif, Témoin positif, Tampon de lavage, Conjugate (anticorps couplé à l'enzyme), Tampon du conjugué, Substrat (sous forme des pastilles) et Tampon du substrat.

a) Préparation des échantillons

Les feuilles ont été broyées avec un broyeur de tissus en ajoutant un tampon de broyage à raison de (1ml) du tampon pour (1g) des feuilles.

b) Sensibilisation des microplaques avec l'anticorps spécifique

Cette étape se fait comme suit : la dilution des anticorps au 1/100 dans le tampon de fixation juste avant l'utilisation, puis le dépôt des anticorps dilués à raison de 1000 µl/puits. Les plaques sont par la suite incubées et couvertes avec un film plastique adhésif à 30°C pendant 4 heures. En fin nous devons réaliser (3) lavages avec du tampon de lavage.

c) Dépôt des échantillons

Dans chaque puits nous devons déposer 1000µl d'échantillon broyé, par la suite les sont couvertes avec un film plastique adhésif et incubées pendant une nuit à 4°C. À la fin nous devons réaliser (3) lavages avec du tampon de lavage.

d) Dépôt des anticorps conjugués

Les anticorps conjugués ont été dilués à l'enzyme phosphatase alcaline à raison de 1/1000 dans le tampon du conjugué juste avant l'utilisation, par la suite nous avons les déposer dans les plaques à raison de 1000 µl/puits qui vont être par la suite couverte avec un film plastique adhésif. Incubation pendant 5 heures à 30 °C. À la fin, (3) lavages ont été effectués avec du tampon de lavage.

e) Dépôt du substrat

Juste avant l'utilisation, nous avons dilué la para-nitrophénylphosphate (p-NPP) dans le tampon de substrat. La concentration finale est de 1 mg/ml. La solution obtenue a été déposée à raison de 1000 µl/puits puis incubée à température ambiante. La lecture de l'absorbance a été effectuée à 405 nm.

f) Lecture des résultats

Après une heure d'incubation, plusieurs lectures ont été faites pour suivre l'évolution de la réaction enzymatique approximativement, plus une lecture par le lecteur ELISA qui montre les densités optiques (DO) de chaque échantillon. Les échantillons qui présentent une DO supérieure à (3) fois la DO du témoin négatif sont considérés positifs (Malades) et ceux qui présentent des DO inférieures à (2) fois la DO du témoin négatif sont considérés négatifs (Sains).

Le taux d'infection (I) est exprimé par le pourcentage (%) des plants infectés (n_i) par rapport au nombre total des plants testés (N). Pour calculer le taux d'infection nous avons utilisé la formule suivante : **$I \% = (\sum n_i / N) * 100$**

2.3. Analyses statistiques

Toutes les analyses ont été faites en utilisant le programme statistique SPSS statistics 20. Les graphes et les courbes de corrélation ont été effectués par EXCEL 2010.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Diagnostic symptomatologique

Au cours de la période d'étude, un suivi de la culture nous a permis d'observer plusieurs symptômes sur les plants (feuilles et tubercules) et qui correspondent à ceux provoqués par le *PVY*.

3.1.1. Symptômes sur le feuillage

Sur le feuillage, ces symptômes sont la déformation du feuillage (Figure 3.1_{a, b}), des nécroses foliaires (Figure 3.1_{c, d}), une mosaïque légère (Figure 3.1_e), le flétrissement et la mort de certains plants (Figure 3.1_f).



Figure 3.1 : Différents symptômes observés sur les feuilles de pomme de terre (observé à l'œil nu) (Originale, 2015).

3.1.2. Symptômes sur les tubercules

Quant aux tubercules, nous avons observés également des symptômes dû à l'attaque des insectes (Figure 3.2 a, b, c), de bactéries (Figure 3.2 d), des nécroses annulaires superficielles (Figure 3.2 e, f), également des blessures mécaniques (Figure 3.2 g), le verdissement de tubercules (Figure 3.2 a, b, c), et des symptômes internes (Figure 3.2 h), correspondant aux taches violacées.

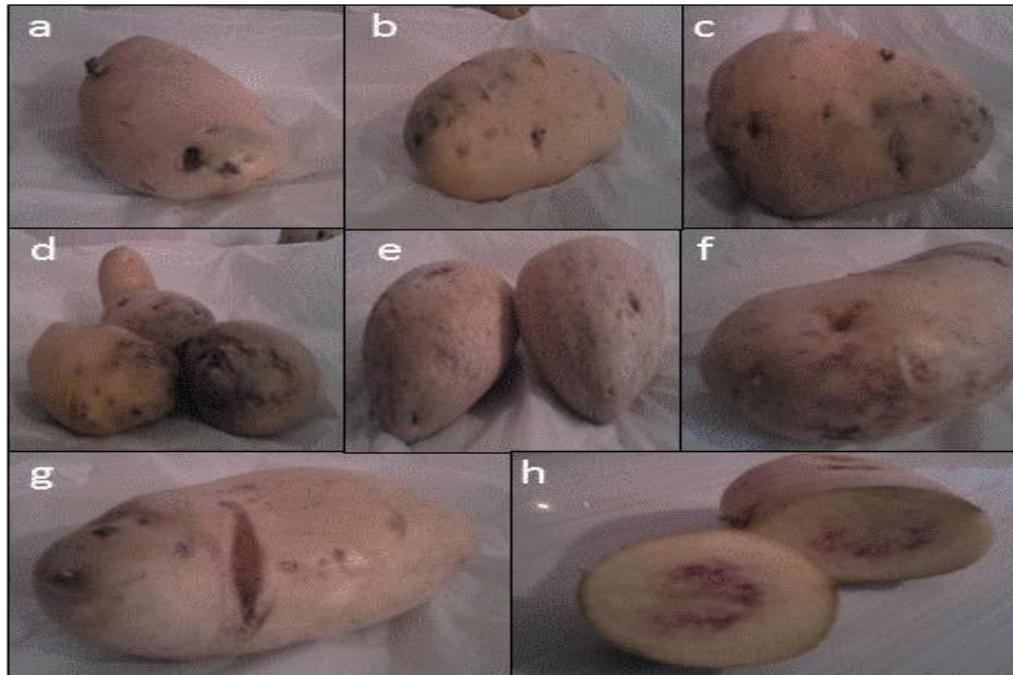


Figure 3.2 : Différents symptômes observés sur les tubercules de pomme de terre (observé à l'œil nu) (Originale, 2015).

3.1.3. Discussion

L'expression des symptômes dus à une infection virale dépend de plusieurs facteurs tels que le niveau de la résistance de l'hôte, stade de croissance de la plante, genre et espèce de virus ou souches et aux conditions environnementales [145], telles que l'intensité de la lumière [146] et la température [76].

Dans notre cas, la variété utilisée "Spunta" est sensible au *PVY*. Les températures enregistrées durant la période d'étude (du mois d'Aout jusqu'au mois d'Octobre) étaient comprises entre 16,8 et 26,4°C (Appendice G), ce qui a permis l'expression des symptômes du *PVY*. Selon Staubli (2004) [76], ils peuvent s'extérioriser entre 10 et 26°C.

3.2. Identification des pucerons capturés

3.2.1. Résultats

Les différentes espèces de pucerons, récoltés par les pièges jaunes au niveau de notre parcelle durant la période d'étude, et identifiés sont : *Aphis gossypii* (Figure 3.1_a), *Myzus persicae* (Figure 3.1_b), et *Aphis nasturtii* (Figure 3.1_c). Ces (3) espèces rencontrées dans la parcelle sont des vecteurs du PVY.

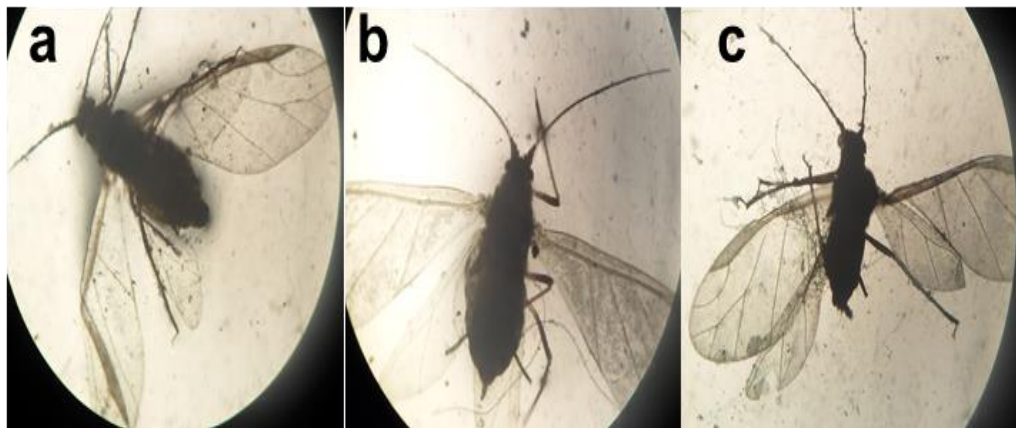


Figure 3.3 : Pucerons capturés au niveau de la parcelle (observé sous loupe binoculaire : G×4) (Originale, 2015).

(a) : *Aphis gossypii*, (b) : *Myzus persicae*, (c) : *Aphis nasturtii*.

3.2.2. Discussion

Évidemment, le cycle d'été est la phase active dans le cycle de vie des aphides. En outre, la transmission des virus par les individus aptères et ailés dans cette phase est très efficace [147].

Selon Yin (2013), seulement quelques pucerons colonisent les plants de pomme de terre, y compris *M. persicae*, *M. euphorbiae*, et *A. solani* [148]. Cependant, les principaux vecteurs du PVY changent selon des endroits et les années, car leur mouvement est affecté par les conditions environnementales, et les espèces voisines [148 ; 149].

Le travail réalisé par Lamouri (2014) [8], a révélé la présence des espèces suivantes : *A. nasturtii*, *A. gossypii*, *A. solani*, *M. persicae* et *M. euphorbiae*.

Toutefois, des travaux réalisés par la SAGRODEV, ont montré la présence des espèces vectrices du *PVY* dans la région d'Adrar caractérisée par un climat aride.

Selon les prospections faites par la Direction des Services Agricoles au niveau de la wilaya d'El-Bayadh, les pucerons existent dans les champs et provoquent les dégâts.

Cependant, l'analyse de différents indices climatiques (Appendice F) montre que la station d'El-Bayadh appartient à l'étage bioclimatique semi-aride. Donc, les conditions environnementales de la région telles que les températures, les précipitations et la vitesse du vent (Appendice G), enregistrés durant la période d'expérimentation favorisent le développement des populations de pucerons.

3.3. Densité des espèces de pucerons capturés

3.3.1. Résultats

Les pucerons-vecteurs récoltés sont recensés afin de déterminer le nombre d'individus de chaque espèce présente dans la parcelle. Ainsi, les résultats du dénombrement effectué après chaque prélèvement (Figure 3.4), montrent que l'espèce *M. persicae* n'est présente dans le piège qu'une seule fois uniquement, au début de la végétation (2 octobre 2015) correspondant au 1^{er} prélèvement réalisé avant le 2^{ème} traitement, le nombre d'individus de cette espèce représente (5,9%) du nombre total des pucerons capturés.

Par contre, *Aphis nasturtii* et *A. gossypii* sont récoltés, avec le même effectif, durant une période allant du 16 Octobre jusqu'au 30 Novembre 2015, correspondant au 3^{ème} et 4^{ème} prélèvement (17,7%), puis le nombre d'individus diminue, dès le 5^{ème} prélèvement (13 Novembre 2015), à (11,7%), quelques semaines avant le défanage naturel de la pomme de terre.

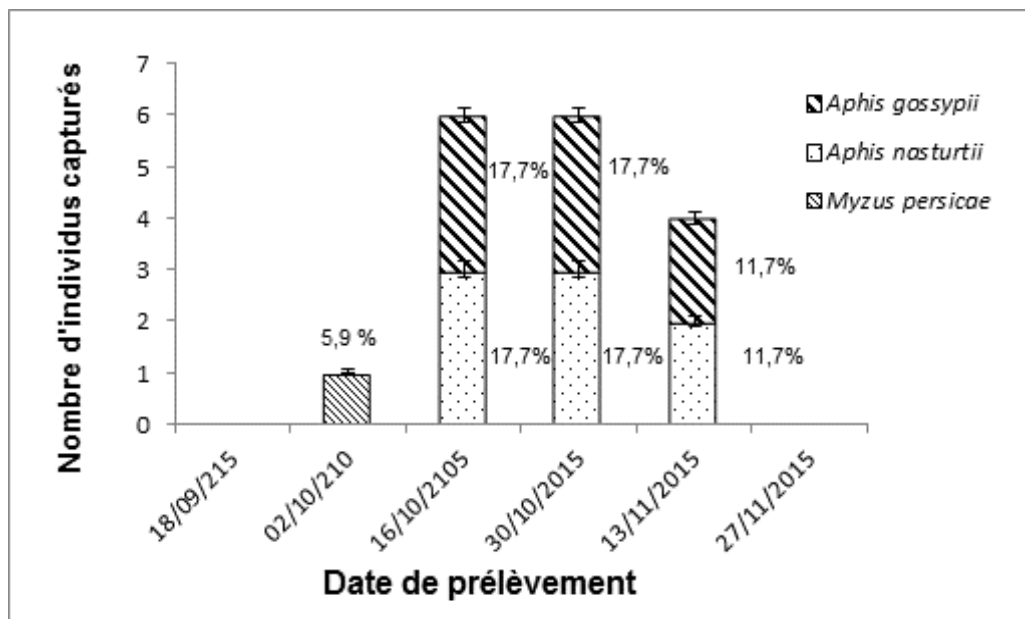


Figure 3.4 : Effectif des espèces capturées durant la période d'étude.

3.3.2. Discussion

Les résultats de ce travail indiquent que le traitement correspondant à l'application foliaire du biofertilisant à base du jus de lombricompost a pu induire la réduction des densités des pucerons-vecteurs piégés, où nous remarquons

l'absence totale des individus de *M. persicae* après l'application du 2^{ème} traitement, par contre les populations d'*A. gossypii* et d'*A. nasturtii* diminuent à partir du 4^{ème} traitement.

En se référant aux résultats obtenus nous supposons que le biofertilisant appliqué a stimulé les défenses naturelles de la plante et a conduit, à l'expression d'un effet répulsif permettant de diminuer le nombre de pucerons.

Nos résultats rejoignent plusieurs travaux qui ont été réalisés dont l'objectif est d'induire la diminution des populations d'insectes en utilisant différents produits tels que les huiles minérales. Ainsi, les résultats de l'expérimentation de Lamouri (2014) [8], réalisée dans la région de Sétif, attestent l'absence des individus aptères sur les feuilles de pomme de terre cultivée en saison et traitée par le Vazyl.

Le travail réalisé par Garcin (2009), en France, sur l'efficacité d'un produit appelé le "Surround®" à base de l'argile Kaolinite, présente une assez bonne efficacité sur les pucerons verts du pêcher. Il indique que les traitements d'automne présentent une efficacité de 50 % en moyenne sur les pontes d'œufs d'hiver, alors que l'efficacité est de 60 %, au printemps, sur les fondatrices [150].

Il est admis que le thé de compost a été employé pour supprimer les diverses maladies de fruits et de légumes et peuvent être pulvérisés pour fournir la résistance contre les pathogènes [29].

Cependant, plusieurs travaux estiment que son application a un effet suppressif de nombreux agents pathogènes tels que le mildiou de la pomme de terre [23 ; 24 ; 32 ; 151], la pourriture sèche, la gale commune, et l'alternariose [24 ; 29 ; 151], et certains agents telluriques comme : *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Plectosporium* et *Verticillium* significativement dans les champs et dans la serre [34].

Autres études, montrent qu'il peut également supprimer des arthropodes tels que les chenilles processionnaires : y compris celles de chou, certains lépidoptères de la tomate, les coléoptères de concombre, aussi bien que les cochenilles, les araignées (*Tetranychus urticae*) et les aphides [152]. Pour ces derniers, l'effet suppressif est particulièrement important, puisqu'ils constituent des vecteurs de virus de plantes [34].

Qamar (2003) [153], a remarqué une efficacité de suppression des populations de *Myzus persicae* qui est le vecteur principal du PVY.

Selon les résultats de l'étude réalisée par Chamel et Gambonnet (1980), l'utilisation du lombricompost par pulvérisation foliaire sur des plants de fèves a conduit une forte diminution des densités des formes biologiques du puceron noir de la fève *Aphis fabae*, surtout la dilution du 10% [153].

Plusieurs mécanismes sont responsables de l'effet suppressif [125]. Toutefois, il existe différentes observations qui favorisent la voie de la nature microbienne, le mécanisme d'induction de résistance et l'effet antibiotique [151 ; 155].

Cependant, Brinton et William (1995), indiquent que le thé du vermicompost contient des microorganismes tels que des bactéries (Bacilles), des levures (*Sporobolomyces* et *Cryptococcus*) et des moisissures, et également des antagonistes chimiques tels que les phénols et les acides aminés [125].

Singh *et al.* (2003), ont prouvés que les extraits aqueux du vermicompost ont empêché la germination des spores de plusieurs champignons à faibles concentrations (0,001-0,5%) en induisant la synthèse des acides phénoliques ce qui développe la résistance des plantes contre les maladies [156].

Mistry et Mukherjee (2015), déclarent que les réponses des plantes peuvent être dues à la production de l'Acide Indole Acétique (AIA), la kinétine, ou les gibbérellines liées aux acides humiques et fulviques agissant également en tant que régulateurs de croissance [34].

Deepthi et Reddy (2013), attestent que les thés de compost fournissent des quantités significatives des nutriments aux plantes. Le fer affecte la Résistance Systémique Acquise (SAR) induite par les rhizobactéries. L'effet de fertilité des composts sur la sévérité de la maladie peut être significatif et devrait être pris en considération par son rôle dans l'induction de la SAR. À ce sujet, des chercheurs ont montré qu'il y a une différence dans le mode de l'établissement de la SAR par les produits chimiques synthétiques, par les agents biologiques et par les matières organiques (compost) [29].

War *et al.*, 2012 indiquent que les quinones, formés par oxydation des phénols, lient en covalence les protéines des feuilles, et inhibent la digestion de protéine par l'insecte [157]. Cependant, l'activité phago-dissuadante de certains phénols et flavonoïdes sur *M. persicae* est bien établie [158].

3.4. Estimation du rendement en tubercules

3.4.1. Résultats

L'estimation du rendement moyen, en tubercules récoltés, dans chaque micro-parcelle et pour chaque traitement appliqué (Figure 3.5), nous a permis d'enregistrer un rendement moyen de (152,17 qx/ha) obtenu par les plants témoins non traités (D_0), tandis que les plants traités par la (D_1) ont donné un rendement moyen de (153,67 qx/ha), alors que le meilleur rendement moyen est de (236,17 qx/ha) lorsque la dose est maximale (D_2).

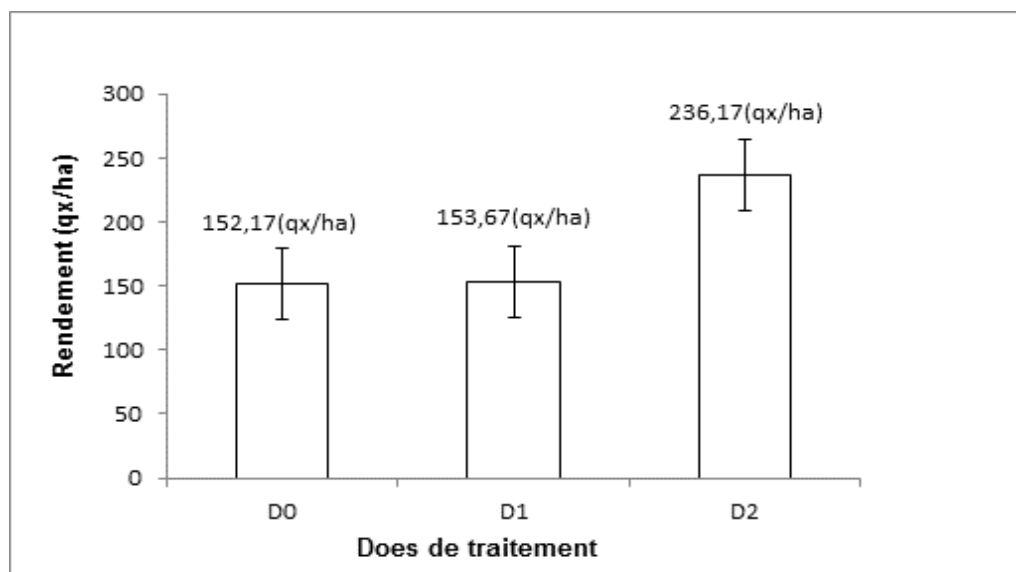


Figure 3.5 : Rendement obtenu en fonction de la dose de traitement appliqué.

L'analyse statistique (ANOVA) réalisée indique une différence hautement significative ($p\text{-value} = 0,002 \leq 0,05$) (Appendice I) entre le rendement donné par les plants témoins (D_0) et celui obtenu par les plants issus des micro-parcelles traitées avec la (D_1) et la (D_2).

Le rendement obtenu par les plants de pomme de terre traités par la dose (D_2) a augmenté significativement avec un taux de variation de (35,56 %) par rapport aux plants témoins non traités (D_0), tandis que le taux de variation du rendement donné par les plants traités avec la (D_1) est de (0,97 %), soit une différence de (34,59 %) entre la dose maximale (D_2) et la demi-dose (D_1).

L'étude de la relation entre le rendement en tubercules (qx/ha), obtenu par les plants de pomme de terre cultivés, et la dose de traitement appliqué dans chaque sous-bloc nous a donné un coefficient de corrélation ($r = 0,87$). Cela signifie que le rendement augmente proportionnellement avec la dose de biofertilisant appliqué (Figure 3.6).

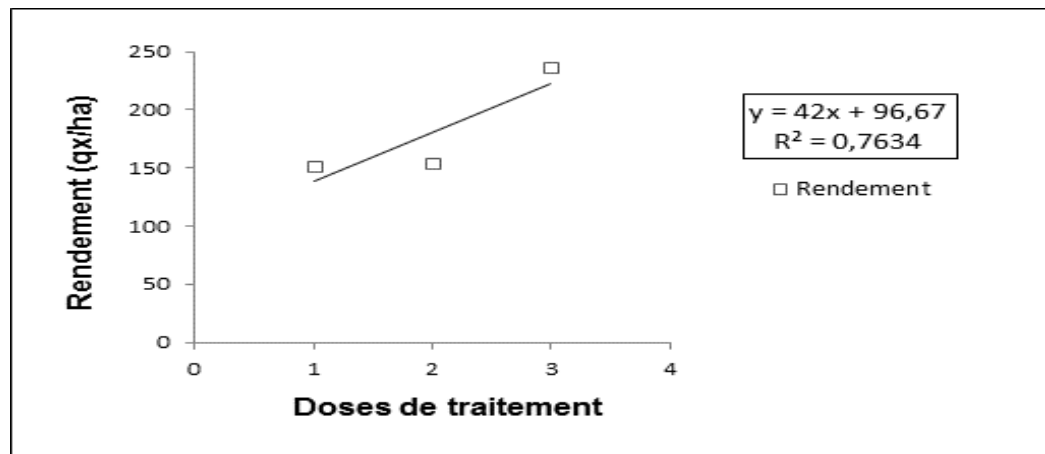


Figure 3.6 : Relation entre le Rendement (qx/ha) en tubercules et la dose de traitement.

3.4.2. Discussion

Les résultats du thé de lombricompost étudié dans ce travail montrent un effet positif, c'est la dose maximale qui a fait augmenter de plus le rendement en tubercules par rapport au témoin non traité.

Le résultat de Lamouri (2014) [8], traitant l'évaluation de l'effet de Vazyl (huile de vaseline) sur la dissémination du *PVY*, indique que le meilleur rendement en tubercules est obtenu dans les micro-parcelles traitées par la dose normale et est de (216 qx/ha) chez la variété Spunta et de (148 qx/ha) chez la variété Désirée. La comparaison des résultats, indique que le jus de lombricompost a donné un bon rendement (236 qx/ha) par rapport à celui de l'huile de vaseline.

Notre résultat s'ajoute aux nombreux travaux qui démontrent l'efficacité de la fertilisation foliaire sur la croissance, le développement et même sur le rendement des plantes [25 ; 159 ; 160 ; 161 ; 162 ; 163 ; 164].

D'autre part, le ministère de l'agriculture, de développement rural et de la pêche a déclaré, en (2012), que le rendement moyen de pomme de terre dans les

principales régions productrices en Algérie est de (370,1 qx/ha), (304,7 qx/ha), et (311,6 qx/ha) respectivement pour: El-Oued, Ain-Defla, et Mascara, sachant que le rendement total moyen en Algérie est de (304,3 qx/ha) [44].

Selon les mêmes données du ministère, dans la région d'El-Bayadh, le rendement moyen entre 2002 et 2012 est de (183 qx/ha) pour la pomme de terre cultivée en arrière-saison [44].

En se référant aux données précédentes, nous pouvons dire que l'application du thé du lombricompost a pu améliorer le rendement en tubercules obtenu dans les micro-parcelles traitées avec la (D₂), non seulement par rapport aux plants témoins, mais également par rapport au rendement moyen de la région obtenu durant la période (2002-2012).

Il est à noter que, dans notre cas, aucun fertilisant ou traitement insecticide (chimique ou même biologique) n'a été appliqué, donc, les résultats obtenus sont absolument liés à l'effet du jus de vermicompost.

Cette amélioration nette du rendement peut être accordée à la richesse du jus de vermicompost en éléments fertilisants, qui changent selon les substrats à partir desquels le compost est préparé, pouvant promouvoir la croissance des plantes tels que les acides humiques, acides fulviques et autres acides organiques, également des phytohormones comme les auxines et les cytokinines [29 ; 33], ces éléments peuvent influencer l'état physiologique de la plante et assurer une bonne nutrition minérale foliaire ce qui se répercute sur le rendement, et entraîne une meilleure résistance aux infections.

Larbi, (2006), indique que l'effet des acides humiques du compost sur la croissance pourrait être dû entre autre à une amélioration de la disponibilité de la plupart des oligoéléments nutritifs. Les raisons de l'effet bénéfique des substances humiques sur la croissance des plantes se divisent en (2) classes : les effets directs (influence de la perméabilité des membranes, stimulation de la synthèse des protéines, effet hormonal, accroissement de la photosynthèse, influence des activités enzymatiques) et les effets indirects (solubilisation des oligoéléments, réduction de la toxicité de certaines molécules, stimulation de l'activité microbienne) [151].

3.5. Analyse immuno-enzymatique (DAS-ELISA)

Les plaques ELISA incubées à température ambiante pendant une heure après le dépôt du substrat, pour suivre l'évolution des réactions enzymatiques. Dès le dépôt du substrat de l'enzyme, les échantillons testés correspondant à ceux traités par la D₂ ont réagi par l'apparition de la couleur jaune (Appendice H).

3.5.1. Résultats de la lecture de la densité optique

Les plaques de microtitration ont été mises dans un lecteur ELISA afin d'obtenir les densités optiques (DO)s (Appendice H) de l'ensemble des échantillons testés, qui permettent la localisation des plants infectés dans chaque bloc et pour chaque dose appliquée (D₁, D₂) (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Localisation des plants infectés dans la parcelle.

BLOC1	D2	D0			D1	N
	-	-	+	-	-	
BLOC2	D1	D2			D0	N
	+	+	-	-	+	
BLOC3	D0	D1			D2	N
	-	+	-	+	+	

+	Échantillons positifs
-	Échantillons négatifs

3.5.2. Résultats de l'estimation du taux d'infection des plants par le PVY

L'estimation du taux d'infection des plants de pomme de terre, dans chaque micro-parcelle (Figure 3.7), nous a permis d'enregistrer un taux d'infection de (44%) des plants témoins non traités (D₀), tandis que le taux d'infection des plants traités par la (D₁) est de (88 %), alors que le taux d'infection est de (77 %) lorsque la dose est maximale (D₂).

Selon nos résultats, le taux d'infection des tubercules issus des plants de pomme de terre traités par (D₂ et D₁) a diminué par rapport aux plants témoins non traités (D₀) (Figure 3.8). Cependant les résultats montrent que tous les échantillons traités sont négatifs, le taux d'infection est de (0 %) par contre pour les témoins le taux d'infection avait atteint (100 %), où nous avons remarqué que tous les échantillons sont positifs.

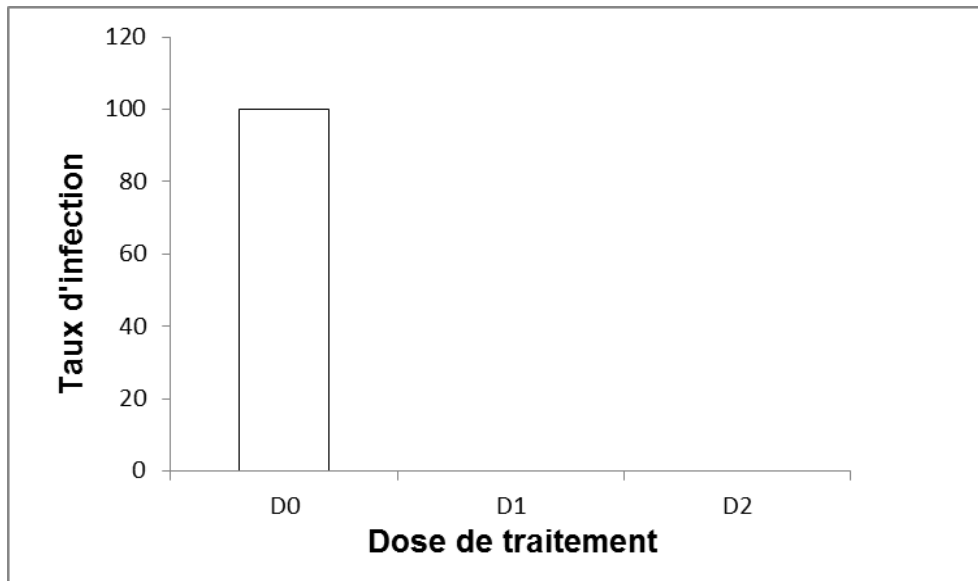


Figure 3.7 : Taux d'infection des tubercules en fonction de la dose du biofertilisant.

L'analyse statistique (ANOVA) réalisée indique une différence très hautement significative ($p\text{-value} = 0,000 \leq 0,05$) (Appendice I) entre le taux d'infection des tubercules issus des plants témoins (D_0) et celui des tubercules issus des plants traitées avec la (D_1) et la (D_2).

L'étude de la relation entre le taux d'infection (%) des tubercules de pomme de terre récoltée, et la dose de traitement appliqué dans chaque sous-bloc nous a donné un coefficient de corrélation ($r = 0,86$) (Figure 3.8). Cela signifie que le taux d'infection diminue proportionnellement avec la dose de biofertilisant appliqué.

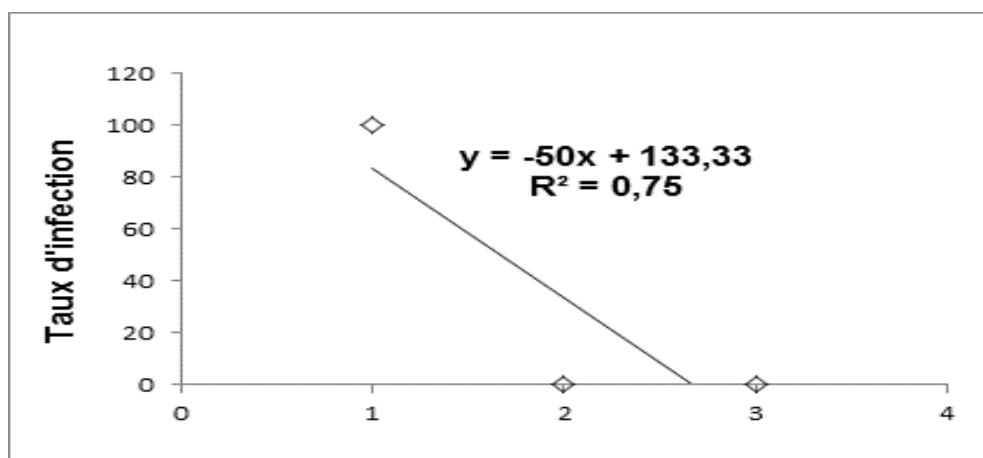


Figure 3.8 : Relation entre le taux d'infection (%) des tubercules et la dose de traitement.

3.5.3. Discussion

Le mode de transmission par puceron, selon le mode non-persistant, du *PVY* facilite largement sa dissémination dans les cultures et rend la lutte difficile.

Lors de la recherche de nouvelles plantes-hôtes, les aphides peuvent transmettre les virus. Selon Boquel *et al.*, (2011), il est suggéré qu'en absence des aphides colonisateurs de pomme de terre, ceux non-colonisateurs, massivement capturés, puissent également assurer la dissémination des virus [165].

Toutes les investigations considèrent *M. persicae* comme le vecteur le plus efficace du *PLRV*, du *PVY* et du *PVS* [147 ; 165 ; 166]. D'autres espèces sont relativement moins efficaces. Cependant, *A. nasturtii*, *M. euphorbiae* et *A. solani*, ne devraient pas être exclues, en dépit de leur basse efficacité de transmission, puisqu'elles peuvent être responsables de la dispersion du *PVY* [147].

Le test immuno-enzymatique révèle que le taux d'infection des échantillons testés est plus élevé chez les plants traités avec la (D_1) suivi par ceux traités avec la (D_2), alors que les plants témoins montrent le taux d'infection le plus faible. Cela peut être attribué à la disposition des sous-blocs, les plants témoins (D_0) sont localisés à la périphérie en absence de végétation. Alors que les plants traités avec la (D_2 et D_1) sont entourés par des solanacées (Tomates et Pomme de terre) et par les arbres fruitiers tels que le pêcher. Ce dernier est considéré comme hôte primaire de *M. persicae*. Sachant que ces cultures ne sont pas traitées par les insecticides.

Chez les tubercules récoltés et cultivés pour le test de pré-culture, les résultats de la DAS-ELISA ont confirmé la présence du *PVY* dans les micro-parcelles témoins. Cependant, nous avons remarqué que l'application du jus de vermicompost a permis de réduire le taux d'infection des plants traités avec respectivement (D_1 et D_2), dont l'analyse par la DAS-ELISA a montré que les échantillons issus des plants témoins (D_0) étaient tous positifs, alors que les échantillons issus des plants traités ont répondu négativement.

En se référant aux résultats précédents qui montrent l'effet positif du jus de vermicompost sur le nombre de pucerons, nous supposons que la diminution du taux d'infection des plants peut être attribuée à la réduction de la densité des

vecteurs et par conséquent sur la transmission non-persistante du *PVY* d'un plant à un autre dans la même parcelle, et que l'infection des plants a pour origine la semence de pomme de terre plantée au départ, appartenant à la classe E (Élite), et qui, selon les normes européennes [167], les conditions minimales auxquelles doit satisfaire la culture en (%) de tous virus sont de (0,5-0,8%).

Notre résultat est identique à celui obtenu par Lamouri en 2014 [8], où l'usage de l'huile de vaseline a réduit l'infection dans les parcelles traitées d'environ 85 %.

3.6. Discussion générale

Les plantes cultivées sont sujettes à plusieurs ennemis qui provoquent des dégâts engendrant des pertes énormes pouvant diminuer les rendements des cultures et rendre difficile la gestion des ressources alimentaires des populations.

Les défenses induites et la perception des bioagresseurs, sont des moyens qui permettent d'atténuer ces problèmes. Malgré cela, la nécessité d'appliquer les différents produits phytopharmaceutiques reste un outil incontournable dans cette situation, qui n'est plus un moyen efficace pour assurer une protection durable.

Le recours aux biostimulants et aux biofertilisants naturels constitue une voie qui pourrait remplacer la lutte chimique contre les ennemis des cultures. Dans cette stratégie se trouvent les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN), une solution qui peut être intéressante dans l'avenir sur les plans scientifiques et agronomiques [168].

Les résultats obtenus dans notre étude en traitant l'évaluation de l'effet d'un biofertilisant sur la dissémination du *PVY* dans un champs cultivé de pomme de terre nous ont permis de dégager certaines hypothèses : la réduction de la densité des populations de pucerons vecteurs de virus, l'amélioration du rendement et la diminution du taux d'infection des tubercules de pomme de terre.

La richesse du jus de vermicompost en éléments fertilisants a permis une bonne nutrition minérale des plants par la voie foliaire, justifiant l'augmentation du rendement en tubercules.

Nos résultats indiquent la présence des pucerons-vecteurs *M. persicae* A. *nasturtii* et *A. gossypii* pendant une période allant de (Octobre-Novembre 2015), ce qui justifie la présence du *PVY* dans les plants de pomme de terre et l'augmentation du taux d'infection à la fin du cycle et des plants témoins issus du test de pré-culture. Ce résultat a été approuvé par le test DAS-ELISA. Donc selon ces données nous pouvons dire que l'origine de l'infection des plants est la présence du *PVY* dans les tubercules de départ, et que le rôle des pucerons est la dissémination du virus dans la parcelle d'un plant à un autre. Donc, en ce qui concerne l'absence du virus dans les tubercules issus des plants traités, cela peut être expliqué par le fait que le test ELISA ne le détecte pas si sa charge est très

faible, donc pour estimer le titre du virus il serait nécessaire de l'identifier par le test moléculaire.

Scheuerell et Mahaffee (2002), montrent que l'efficacité des composts et des extraits varie beaucoup en fonction du compost et du pathosystème [23].

Toutefois, les résultats obtenus dans notre travail sont prometteurs et indiquent que le thé du vermicompost appliqué sur les plants de pomme de terre a pu influencer la densité des pucerons-vecteurs de virus, le taux d'infection par le PVY ainsi que le rendement en tubercules, avec une application réalisée tous les 15 jours. Nos résultats sont comparables avec ceux obtenus par Tsrer et Bieche, (1998) cité par Larbi (2006), avec une application hebdomadaire (7 jours) d'extrait de compost de fumier de mouton sur des tomates qui a permis non seulement de réduire l'attaque d'*Alternaria solani*, mais aussi d'augmenter le rendement de la récolte [151].

Selon les résultats obtenus par les différents chercheurs, les mécanismes mis en jeu peuvent être soit une concurrence directe pour la place et les nutriments, soit un mécanisme d'induction de la résistance de la plante, soit une production des antibiotiques [151].

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Notre travail s'intègre dans le cadre de la lutte contre les maladies des plantes tout en utilisant des moyens respectueux de l'environnement et de la santé humaine, et ceci à travers l'exploitation des produits naturels tels que le thé de vermicompost, appliqué dans notre cas par pulvérisation foliaire, sur les plants de pomme terre dans le but de lutter contre les pucerons-vecteurs du *PVY*.

Les résidus de cultures et les déchets végétaux sont des matières organiques pouvant être exploitées en agriculture. De nombreux procédés, de plus en plus efficaces permettant de les valoriser tels que le vermicompostage. Ce dernier permet à la fois d'obtenir du vermicompost utilisé comme fertilisant du sol, ainsi que du jus de vermicompost, utilisé pour le traitement foliaire des plantes, ce qui leur permet de développer certaines réponses défensives contre leurs ennemis.

Ce travail en présente l'un des procédés de valorisation des déchets par la lombriculture, dont l'objectif est de déterminer l'effet répressif du thé de lombricompost sur l'évolution des populations de pucerons-vecteurs du virus *Y* de la pomme de terre, et d'autre part de vérifier le taux d'infection, des plants traités, par le *PVY*, et ceci à travers la réalisation du test DAS-ELISA.

Les effets de l'application du jus étudiés dans notre expérimentation indiquent que le thé a eu un effet bénéfique sur le rendement de la culture, et un effet répressif sur le nombre d'individus de pucerons piégés, se traduisant par la diminution du taux d'infection des plants de pomme de terre par le *PVY*.

Les observations sur la culture, montrent que le meilleur rendement en tubercules a été obtenu avec la dose maximale (D_2) (236,17 qx/ha). Cela est dû à l'effet du thé du vermicompost par l'apport d'éléments nutritifs nécessaires à la croissance et le développement physiologique des végétaux. Le rendement le plus faible (152, 17 qx/ha) étant obtenu par les plants témoins (D_0).

La diminution du taux d'infection par le *PVY*, des plants de pomme de terre, est significative pour les plants traités par la (D_1) et la (D_2), elle est associée à la réduction des populations de pucerons-vecteurs du *PVY*.

Ce travail s'ajoute aux différents essais expérimentaux menés auparavant qui ont pu montrer que le thé du vermicompost considéré comme fertilisant des sols et permettant d'améliorer les productions végétales. Sa valeur agronomique se manifeste également dans son aptitude à déclencher des réponses défensives chez les plantes cultivées.

Les résultats obtenus dans ce travail sont prometteurs et permettent d'établir des recommandations visant à encourager et à élargir l'emploi des extraits du vermicompost dans le domaine agricole, pour améliorer la productivité des cultures et pour atténuer les problèmes liés à la nutrition minérales des plantes. Par leur richesse en matières organiques, ces extraits peuvent contribuer à la gestion de la fertilité des sols et par conséquents à la diminution de l'emploi des produits chimiques.

Ce sont certainement des expérimentations diverses qui doivent être continuées afin d'aboutir à des résultats complets et indiquant que le vermicompost et son jus ont une importance non négligeable, qu'ils constituent une alternative incontournable permettant d'augmenter les productions agricoles pour répondre aux besoins du consommateur, et qu'ils méritent d'être pris en compte par les responsables de la gestion et de la protection de l'environnement.

À la suite de ces résultats encourageants, des études plus approfondies dans ce domaine sont nécessaires afin de mieux caractériser la composition du vermicompost et son effet sur les interactions plantes-pathogènes au niveau de la phyllosphère, et pour la détermination de la dose efficace permettant de contrer les vecteurs responsables à la transmission et la dissémination des virus.

Nous suggérons également que c'est par cette voie que nous pourrons mettre en place des méthodes de production et de protection stables, économiquement rentables et respectueuses de l'environnement.

APPENDICES

Appendice A

Liste des symboles et abréviations

%	Pourcentage
°C	Degré Celsius
A	Automne
ARN	Acide désoxyribonucléique
cm	Centimètre
E	Été
E	Élite
ELISA	Enzyme Linked Immuno-Sorbent Assay
f.sp	Forme spéciale
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of The United Nations</i>
G	Grossissement
H	Hivers
h	Heure
ha	Hectare
I	Indice d'aridité
kb	kilo base
m	Mètre
M	moyenne des maximums du mois le plus chaud
m	moyenne des minimums du mois le plus froid
mm	Millimètre
nm	Nanomètre
P	moyenne des précipitations annuelles
P	Printemps
pH	potentiel hydrogène
PVY	<i>Potato Virus Y</i>
Q ₂	quotient pluviothermique de STEWART
Qx	Quintaux
s	Seconde
V	Vitesse du vent

Appendice B

Données climatiques (1970-2000) de la région d'El-Bayadh

Mois \ Paramètres	P (mm)	T (°C)
Janvier	27.25	4.59
Février	22.91	6.25
Mars	34.26	8.34
Avril	28.49	11.45
Mai	32.11	16.29
Juin	18.73	22.41
Juillet	4.98	26.39
Aout	9.75	25.92
Septembre	21.95	21.32
Octobre	21.82	14.75
Novembre	29.5	9.21
Décembre	22.5	5.5
Cumul	274.25	-

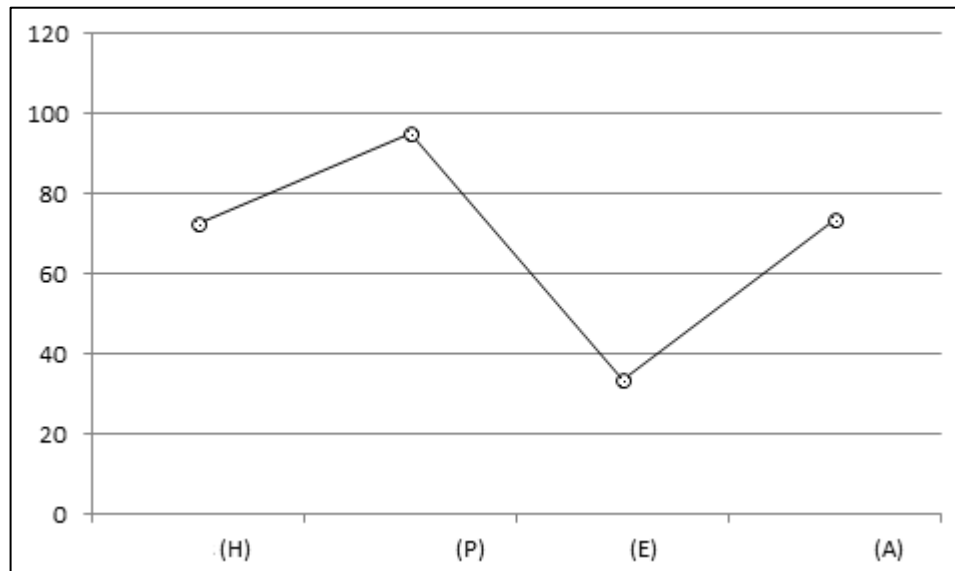
Appendice C

Données climatiques de la région d'El-Bayadh (1970-2000)

Il est de type (P.A.H.E)

	H	P	E	A
Régime saisonnier	72.7	94.9	33.5	73.4
Q2	27.187			
M (°C)	33.59			
m (°C)	-0.2			

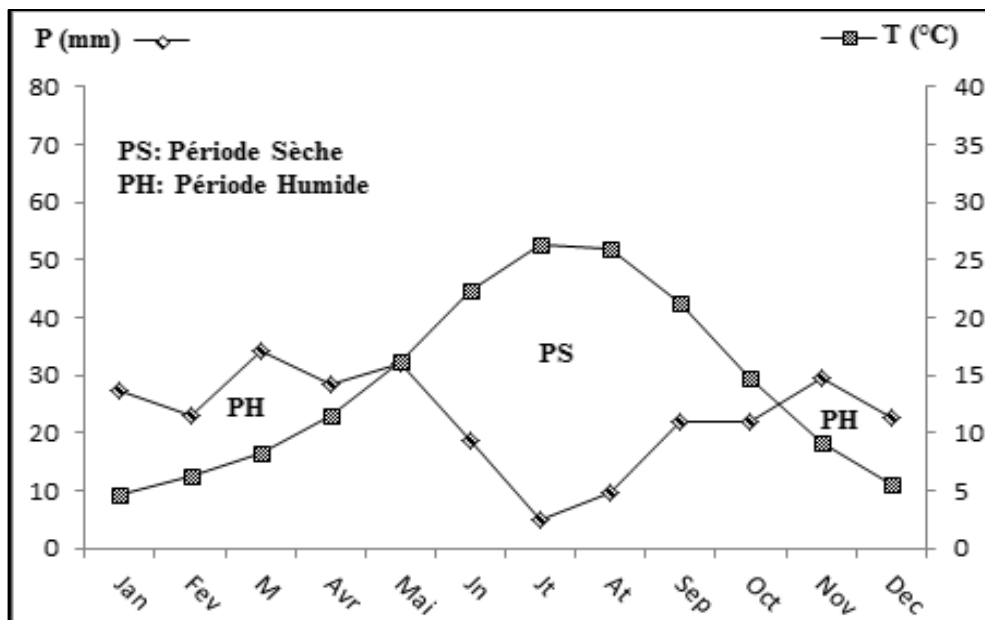
Régime saisonnier de la région d'El-Bayadh



Appendice D

Diagramme Ombrothermique de Gausсен et Bagnouls de région d'El-Bayadh (1970-2000)

Pour Gausсен, un mois est «sec» si le quotient des précipitations mensuelles P exprimées en mm, par la température moyenne T exprimée en °C, est inférieur à 2 ($P \leq 2T$). La présentation sur un même graphique des températures et des précipitations moyennes mensuelles avec en abscisse les mois permet d'obtenir le diagramme Ombrothermique (Voir figure 8) qui met immédiatement en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses (Guyot, 1999).



Appendice E

Indice d'aridité de la région d'El-Bayadh

Selon Guyot (1999), le facteur de pluie de long a été modifié par De Martonne en 1923, de manière à éviter d'avoir des valeurs négatives lorsque la température moyenne de l'air est inférieure à 0 °C. Cet indice est fonction des températures et des précipitations ; il est calculé par la formule Suivante :

$$I = P / (T + 10)$$

Où

I : indice d'aridité.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C.

D'après De Martonne, Suivant les valeurs de (I) obtenues nous pouvons établir la classification suivante :

- Le climat très sec ($I < 10$) ;
- Le climat sec ($10 < I < 20$),
- un climat humide ($20 < I < 30$) ;
- Le climat très humide ($I > 30$).

Après avoir calculé l'Indice d'aridité pour la région d'El-Bayadh, nous avons obtenu la valeur suivante ($I = 274,25 / (33,75 + 10) = 10,27$), qui nous permet de classer cette région comme région à climat sec.

Appendice F

Climagramme pluviométrique d'Emberger de la région d'El-Bayadh (1970-2000)

Selon Prévost (1999), le Climagramme d'EMBERGER permet de connaître l'étage bioclimatique d'une région. Il représente en abscisse la moyenne des minima des températures du mois le plus froid et en ordonnées le quotient pluviothermique « Q2 » d'Emberger. Dans notre cas, nous avons utilisé la formule de STEWART (1969) adaptée pour l'Algérie qui se présente comme suit :

$$Q_2 = 3,43 \times [P / (M - m)]$$

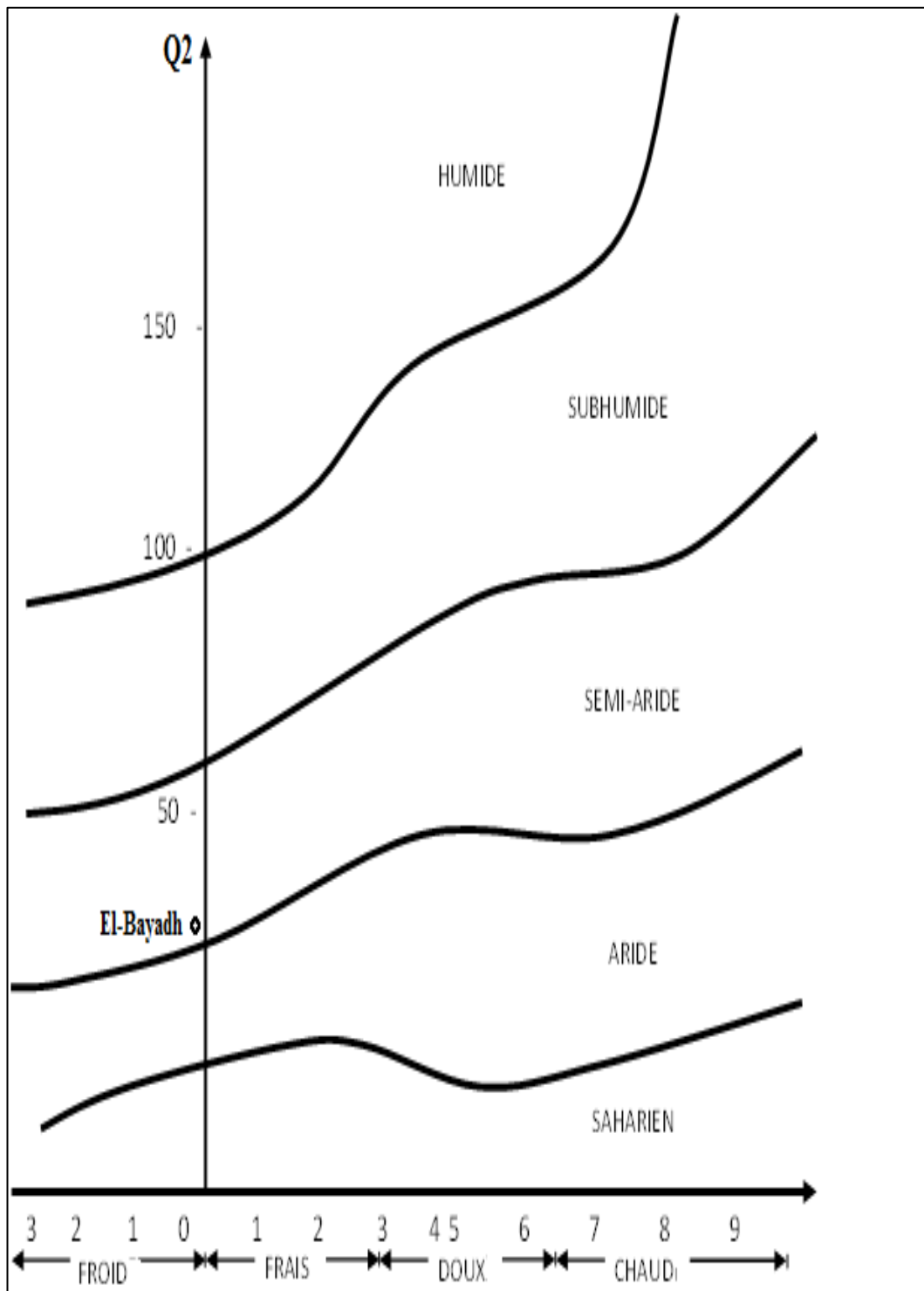
Q_2 : quotient pluviothermique de STEWART ;

P : moyenne des précipitations annuelles en (mm) ;

M : moyenne des maximums du mois le plus chaud en °C. M= 33,59°C.

m : moyenne des minimums du mois le plus froid en °C.

Le calcul de l'indice selon la formule de Stewart pour la période (1970-2000) nous a permis d'obtenir une valeur de 27,187 ; avec une température minimale (m) de -0,2 C°, nous pouvons donc classer la région d'El-Bayadh dans l'étage bioclimatique saharien, variante à hiver frais.



Appendice G

Données climatiques (2014) de la région d'El-Bayadh

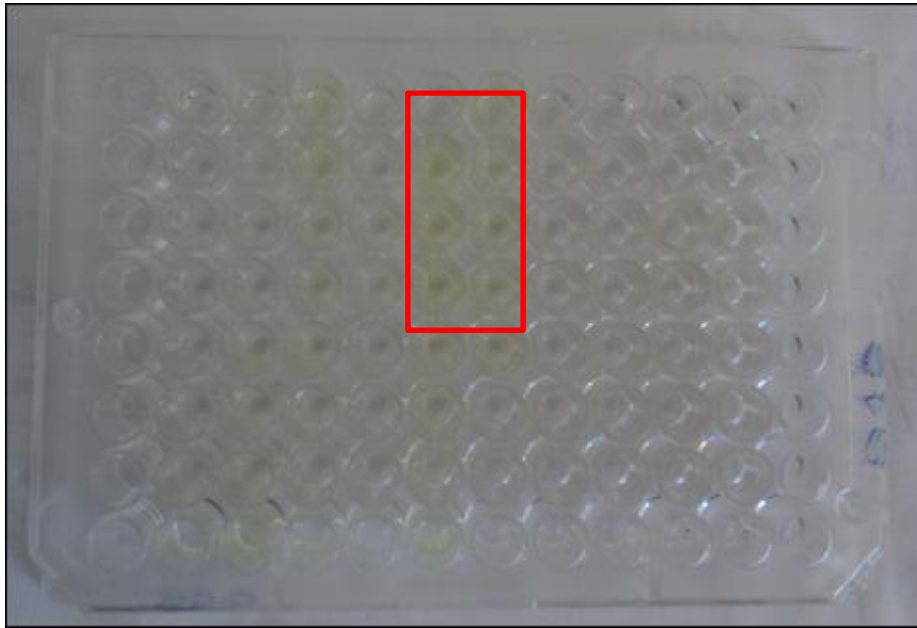
	P(mm)	m (°C)	M (°C)	Moy (°C)	V (m/s)	Insolation (h/jrs)	Gelée (jrs)
Jan.	27	1,4	10,9	6,15	2,9	136	11
Fév.	30	2,1	12,3	7,2	3,7	177	7
Mars	34	3	13,5	8,25	3,8	220	8
Avr.	8	1,9	22	12	2,8	199	0
Mai	36	12,8	26,9	19,85	2,9	328	0
Jn.	11	15,5	28,9	22,2	3,4	327	0
Jt.	5	20,2	35,2	27,7	2,7	320	0
At.	15	20,7	34,9	27,8	2,6	298	0
Sep.	15	17,3	29,5	23,4	3,4	221	0
Oct.	6	12	24	18	2,7	252	0
Nov.	85	7,1	15,1	11	4,2	122	0
Déc.	43	0,8	8,4	4,6	2,4	125	12
Cumul	315	-	-	-	-	-	-
Moy	-	9,567	21,8	15,68	3,125	-	-

Données climatiques (2015) de la région d'El-Bayadh (- données manquantes)

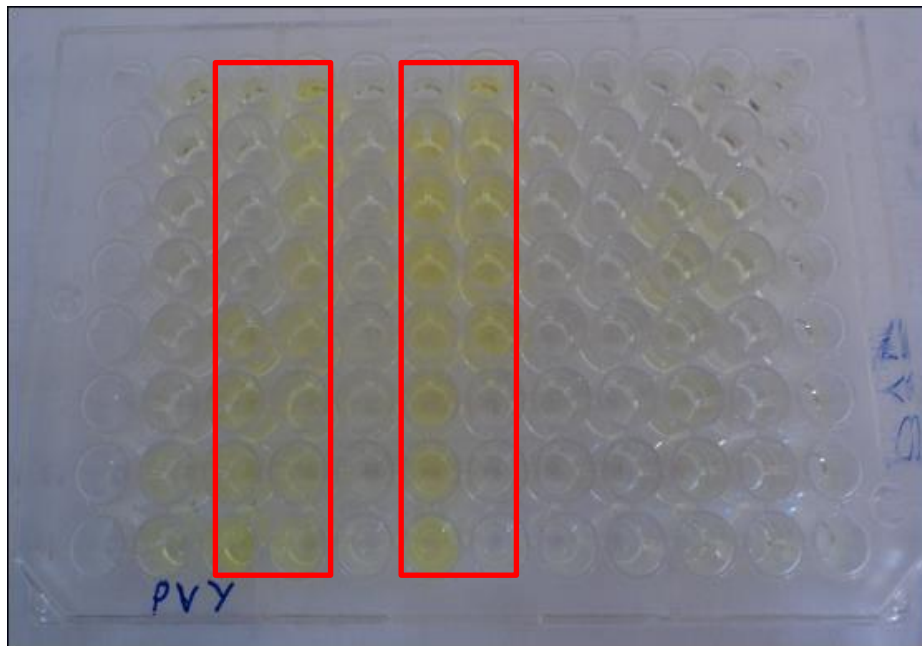
	P(mm)	m (°C)	M (°C)	Moy (°C)	V (m/s)	Insolation (jrs)	Gelée (jrs)
Jan.	25	-0,5	9,8	4,65	2,7	164	19
Fév.	26	0	8,2	4,1	3,7	138	11
Mars	14	2,7	15,5	9,1	2,1	276	13
Avr.	1	10,5	23,6	17,1	-	279	0
Mai	25	13,5	27,7	20,6	-	273	0
Jn.	6	14,9	29,1	22	-	317	0
Jt.	2	20,5	34,9	27,7	-	348	0
At.	41	19,9	32,9	26,4	-	246	0
Sep.	38	15,7	28,5	22,1	-	257	0
Oct.	51	11,6	21,9	16,8	-	253	0
Nov.	9	3,4	16	9,7	-	248	15
Déc.	0,3	1,4	14,6	8	2	243	19
Cumul	238,3	-	-	-	-	-	-
Moy	-				-	-	-

Appendice H

Plaques ELISA après 5mn d'incubation à température ambiante



Plaques ELISA après 1h d'incubation à température ambiante



Résultats de l'analyse immuno-enzymatique

Traitement	Dosage immuno-enzymatique		Traitement	Dosage immuno-enzymatique	
	DO	Observation		DO	Observation
D ₀	-0.018	-	D ₂	0.834	+1
	-0.066	-		0.850	+1
	-0.033	-		0.889	+1
	-0.029	-		0.834	+1
	0.031	-		0.738	+1
	-0.013	-		0.801	+1
	0.456	+1		0.918	+1
	0.414	+1		1.055	+1
	0.201	+1		0.897	+1
	0.166	+1		0.894	+1
	0.080	-		0.975	+1
	0.075	-		0.937	+1
	0.088	-		-0.014	-
	0.050	-		0.005	-
	0.351	+1		0.033	-
	0.360	+1		0.068	-
	0.020	-		0.030	-
	-0.026	-		0.031	-
	0.029	-		-0.008	-
	0.083	-		-0.020	-
D ₁	0.138	+1	-0.046	-	
	0.197	+1	-0.017	-	
	0.298	+1	-0.019	-	
	-0.005	-	0.007	-	
	-0.011	-	-0.024	-	
	-0.013	-	-0.022	-	
	0.646	+1	-0.014	-	
	0.474	+1	-	Négatif	
	0.541	+1	+1	Positif	
	0.634	+1			
	0.892	+1			
	0.763	+1			
	0.524	+1			
	0.659	+1			
	0.652	+1			
	0.184	+1			
	0.470	+1			
0.527	+1				
0.047	-				
	0.010	-			
	0.016	-			
	0.086	-			
	0.092	-			
	0.044	-			
	0.003	-			
	0.025	-			
	0.023	-			

Appendice I

Moyennes du rendement (qx/ha) en tubercules des micro-parcelles

	Témoin (D ₀)	Traitement 1 (D ₁)	Traitement 2 (D ₂)
Bloc 1	152	124	268,5
Bloc 2	173,5	159,5	241,5
Bloc 3	131	177,5	198,5
Moyenne	152,17	153,67	236,17

Analyse statistique (ANOVA) de l'effet du traitement sur le rendement en tubercules

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	P
Inter-groupes	4621,500	2	2310,750	,002
Intra-groupes		0		,000
	4621,500	2		

Moyennes du taux d'infection (%) des tubercules cultivés

	MOYENNE			
BLOC1	% D ₂	% D ₀	% D ₁	% D ₀
	100 %	33 %	100 %	44 %
BLOC2	% D ₁	% D ₂	% D ₀	% D ₁
	100 %	33 %	66 %	88 %
BLOC3	% D ₀	% D ₁	% D ₂	% D ₂
	33 %	66 %	100 %	77 %

Taux d'infection (%) des tubercules récoltés (test de pré-culture)

Dose de traitement	Moyenne taux d'infection
D ₀	100 %
D ₁	0 %
D ₂	0 %

Analyse statistique (ANOVA) de l'effet du traitement sur le taux d'infection des plants par le PVY

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	P
Inter-groupes	4621,500	2	2310,750	,000
Intra-groupes		0		,000
	4621,500	2		

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

1. Islam, A. K. M. S. ; Akanda, A. M. Wazed, M. A.; Chewdhery, M. R. A. and Rahman, M. J. «Performance of fifth generation seed potato against *Potato virus Y* (PVY) », Scholarly Journal of Agricultural Science, 4(2), (2014), 74-81.
2. Nouri-Ellouz, O. ; Gargouri-Bouzidb, R. ; Sihachakrc, D. ; Trikid, M.A. ; Ducreux, G. ; Driraf, N. and Lakhouag. L. "Production of potato intraspecific somatic hybrids with improved tolerance to PVY and *Pythium aphanidermatum*", J. Plant Physiol., 163, (2006), 1321-1332.
3. Ahmed, R.Z. ; Ibrahim, I.A.M. ; Hassan, H.M.S. and El-Wakil, D.A. «Incidence of virus Y Strains and Effect of Infection on the Productivity of Potato Tubers». J. Agricul. Vet. Sci., 2 (4), (2013), 58-64.
4. Girousse, Ch. ; Moulia, B. ; Silk, W. and Bonnemain, J.L. "Aphid infestation causes different changes in carbon and nitrogen allocation in Alfalfa stems as well as different inhibitions of longitudinal and radial expansion", Plant Physiol., 137, (2005), 1474-1484.
5. Pegadaraju, V., Knepper, C., Reese, J. and Shah, J. "Premature leaf senescence modulated by the Arabidopsis PHYTOALEXIN DEFICIENT4 gene is associated with defense against the phloem-feeding peach aphid", Plant Physiol., 139, (2005), 1927-1934.
6. Chikh-Ali, M. ; Rowley, J.S. ; Kuhl, J. «Evidence of a monogenic nature of the Nz gene conferring resistance against *Potato Virus Y* strain Z (PVY^Z) in potato», Am. J. Potato Res., 91, (2014), 649-654.
7. Chaïch, Kh. "Maladies à virus des solanacées maraîchères, inventaire, caractérisation et préparation de sérum spécifique", Mém. Ing. I.N.S.A, Alger, (1986), 50 p.
8. Lamouri, F. «Essai d'efficacité des huiles minérales pour lutter contre la dissémination du virus Y de la pomme de terre», Mém. Mast. Univ. Blida 1, (2014), 70 p.

9. Rashid, T. ; Chen, J. ; and McLeod, P. "Toxicity of newly isolated piperidine alkaloids from the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren, against the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer)", *Adv. Entomol.*, 1(2), (2013),20-23.
10. Yattara, N. «Étude des relations pucerons-virus en pomme de terre et perspectives de stratégies alternatives de lutte», Th. Doc. Univ. Liège-Gembloux Agro-Bio Tech, (2013), 114 p.
11. Boiteau, G. «État de la lutte dirigée contre les insectes ravageurs en production biologique de pommes de terre», *Cahiers Agricul.*, 17 (4), (2008), 382-387.
12. Noronha, Ch. ; Vernon, R.S. et Vincent, Ch. «Les insectes ravageurs importants de la pomme de terre au Canada», *Cahiers Agricul.*, 17 (4), (2008), 375-381.
13. Le Roux, V. ; Campan, E.D.M. ; Dubois, F. ; Vincent, C. & Giordanengo, P. "Screening for resistance against *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* among wild *Solanum*", *Ann. App. Biol.*, 151, (2007), 83-88.
14. Pépin, G. «Résistance au virus Y de la pomme de terre (*PVY*) chez des lignées transgéniques de pomme de terre exprimant un inhibiteur de protéases de type cystéine», *Mém. Maître-ès Sci.*, Univ. Laval, Québec, (2004), 93 p.
15. Ben Halima-Kamel, M. et Ben Hamouda, M.H. «Les pucerons des cultures protégées en Tunisie et leurs ennemies», *Tropicultura*, 11 (2), (1993), 50-53.
16. Zia-Ur-Rahman, M. ; Usman Zafar, A. ; Ahmad Nasir, I. and Riazudin, Sh. "Comparative study of *Bacillus thuringiensis* biopesticides against cotton bollworms", 1(1), *As. J. Plant Sci.*, (2002), 574-576.
17. Bonnemain, J.L. ; et Chollet, J.F. "L'arsenal phytosanitaire face aux ennemis des plantes. Considérations générales", *C. R. Bio.*, 326, (2003), 1-7.
18. El Guilli, " Biopesticides : Alternatives à la lutte chimique", *Agri. Du. Med.*, (2009), 266-280.
19. Yovo, K. "Consentement à payer les biopesticides: une enquête auprès des maraîchers du littoral au sud-Togo", *Tropicultura*, (2010), 28 (2), 101-106.

20. Arora, S. ; Kanojia, A.K. ; Kumar, A. ; Mogha, N. and Sahu, N. “Biopesticide formulation to control tomato lepidopteron pest menace”, *Current Sci.*, 102 (7), (2012), 1051-1057.
21. Derval, J. ; Krier, F. ; Jacques, Ph. “Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique)”, *Biotech. Agri. Soc. Environ.*, (2014), 18 (2), 220-232.
22. Shannag, H. S. ; Capinera, J. L. and Freihat, N. M. “Efficacy of different neem-based biopesticides against green peach aphid, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae)”, *Int. J. Agricul. Policy Res.*, 2 (2), (2014), 61-68.
23. Scheuerell, S. and Mahafee, W. “Compost tea: principles and prospects for plant disease control”, *Compost Science & Utilization*, 10, (2002), 313-338.
24. Al-Mughrabi, Kh. “Antibiosis ability of aerobic compost tea against foliar and tuber potato diseases”, *Biotechnology*, 5 (1), 2006, 69-74.
25. Akanbi, W.B. ; Adebayo, T.A. ; Togun, O.A. ; Adeyeye, A.S. and Olaniran, O.A. “The Use of Compost Extract as Foliar Spray Nutrient Source and Botanical Insecticide in *Telfairia occidentalis*”, *World J. Agricul. Sci.*, 3 (5), (2007), 642-652.
26. Lanthier, M. “Compost tea and its impact on plant diseases”, *BC Organic Grower*, 10 (2), (2007), 7-11.
27. Gorakh, N. and Keshav, S. “Effect of Foliar Spray of Biopesticides and Vermiwash of Animal,-Agro and Kitchen Wastes on Soybean (*Glycine max* L.) crop”, *Bot. Res. Int.*, 4 (3), 2011, 52-57.
28. Dionne, A. ; Tweddell, R.J. ; Antoun, H. and Avis, T.J. “Effect of non-aerated compost teas on damping-off pathogens of tomato”, *Can. J. Plant Pathol.*, 34 (1), (2012), 51–57.
29. Deepthi, K. and Reddy, P. “Compost Teas. An organic source for crop disease management”, 2(1), 2013, 51-60.
30. Saberi, M. ; Askary, H. and Sarpeleh, A. “Integrated effects of wood vinegar and tea compost on root rot and vine decline and charcoal root rot diseases of muskmelon”, *Biocont, Plant Protec.*, 1 (1), 2013, 91-101.
31. Deepthi, K. and Reddy, P. “Management of leaf blight of *Chrysanthemum* with compost tea”, *SAARC J. Argi.*, 12(1), 2014, 48-61.

32. El-Mougy, N.S. ; Abdel-Kareem, F. ; Abdel-Kader, M.M. ; El-Gamaal, N.G. and Fatouh, Y.O. "Tea compost application for controlling potato late blight under field conditions", *Int. J. Eng. Inn. Tech.*, 4 (1), (2014), 306-310.
33. Khan, M-H. ; Meghvansi, M-K. ; Gupta, R. et al. «Foliar Spray with Vermiwash Modifies the Arbuscular Mycorrhizal Dependency and Nutrient Stoichiometry of Bhut Jolokia (*Capsicum assamicum*)», www.plosone.org. 9 (3), (2014), 1-8.
34. Mistry, J. and Mukherjee, S. "Vermicompost tea and its role in control of pest: A Review", *Int. J. Adv. Res. Bio. Sci.* 2(3), (2015), 111-113.
35. Rousselle, P. ; Robert, Y. et Cronsier, J-C. "La pomme de terre. Production, amélioration, ennemis et maladies", INRA, Paris, (1996), 607 p.
36. Meziane, D. "Histoire de la pomme de terre", (25), (1991), 29 p.
37. Oswaldo, T. "Hommage à la pomme de terre", Genève, (2011), 11 p.
38. Soltner, D. "Les grandes Productions végétales", Coll. Sci. & Tech. Agri., Angers, (1999), 464 p.
39. Nyabyenda, P. "Les plantes cultivées en région tropicales d'altitude d'Afrique", Lavoisier, (2005), 223p.
40. Anonyme, "Fiche technique valorisée des cultures maraîchères et Industrielles, la culture de pomme de terre", I.T.C.M.I, (2010), 10 p.
41. Anonyme, <http://faostat.fao.org>, (2015).
42. Amrar, S. " La culture de pomme de terre : Situation de la production et répartition géographique ", I.T.C.M.I, (2013), 19 p.
43. Omari, C. "La filière pomme de terre en Algérie. L'Algérie célèbre l'année internationale de la pomme de terre", (2008), 8-9.
44. Anonyme, Ministère De L'agriculture et Du Développement Rural, "Statistique agricoles", (2012).
45. Bamouh, A. "Techniques de production de la pomme de terre au Maroc", I.A.V. Hassan II, C.N.T.T.A, (1999), 4 p.
46. Agrios, G. N. "Plant pathology". 4th Ed., Aca. Press Inc., San Diego California, (1997), 635 p.
47. Hammi, A. "Caractérisation de populations de *Phytophthora infestans* (*mont.*) De Barry dans la région de Saïs", Th. Doc. Univ. Sidi Mohammed Ibn Abdallah, Fès, (2003), 272 p.

48. Montarry, J. "Réponse adaptative des populations de *Phytophthora infestans*, agent du mildiou de la pomme de terre, au déploiement en culture de son hôte *Solanum tuberosum*", Th. Doc. Univ. Rennes I / Agro campus Rennes, Vie-Agro-Santé, (2007), 177 p.
49. Anonyme. "Principales maladies, insectes et nématodes de la pomme de terre", Lima, Pérou, (1990), 95 p.
50. De Haan, E.G., Dekker-Nooren, T.C.E.M., Van den Bovenkamp, G.W., et al. "*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* can cause potato blackleg in temperate climates", Europ. J. Plant Pathol., 122, (2008), 561–569.
51. Pérombelon M. C. M, Kelman A. "Ecology of the soft rot *Erwinia*", Ann. Rev. Phytopathol., 18, (1980), 361-87.
52. Loria, R. ; Bukhalid, R. A. Fry, B.A. and King, R. R. "Plant pathogenicity in the genus *Streptomyces*", Plant Dis., 81, (1997), 836–846.
53. Lambert, D. H. and Loria, R. "*Streptomyces acidiscubres* sp." J. Sys. Bac., 3, (1989), 393-396.
54. Persly, G .J. "Bacterial wilt disease in Asia and south Pacific workshop held at PCARRD", ACIAR press, Los Banos, Philippines, (13), (1986), 145 p.
55. Hayward, A.C. "Biology and epidemiology of bacteria wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*", Ann. Rev. Phytopathol., 29, (1991), 65-87.
56. Yabuuchi, E. ; Kosako, Y. ; Oyaizu, H. et al. "Proposal of *Burkholderia* gen. nov. and transfer of seven species of the genus *Pseudomonas* homology group II to the new genus, with the type species *Burkholderia cepacia* (Palleroni & Holmes 1981) comb. nov.", Microbiol. Immuno., 36, (1992), 1251-1275.
57. Lelliott, R.A. and Stead, D.E. "Bacterial ring rot of potatoes (*Clavibacter michiganese* subsp. *sepedonicum* syn. *Corynebacterium sepedonicum*) in Methods in Plant Pathology", Blackwell Sc. Pub., (1987), 97-101.
58. Baldauf, Ph.M. "Studies on the epidemiology of potato viruses in the northeastern USA and the biology of potato virus Y". Phd. Th., Cornell Univ., (2008), 172 p.
59. Marchoux, G. ; Gognalons, P. et Sélassié, K.G. "Virus des Solanacées : Du génome viral à la protection des cultures", Quae, Paris, France, (2008), 843p.

60. Mih, M. and Atiri, G.I. "Overview of Irish potato viruses and virus diseases", *Plant Virol. Sub-Saharan Africa*, (2004), 334-341.
61. Valkonen, J-P-T. "Viruses: Economical Losses and Biotechnological Potential", In: Vreugdenhil J, eds. *Potato Biology and Biotechnology*. Elsv., New York, (2007), 619-641.
62. Dixon, A.F.G. "Aphid ecology, an optimization approach", 2nd Ed., Chapman and Hall, London, (1998), 300 p.
63. Alyokhin, A., Sewell, G., and Groden, E. "Aphid abundance and potato virus Y transmission in imidacloprid-treated potatoes", *Am. J. Potato Res.*, 79, (2002), 255–262.
64. Christelle, L. "Dynamique d'un système hôte-parasitoïde en environnement spatialement hétérogène et lutte biologique Application au puceron *Aphis gossypii* et au parasitoïde *Lysiphlebus testaceipes* en serre de melons", Th. Doc. I.S.I.V.E. Agro Paris Tech, (2007), 311 p.
65. Matthews, R.E.F. "Plant Virology", 3rd Ed., Aca. Press, San Diego, (1991), 901p.
66. Anonyme, "Profil de la culture de la pomme de terre au Canada, 2011", *Agricul. Agroalim. Canada*, (2013), 83 p.
67. Scholthof, K.B.G. ; Adkins, S. ; Czosnek, H. *et al.* "Top 10 plant viruses in molecular plant pathology", *Mol. Plant Pathol.*, 12, (2011), 938-954.
68. Chrzanowska, M. "New isolates of the necrotic strain of potato virus Y (*PVY^N*) found recently in Poland", *Potato Res.*, 34, (1991), 179–182.
69. Fauquet, C.M.; Mayo, M.A. *et al.* "Virus Taxonomy, Eighth Report of the I.C.T.V.", Elsv. Aca. Press, San Diego, CA, USA, (2005), 118 p.
70. Varma, A. ; Gibbs, A.J. ; Woods, R.D. ; and Finch J-T. "Some observations on the structure of the filamentous particles of several plant viruses", *J. Gen. Virol.*, 2, (1968), 107-114.
71. Astier, S. ; Albouy, J. ; Maury, Y. et Lecoq, H. "Principe de virologie végétale: Génome, Pouvoir pathogène, Écologie des virus", Quae, I.N.R.A, Versailles, (2001), 445 p.

72. Leonard, S. ; Viel, C. ; Beauchemin, C. *et al.* "Interaction of VPg-Pro of turnip mosaic virus with the translation initiation factor 4E and the poly (A)-binding protein *in planta*", J. Gen. Virol., 85, (2004), 1055-1063.
73. Riechmann, J.L. ; Lain, S. ; Garcia, J-A. "Highlights and prospects of Potyvirus molecular biology". J. Gen. Virol., 73, (1992), 1-16.
74. Sigvald, R. "The relative efficiency of some aphid species as vectors of *Potato virus Y^O (PVY^O)*", Potato Res., 27, (1984), 285-290.
75. Rolland, M. ; Lacroix, C. ; Blanchard, A. *et al.* "Le virus Y de la pomme de terre (*PVY*): de la première description aux derniers épisodes d'émergence", Virologie, 12 (4), (2008), 261-273.
76. Staubli, A. "Sensibilité des variétés de pomme de terre au virus Y nécrogènes", Changins, (2004), 13p.
77. Sue Flynn, J. "Examining Potato Virus Y (*PVY*) in the First Field Season of the Potato Breeding Program", Phd. Th., Univ. Minnesota, (2013), 69 p.
78. Gray, S.M. ; De Boer, S.H. ; Lorenzen, J. *et al.* "*Potato Virus Y*: a significant and evolving threat to potato crops in the United States and Canada", Plant Dis., 94, (2010a), 1384-1397.
79. Beczner, L. ; Horvath, H. ; Romhanyi, L. and Forster, H. "Studies on the Etiology of tuber ring spot disease in potato", Potato Res., 27(3), (1984), 339-352.
80. Anonyme, "Plants de pomme de terre, Guide de la CEE-ONU sur les maladies, parasites et défauts des plants de pomme de terre", (2014), 108p.
81. Basky, Z. and Almási, A. "Differences in aphid transmissibility and translocation between *PVY^N* and *PVY^O*", J. Pest. Sci. 78, (2005), 67–75.
82. Gray, S. ; De Boer, S.; Lorenzen, J. *et al.* "An evolving concern for potato crops in the United States and Canada", Plant Dis., 94 (12), (2010b), 1383-1397.
83. Halbert, S.E. ; Corsini, D-L. et Wiebe, M-A. "*Potato virus Y* transmission efficiency for some common aphids in Idaho", Am. J. Potato Res., 80, (2003), 87-91.
84. Harrington, R. ; Katis, N. and Gibson, R-W. "Field assessment of the relative importance of different aphid species in the transmission of *Potato Virus Y*", Potato Res., 29, (1986), 67-76.

85. Radcliffe, E.B. ; Ragsdale, D.W. "Aphid-transmitted potato viruses: the importance of understanding vector biology". *Am. J. Potato Res.*, 79, (2002), 353-386.
86. Singh, R.P., Boiteau, G. "Reevaluation of the potato aphid. *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas), as vector of *Potato Virus Y*", *Am. Potato J.*, 63, (1986), 335-340.
87. Verbeek, M. ; Piron, P.G.M. ; Dullemans, A-M. *et al.* "Determination of aphid transmission efficiencies for N, NTN and Wilga strains of *Potato virus Y*", *Ann. App. Biol.*, 156, (2010) 39-49.
88. De Bokx, J.A. ; Huttinga, H. "*Potato virus Y*. CMI / AAB Description of Plant Viruses", 242, (1981).
89. Bejan, M. "Études sur la résistance d'accessions de *Solanum* sauvages envers le puceron de la pomme de terre *Macrosiphum euphorbiae* (thomas) et le puceron vert du pêcher *Myzus persicae* (Sulzer) (Aphididae)", Th. Doc., Univ. Québec, Montréal, (2007), 69 p.
90. Sauge, M-H., Kervella, J. and Rahbé, Y. "Probing behaviour of the green peach aphid *Myzus persicae* on resistant *Prunus* genotypes", *Entomol. Exp. App.*, 89, (1998), 223-232.
91. Anonyme, <https://www.syngenta-crop.co.uk/> , (2016).
92. Hullé M. ; Ighil, E.T.A. ; Robert, Y. et Monnet, Y. "Les pucerons des plantes maraichères : Cycles biologiques et activités de vol", Quae, Paris, (1999), 134 p.
93. Alford, D. V. "A color atlas of pests of ornamental trees, shrubs and flowers", Manson Pub. Ltd, London, UK, (1991), 448 p.
94. Shands, W-A. ; Simpson, G-W. and Wave, H-E. "Seasonal population trends and productiveness of the Potato aphid on swamp rose in North-eastern Main", *Life Sci. Agricul. Exp. Station Tech. Bul.*, 52, (1972), 35 p.
95. Blanc, M. ; Fereres, A. ; Garzo, E. et Hébrard, E. "Une protéine clé pour la transmission d'un virus de plante à la pointe des stylets de l'insecte vecteur", *Virologie*, 12 (1), (2008), 70-72.
96. Brault, V. ; Blanc, S. and Jacquot, E. "How aphids transmit virus diseases to plants", *Biofutur*, 279, (2007), 40-48.

97. Revollon, S. "Rôle des modifications post-traductionnelles des particules virales du CABYV dans la transmission par puceron". Th. Doc. Univ. Strasbourg, (2010), 231 p.
98. Piffaretti, J. "Différenciation génétique et écologique des populations du puceron *Brachycaudus helichrysi* (Hemiptera : *Aphididae*) : mise en évidence de deux espèces sœurs aux cycles de vie contrastés", Th. Doc., Montpellier, SupAgro, (2012), 260 p.
99. Ajouz, S. "Estimation du potentiel de résistance de *Botrytis cinerea* à des bio-fongicides", Th. Doc., Univ. Avignon et Pays de Vaucluse, (2009), 198p.
100. Alain, F. "Fiche technique : les pucerons 1^{ère} partie", (141), Paris, (2006), 8 p.
101. Hullé, M. "Les pucerons des arbres fruitiers : Cycles biologiques et activités de vol", Quae. Paris, (1998), 98 p.
102. Boiteau, G. "Efficiency of flight interception traps for adult Colorado potato beetles (Coleoptera: *Chrysomelidae*)", J. Econ. Entomol, 93, (2000), 630-635.
103. Ferro, N. D. "Mechanical and physical control of the Colorado potato beetle and aphids", 53-68 In Duchesne R. M. et Boiteau G. «Lutte aux insectes nuisibles de la pomme de terre», Québec, Canada, 1995.
104. Boiteau, G. ; Misener G. C. ; Singh R.P. and Bernard, G. "Evaluation of a vacuum collector for insect pest control in potato", Am. Potato J., 69, (1992), 157-166.
105. Lepoivre, Ph., "Principe de phytopathologie", 1^{ère} Ed., De Boeck et Larcier, Bruxelles, Belgique, (2003), 427 p.
106. Prévost, P. "Les bases de l'agriculture", Paris, Tech. & Doc., (1999), 243p.
107. Nauen, R. and Elbert, A. "European monitoring of resistance to insecticides in *Myzus persicae* and *Aphis gossypii* (Hemiptera: *Aphididae*) with special reference to imidacloprid", Bull. Entomol. Res., 93, (2003), 47-54.
108. Vandermoten, S. ; Cusson, M. ; Francis, F. et Haubruge, E. "La biosynthèse des isoprénoïdes chez les pucerons : Une cible potentielle de nouveaux bio-insecticides ?", Biotech. Agro. Soc. Environ, 12 (4), (2008), 451-460.

109. Van Lenteren, J.C. "Internet Book of Biological Control", (2006), www.unipa.it/iobc/download/InternetBook3March2006.pdf
110. Cui, L. ; Dong J. ; Francis F. *et al.* "E- β -farnesene synergizes the influence of an insecticide to improve control of cabbage aphids in China", *Crop Protec.*, 35, (2012a), 91-96.
111. Cui, L. ; Francis F. ; Heuskin, S. *et al.* "The functional significance of E- β -farnesene: does it influence the populations of aphid natural enemies in the fields", *Biol. Cont.*, 60 (2), (2012b), 108-112.
112. Jing-Gong, X. ; Feng, Z. ; Yu-Ling, F. ; *et al.* "Behavioural response of aphids to alarm pheromone component (E)- β -farnesene in field", *Physiol. Entomol.*, 27, (2002), 307-311.
113. Ha-ibo, Z. ; Ju-lian, Ch. ; Yong, L. *et al.* "Influence of garlic intercropping or active emitted volatiles in releasers on aphid and related beneficial in wheat fields in china", *J. Integ. Agricul.*, 12 (3), (2013), 101-108.
114. Evelyne T.L. ; Dedryver, C- A. ; Chaubet, B. Hullé, M. "Les pucerons des grandes cultures : Cycles biologiques et activités de vol", *Quae*, (2011), 135 p.
115. Sauvion, N. "Effets et modes d'action de deux lectines à mannose sur le puceron du pois, *Acyrtosiphon pisum* (Harris). Potentiel d'utilisation des lectines végétales dans une stratégie de création de plantes transgéniques résistantes aux pucerons", *Th. Doc., I.N.S.A., Lyon*, (1995), 141 p.
116. Znaïdi, I. "Étude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes", *C.I.H.E.A.M. Mast. Sci. Degree*, (2002), 104 p.
117. Garg, V.K. ; Suthar, S. ; Yadav, A. "Management of food industry waste employing vermicomposting technology", *Biores. Tech.*, 126, (2012), 437-443.
118. Saint-pierre, M.A. "Lombricompostage de fientes de poulet et de résidus de scierie", *Mém. Maître ès Sci., Univ. Laval*, (1998), 98 p.
119. Kenyangi, A. and Blok, W. "Vermicompost as a component in potting mixes for growth promotion in ornamental plants", *Rwanda J. Agricul. Sc.*, 28 (E), (2012), 53-63.

- 120.** Saravanan, S. ; Mujeebunisha, M. ; Divya, V. *et al.* "Influence of probiotics supplemented vermicompost on growth and chlorophyll content of cowpea *Vigna unguiculata L*", *App. Sci. Res.*, 5 (3), (2014), 243-248.
- 121.** Singh, R.P. ; Singh, P. ; Araujo-Ademir, S.F. *et al.* "Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option", *Reso. Conser. & Recycl.*, 55, (2011), 719-729.
- 122.** Singh, J. ; Kalamdhad, A.S. "Effect of *Eisenia foetida* on speciation of heavy metals during vermicomposting of water hyacinth", *Ecol. Eng.*, 60, (2013), 214-223.
- 123.** Vivas, V. ; Moreno, B. ; Garcia-Rodriguez, S. ; Benitez, S. "Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste", *Biores. Tech.*, 100, (2009), 1319-1326.
- 124.** Kibatu, T. ; et Mamo, M. "Vermicompost and Vermiwash on Growth, yield and yield Components of Beetroot (*Beta vulgaris L.*)", *World App. Sci. J.*, 32 (2), (2014), 177-182.
- 125.** Trankner, A. "Use of agricultural and municipal organic wastes to develop suppressiveness to plant pathogens", Cité par ATTRA: Appropriate Technology Transfer for Rural Areas, (1992), (<http://www.attra.org/atrapub/PDF/comptea.pdf>).
- 126.** Brinton. W, William F. "The control of plant pathogenic fungi by use of compost tea", *Biodynamics*, (1995), 12-15.
- 127.** Elad, Y. ; Shtienberg, D. "Effect of compost water extracts on grey mildew (*Botrytis cinerea*)", *Crop Protec.*, 13 (2), (1994), 109-114.
- 128.** Cronin M., Andrews H. "Putative mechanism and dynamics of inhibition of the apple scab pathogen *Venturia inaequalis* by composts extracts", *Soil Biol. & Bioch.*, 28 (9), (1996), 1241-1249.
- 129.** Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Emerson, E. and Pulliam, R. "Suppressing plant parasitic nematodes and arthropod pests with vermicompost teas", *BioCycle*, 48, (2007), 38-39.
- 130.** Nedjimi, B. ; Homida, M. 2006. "Problématique des zones steppiques Algériennes et perspectives d'avenir", *Rev. Sci.*, (5), (2006), 13-19.
- 131.** Yamani, Kh. ; Hazzab, A. ; Hammimed, A. and Sekkoum, M. "Development of an approach for mapping of features thermal and hydric

- watersheds: Case of the watershed of Brezina (Northwest of Algeria”, Inter. J. Phys. Sci., 10 (7). (2015), 248-262.
- 132.** Regagba, Z. “Dynamique des populations végétales halophytes dans la région Sud-est de Tlemcen, Aspects phytoécologiques et cartographiques”, Th. Doc. Univ. Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, (2012), 169 p.
- 133.** Abdelouaheb, H.B. “Enquête sur la situation de la filière viande rouge à El-Bayadh”, Mém. Mag., Univ. Mentouri de Constantine, (2009), 59 p.
- 134.** Khattou, A et Kouar, B. “Méthodes d'extraction de la roche en carrière à ciel ouvert. Exemple Entreprises de granulats, la STARR (Sidi Abdelli, Tlemcen) et l'ENCOTREB (PK70, El Bayadh)”, Mémoire d'ingénieur, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, (2014), 67p.
- 135.** El Zerry, W. ; Bouiadjra, S.E.B. ; Benslimane, M. et Mederbal, Kh. “L'écosystème steppique face à la désertification: cas de la région d'El Bayadh, Algérie”. Rev. Sci. Environ., 9 (2), (2009), 1-12.
- 136.** Negadi, M. ; Hassani, A. ; Bounacuer, F. et Azzaoui, M-E. “Étude de la diversité floristique de la région d'El Bayadh (Algérie) «flore rare et menacée»”, Revue Écologie-Environnement, 10, (2014), 50-55.
- 137.** Google Earth, 2016
- 138.** Mani, F. ; Mhamdi, M. ; Bettaieb, T. ; Hannachi, C. “Effet du saccharose sur la tubérisation *in vitro* de la pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*)”, Nat. & Tech., (7), (2012), 38-43.
- 139.** Dagnelie, P. “Principes d'expérimentation, Planification des expériences et analyse de leurs résultats”, (2003), Press Agro. Gembloux, 398 p.
- 140.** Roth, M. “Les pièges à eau colorés, utilisés comme pots de Barbe”, Rev. Zoo. Agri., (2), (1972), 78-83.
- 141.** Godin, C. et Boivin, G. “Guide d'identification des pucerons dans les cultures maraîchères au Québec”, A.A.C.-C.R.D.H., (2002), 31 p.
- 142.** Lesueur, F. “Élaboration de formulations à base d'extraits de neem (*Azadirachta indica a. Juss*) pour la protection de la pomme de terre (*Solanum tuberosum l.*) contre le *Myzus persicae*, un puceron colonisateur et vecteur de virus circulants et non circulants”, Th. M. Sc, Univ. Laval, Quebec, (2006), 133 p.

143. Walter, B. ; Vuittenez, A. ; Kuszala, J. *et al.* “Détection sérologique des virus du court-noué de la vigne par le test ELISA”, *Agronomie*, EDP Sciences, (1984), 4 (6), 527-534.
144. Hogue, R. “Prélèvement de feuilles de pommes de terre avant défanage pour dépister des virus”, I.R.D.A, (2013), 1-7.
145. Senanayake, D. M. J. B. et Mandal, B. “Expression of symptoms, viral coat protein and silencing suppressor gene during mixed infection of a N-Wi strain of *Potato Virus Y* and an asymptomatic strain of *Potato Virus X*”, *Virus Dis.*, (2014), 25 (3), 314-321.
146. Draper, M.D. ; Pasche, J.S. and Gudmestad, N.C. “Factors influencing pvy development and disease expression in three potato cultivars”, *Am. J. Potato Res.*, (2002), 79, 155-165.
147. Boukhris-Bouhachem, S., et al., 2011. Transmission Efficiency of the Strain *PVY^{NTN}* by Commonly Captured Aphids in Tunisian Potato Fields. *Plant Pathology Journal*. 10, 22-28.
148. Yin, R. “Study of CMV-plant-aphid interactions focusing on *Myzus persicae* in vegetable crops”, Th. Doc. Univ. Liège-Gembloux, Agro-Bio Tech, (2013), 138 p.
149. Musa, F.M. ; Carli, C. ; Susuri, L.R. ; Pireva, I.M. “Monitoring of *Myzus persicae* (Sulzer) in potato fields in Kosovo”, *Acta agriculturae slovenica*, 83 (2), (2004), 379 -385.
150. Garcin, A. “L’argile kaolinite, une nouvelle méthode de lutte par barrière minérale protectrice contre le puceron vert du pêcher *Myzus persicae* Sulz”, *Inn. Agro.* (2009), 4, 107-113.
151. Larbi, M. “Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques”, Th. Doc. Univ. Neuchâtel (2006), 140 p.
152. Arancon, N.Q., Galvis, P., Edwards, C.A., 2005. Suppression of insect pest populations and plant damage by vermicomposts. *Bioresource Technology*. 96, 1137-1142.
153. Qamar, N. “Relationship of environmental conditions with *Potato Virus Y* (*PVY*) disease development on six varieties / Advanced Lines of Potato”, *Inter. J. of Agri. & Biol.*, 5 (2), (2003), 172-174.

- 154.**Chamel A., Gambonnet B., (1980) - Foliar penetration of micronutrients: study with isolated pear leaf cuticles of cuticular. Retention and penetration of zinc, in: Mineral Nutrition of fruit trees, 318p.
- 155.**Cronin, M. J. ; Yohalem, I D. S. ; Harris, R. F. and Andrews, J. H. “Putative mechanism and dynamics of inhibition of the: apple scab pathogen *Venturia inequalis* by compost extracts”, Soil Biol. Bioch., 28 (9), 1241-12491.
- 156.** Singh, U.P. ; Maurya, S. ; Singh, D. P. “Antifungal activity and induced resistance by aqueous extracts ofvermicomposts for control of powdery mildew of pea and balsam. Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz”, 110, (2003), 544-553.
- 157.**War, A.R. ; Paulraj, M.G. ; Ahmad, T. ; Buhroo, A.A. ; Hussain, H. ; Ignacimuthu, S. and Sharma, H.CH. “Mechanisms of plant defense against insect herbivores”, Plant Signaling & Behavior, 7 (10), (2012), 1306-1320.
- 158.**Herrbach, E. “Rôle des sémiocimiques dans les relations pucerons-plantes. II. - Les substances allélochimiques”, Agro., E.D.P., Sci., (1985), 5 (4), 375-384.
- 159.**Chitu, V. ; Coman, M. ; Bulgaru, L. and Chitu, E. Effects of “CalMax” and “Nutri Vit” foliar fertilizers on plants growth and strawberry fruit quality. Acta Horticulturae (I.S.H.S) 594, (2002), 475-480.
- 160.**Maltais, A.M. “Facteurs et conditions favorables à l’efficacité de la fertilisation foliaire des cultures maraîchères du Québec”, Revue de littérature, BVG-62185, Univ. Laval, (2006), 21 p.
- 161.**Fayed, T.A. “Effect of compost tea and some antioxidant applications on leaf chemical constituents, yield ant fruit quality of Pomegranate”, World J. Agri. Sc., 6 (4), (2010), 402-411.
- 162.**Ashraf, N. ; Ashraf, M. ; Hassan, Gh. ; Munib-U-Rehman, Dar, N.A. ; Khan, I.M. ; Iqbal, U. and Banday, S.A. “Effect of foliar application of nutrients and biostimulant on nut quality and leaf nutrient status of pecan nut cv. “Western Schley” ”, Afr. J. Agri. Res., 8(6), (2013), 559-563.
- 163.**Morsy, A.A. “Organic fertilization for improving potato production with application of ¹⁵N-Isotope dilution technique”, J. Am. Sc., (2013), 9 (10), 221-226.

- 164.** Hasan, A.E. ; Bhiah, K.M and Al-Zurfy, M.T.H. “The impact of peat moss and sheep manure compost extracts on marigold (*Calendula officinalis* L.) growth and flowering”, *J. Org. Syst.*, 9 (2), (2014), 56-62.
- 165.** Boquel, S. ; Amelineb, A. ; Giordanengo, Ph. “Assessing aphids potato virus Y-transmission efficiency: A new approach”, *J. Virol. Meth.*, 178, (2011), 63-67.
- 166.** Bostan, H. ; Guclu, C. ; Ozturk, E. ; Ozdemir, I. and Ildagi, H. “Influence of aphids on the epidemiology of potato virus diseases (*PVY*, *PVS* and *PLRV*) in the high altitude areas of Turkey”, *Pakistan J. Biol. Sci.*, 9 (4), (2006), 759-765.
- 167.** (Anonyme b, 2016), <http://plantdepommedeterre.org/index/normes-francaises-et-europeennes>
- 168.** Kauffmann, S. ; Dorey, S. et Fritig, B. “Les stratégies de défense”, *Pour la Science*, (2001), 116-121.