

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة العليا للعلوم الفلاحية الحراش - الجزائر

Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El-Harrach

## Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences  
Agronomiques

Département : Botanique

Option : Biologie et génétique de l'interaction plante hôte  
pathogène dans la protection des cultures

## Thème

Etude de l'effet des facteurs abiotiques et  
nutritionnels sur la production d'oospores  
chez *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary

Présenté par : Mme BEKKAR eps Bousiala Khadidja

Soutenu devant le Jury composé de :

Mme. Louanchi M.	Présidente	Maître de conférences. ENSA-El Harrach (Alger)
Mr. Bouznad Z.	Directeur de thèse	Professeur. ENSA - El Harrach (Alger)
Mlle. Boureghda H.	Examinatrice	Maître de conférences. ENSA- El Harrach (Alger)
Mr. Kedad A.	Examineur	Chargé de cours. ENSA- El Harrach (Alger)

Année universitaire : 2013-2014.

# Remerciements

**Je remercie Dieu, le tout puissant qui m'a donné la volonté et la patience pour réaliser ce travail**

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de thèse, Monsieur **Z. BOUZNAD**, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach, Alger. Pour avoir accepté de diriger ce travail et pour m'avoir constamment conseillé.

Je présente mes remerciements à Madame **M. LOUANCHI**, maître de conférences à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach, Alger, pour avoir accepté de présider le jury de ma thèse.

Je remercie sincèrement Monsieur. **A. KEDAD**, chargé de cours à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach, Alger, pour son aide, sa disponibilité toujours renouvelée, ses précieux conseils et d'avoir bien voulu accepté de faire partie du jury.

Je remercie Mademoiselle **H. BOUREGHDA**, maître de conférences à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach, Alger, pour avoir accepté de juger ce travail.

J'adresse mes plus vifs remerciements à Monsieur **L. BENINAL** pour l'aide précieuse qu'il m'a apportée tout le long de ce travail.

Je tiens à remercier également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, je citerai en particulier : à tout le personnel du laboratoire de phytopathologie de l'ENSA d'El Harrach.

Merci à tous mes amis pour leurs aides et leurs soutiens moral en particulier Dalel, Meriem, Nora, Manel, Faiza, Hnanane... etc., merci à vous pour votre soutien et vos encouragements.

Enfin, je voudrais remercier ma famille : mes parents qui m'ont toujours soutenu, mes frères et sœurs.

*Et pour finir, j'adresse un remerciement tout particulier à Amine, le compagnon de ma vie et mon soutien de chaque instant.*

# Table des matières

	page
<b>Liste des figures</b>	IV
<b>Liste des tableaux</b>	VI
<b>Liste des abréviations</b>	VIII
<b>Liste des annexes</b>	IX
<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	4
1. La culture de la pomme de terre .....	4
1.1. Situation en Algérie .....	4
1.2. Caractères botaniques .....	6
1.3. Cycle de développement de la plante .....	7
2. La culture de tomate .....	8
2.1. Situation en Algérie .....	8
2.2. Caractères botaniques .....	9
2.3. Cycle de développement de la plante .....	10
2.4. Principales maladies de la pomme de terre et la tomate .....	10
3. Présentation du mildiou et l'agent pathogène .....	13
3.1 Symptômes .....	13
3.2 L'agent pathogène .....	16
3.2.1. Position taxonomique .....	16
3.2.2. Description morphologique .....	17
3.2.3. Gamme d'hôtes .....	18
3.2.4. Cycle biologique .....	18
3.2.5. Source d'inoculum primaire et mode de conservation .....	20
3.2.6. Compatibilité sexuelle .....	20
3.3. Les facteurs affectant l'évolution de la maladie .....	21
3.3.1. Les facteurs climatiques .....	21
3.3.2. Les facteurs du sol .....	21
3.3.3. La prédisposition de l'hôte .....	22
3.4. La reproduction sexuée .....	22
3.4.1 Influence de certains facteurs sur la production d'oospores chez <i>P. infestans</i> .....	22
3.4.1.1 Les exigences trophiques .....	22

3.4.1.2 Les facteurs climatiques .....	23
3.4.1.3 Géotypes d' hôtes .....	24
3.4.2 Conservation des oospores .....	24
3.4.3 Germination des oospores .....	24
3.4.4 Capacité infectieuse .....	25
<b>CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>26</b>
1. Matériels .....	26
1.1. Matériel végétal .....	26
1.2. Matériel fongique.....	27
2. Méthodes .....	27
2.1. Test de pathogénicité des isolats étudiés .....	27
2.1.1. Préparation du matériel fongique .....	27
2.1.2. Préparation du matériel végétal.....	27
2.1.3. Inoculation et incubation.....	28
2.2. Etude <i>in vitro</i> de la fertilité des confrontations des isolats de <i>P. infestans</i> .....	29
2.2.1. Les confrontations des isolats de <i>P. infestans</i> testés.....	29
2.2.2. Mise en culture et incubation .....	29
2.2.3. Dénombrement des oospores .....	29
2.3. Etude <i>in planta</i> de la reproduction sexuée des isolats de <i>P. infestans</i> .....	30
2.3.1. Les confrontations des isolats de <i>P. infestans</i> testés .....	30
2.3.1.1. Test de fertilité sur les folioles de pomme de terre et de tomate.....	30
2.3.1.2. Influence du rapport des concentrations des isolats A1/A2 sur la production des oospores. ....	30
2.3.1.3. Influence de la période d'incubation sur la production des oospores .....	31
2.3.2. Préparation du matériel végétal pour l'inoculation.....	31
2.3.3. Inoculation et incubation.....	32
2.3.4. Préparation des tissus végétaux pour les observations microscopiques.....	32
2. 3.5 Dénombrement des oospores .....	33
2.4 Analyses statistiques des données.....	33
<b>CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>34</b>
1. Pathogénicité des isolats.....	34
2. Fertilité des confrontations réalisées <i>in vitro</i> .....	35
3 Fertilité des confrontations <i>in planta</i> .....	37

3.1 Fertilités des confrontations sur des feuilles de pomme de terre et tomate .....	37
3.2 Effet du rapport des concentrations des isolats A1/A2 sur la fertilité des confrontations .....	43
3.3 Effet de la période d'incubation sur la fertilité des confrontations.....	46
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>53</b>
<b>Annexe .....</b>	<b>66</b>

## Liste des figures

Page

<b>Figure 1</b>	: Symptômes sur les différents organes du plant de pomme de terre (A,B,C,D) et de tomate (E,F,G,H) en plein champ .....	15
<b>Figure 2</b>	: Morphologie de <i>Phytophthora infestans</i> .....	17
<b>Figure 3</b>	: Cycle biologique de <i>Phytophthora infestans</i> (www.eucablight.org).....	19
<b>Figure 4</b>	: Culture de <i>Phytophthora infestans</i> (Isolat : P- Kurd-S ) sur milieu gélosé à base de petit pois.....	28
<b>Figure 5</b>	: Folioles de pomme de terre (A) et de tomate (B) préparées pour l'inoculation .....	28
<b>Figure 6</b>	: Inoculation d'une foliole de pomme de terre par les suspensions des deux confrontants.....	32
<b>Figure 7</b>	: Développement des lésions sur une foliole de pomme de terre Spunta.	34
<b>Figure 8</b>	: Fertilité des confrontations des isolats de <i>P. infestans in vitro</i> .....	36
<b>Figure 9</b>	: Oospores obtenues après la confrontation des isolats de <i>P. infestans</i> ...	36
<b>Figure 10</b>	: Fertilité des confrontations sur les variétés de pomme de terre et tomate.....	39
<b>Figure 11</b>	: Influence du rapport des concentrations des isolats A1/A2 sur la fertilité de deux confrontations <i>in planta</i> .....	44
<b>Figure 12</b>	: Effet de la période d'incubation sur la production d'oospore par les confrontations (P-ITGC –AR (A1) X P-SAR-AR (A2) et P-KURD-S (A1) X P-10 <sup>1</sup> -AR (A2)).....	47
<b>Figure 13</b>	: Effet de la période d'incubation sur la production d'oospore par les	

confrontations (T-INA-S-TIGE (A1) X P-SAR-AR (A2) et T-INA-AR 48  
(A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2).....

## Liste des tableaux

**Page**

<b>Tableau I</b>	: Evolution de la culture de pomme de terre en Algérie, durant la période 2003 – 2013 : Superficie et production ( <a href="http://faostat.fao.org">http://faostat.fao.org</a> ) .....	5
<b>Tableau II</b>	: Evolution de la tomate maraichère en Algérie, durant la période 2003-2013 : Superficie et production ( <a href="http://faostat.fao.org">http://faostat.fao.org</a> ) ;(MADR, 2013).....	8
<b>Tableau III</b>	: Les principaux agents pathogènes infectant la tomate et la pomme de terre (Ait ouada <i>et al.</i> , 2008 ;Benton, 2008 ; Dominique, 2009 ; Naika <i>et al.</i> , 2005 ; Rousselle <i>et al.</i> , 1996; Snoussi, 2010).....	11
<b>Tableau IV</b>	: Principales caractéristiques des variétés de pomme de terre et de tomate testées (Catalogue variétale, ITCMI 2005).....	26
<b>Tableau V</b>	: Désignation, années d'isolement, types sexuels, origines et plantes hôtes des isolats de <i>P. infestans</i> .....	27
<b>Tableau VI</b>	: Proportions des volumes des suspensions des isolats de A1 et A2 à mélanger pour la suspension finale.....	31
<b>Tableau VII</b>	: Evaluation de la fertilité des huit confrontations des isolats de <i>P. infestans</i> sur milieu gélosé à base de petit pois.....	35
<b>Tableau VIII</b>	: Analyse de la variance pour l'effet de confrontation sur le nombre d'oospores produites après la confrontation des isolats de <i>P. infestans</i> ...	37
<b>Tableau IX</b>	: Fertilité des confrontations des isolats de <i>P. infestans</i> sur les folioles de pomme de terre et tomate.....	38
<b>Tableau X</b>	: Analyse de la variance de l'effet de confrontation et variété sur le nombre d'oospores produites après la confrontation des isolats de <i>P. infestans</i> sur une foliole de pomme de terre.....	39
<b>Tableau XI</b>	: Analyse de la variance de l'effet de confrontation et variété sur le nombre d'oospores produites après la confrontation des isolats de <i>P. infestans</i> sur une foliole de tomate.....	40

<b>Tableau XII</b>	: Analyse de la variance pour l'effet de confrontation des isolats de <i>P.infestans</i> et plante hôte sur le nombre d'oospores produites sur des folioles de tomate et de pomme de terre.....	41
<b>Tableau XIII</b>	: Nombre d'oospores/cm <sup>2</sup> produites par deux confrontations des isolats de <i>P.infestans</i> sur des folioles de la pomme de terre et la tomate.....	43
<b>Tableau XIV</b>	: Analyse de la variance de l'effet confrontation des isolats de <i>P.infestans</i> , rapport et plante hôte sur le nombre d'oospores produites sur des folioles de pomme de terre et tomate.....	45
<b>Tableau XV</b>	: Fertilité des confrontations des isolats de <i>P.infestans</i> en fonction des périodes d'incubation.....	46
<b>Tableau XVI</b>	Analyse de la variance pour l'effet confrontation des isolats de <i>P.infesta</i> période d'incubation et plante hôte sur le nombre d'oospores produites des folioles de pomme de terre et tomate.....	49

## Liste des abréviations

<b>FAO</b>	:	Food and Agriculture Organization of the United Nations
<b>MADR</b>	:	Ministère de l'Agriculture et du développement Rural
<b>CNCC</b>	:	Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants
<b>PDA</b>	:	PotatoDixtroseAgar
<b>ITCMI</b>	:	Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles
<b>A1</b>	:	Type de compatibilité sexuel A1
<b>A2</b>	:	Type de compatibilité sexuel A2
<b>SC</b>	:	Somme des carrés
<b>DDL</b>	:	Degré de liberté
<b>MC</b>	:	Moyenne des carrés
<b>F</b>	:	F critique
<b>HS</b>	:	Hautement significative
<b>NS</b>	:	Non significative
<b>S</b>	:	Significative
<b>P</b>	:	Probabilité

## Liste des annexes

Page

<b>Annexe 1</b>	: Préparation du milieu de culture gélosé à base de petit pois ...	66
<b>Annexe 2</b>	: <b>Tableau 1</b> : Test de Fisher (LSD) au seuil 5% : Classement et regroupements des groupes non significativement différents des facteurs variétés de pomme de terre et croisement.  <b>Tableau 2</b> : Test de Fisher (LSD) au seuil 5% : Classement et regroupements des groupes non significativement différents des facteurs variétés de tomate et croisement.....	67
<b>Annexe 3</b>	: <b>Tableau 3</b> : Test de Fisher (LSD) au seuil 5% : Classement et regroupements des groupes non significativement différents des facteurs espèce (tomate et pomme de terre) et croisement.....  <b>Tableau 4</b> : Test de Fisher (LSD) au seuil 5% : Classement et regroupements des groupes non significativement différents des facteurs espèce (tomate et pomme de terre), croisement et rapport.....	68  70

# INTRODUCTION

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), une culture potagère et industrielle, elle occupe le quatrième rang des productions mondiales, après le blé, le riz et le maïs. Sa superficie est de 24,56 millions d'hectares donnant une production de 445,5 millions de tonnes en 2013 (MADR, 2013). La pomme de terre est le légume le plus consommé dans le monde, Elle présente l'avantage de produire plus de nourriture nutritive que toute autre grande culture sur moins de terres et que 85% de la plante est comestible pour l'homme, contre environ 50% pour les céréales.

Quant à la tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) ; elle est devenue un des légumes les plus importants du monde. En 2013, la production mondiale de tomate était d'environ 161,24 millions de tonnes de fruits frais sur une superficie évaluée à 5,10 millions d'hectares (MADR, 2013).

La pomme de terre et la tomate appartiennent à la famille des *Solanaceae*. Celle-ci regroupe d'autres espèces qui sont également bien connues, telles que le tabac, le poivron et l'aubergine.

En Algérie, la pomme de terre représente l'une des principales cultures maraîchères. Elle occupe 25 à 30 % des superficies réservées aux maraîchages. Celle-ci a évolué de 28.400 ha avec une production de 232,650 T en 1965 à 140.000 ha avec une production de 4,4 million T en 2013 (FAOSTAT, 2013). Cependant, la filière pomme de terre au niveau national est freinée par la disponibilité des semences (plants) et par leur prix très élevé (Nouad, 2008). La tomate est une des cultures légumières les plus répandues en Algérie, caractérisée par une rente importante pour les petits exploitants. Sa production est estimée à 801,058 T en 2013 (MADR, 2013).

Dans les exploitations maraichères, les règles relatives au calendrier cultural, aux travaux d'entretien qui devraient être appliquées ne sont plus respectées à cause des moyens humains et matériels sont limités (Snoussi, 2010). Ceci rend la pomme de terre et la tomate comme objet d'attaques par plusieurs ravageurs tels que les pucerons, les thrips, la teigne et la mineuse et par des maladies bactériennes, virales et fongiques. Le mildiou

constitue l'une des maladies les plus largement distribuée géographiquement et dommageable lorsque les conditions climatiques sont favorables. Elle est causée par l'oomycète *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, une espèce hétérothallique avec deux types de compatibilité sexuelle A1 et A2. Ces derniers coexistent depuis longtemps au Mexique, alors que la détection du type sexuel A2 n'a été rapporté, en dehors du Mexique, qu'à partir des années quatre-vingt (Andrivon *et al.*, 1994 ; Goodwin *et al.*, 1994 ; Grünwald et Flier, 2005 ; Judelson, 1997)

En Algérie, ainsi que dans les deux autres pays du Maghreb (Maroc et Tunisie), les études réalisées sur les populations de *P. infestans* ont montré l'existence, sur les cultures de pomme de terre, des deux types de compatibilité sexuelle A1 et A2 (Beninal *et al.*, 2008 ; Hammi, 2003, Jmour et Hamada, 2006 ; Sedegui *et al.*, 1997)..

L'introduction du type sexuel A2 en Algérie permettrait au pathogène de se reproduire sexuellement, et par conséquent produire des oospores (Beninal *et al.*, 2008). Les oospores de *P. infestans* sont produites en petites quantités sur les plants de la pomme de terre et de la tomate cultivés en plein champ (Drenth *et al.*, 1995 ; Smirnov *et al.*, 1999) . Leur formation dans les tissus foliaires nécessite une pluie abondante (Cohen *et al.*, 2000 in Turkensteen *et al.*, 2000).

Les oospores peuvent survivre dans le sol pendant de longues périodes. Expérimentalement, il a été montré que les oospores conservent leur pouvoir infectieux pendant 4 ans (Turkensteen *et al.*, 2000). Les oospores peuvent constituer une source d'inoculum primaire, qui peut potentiellement infecter les cultures tout au long de la saison dans des conditions favorables au mildiou (Flier *et al.*, 2004).

Ainsi, l'évaluation de la fertilité des isolats de *P. infestans* est une donnée essentielle pour élaborer une stratégie de lutte contre le mildiou de la pomme de terre et de la tomate.

Considérant ces aspects, les objectifs visés dans le présent travail sont :

- Evaluation *in vitro* de la fertilité de quelques isolats de *P. infestans*;
- Evaluation *in planta* de la fertilité des mêmes isolats sur les deux principales espèces hôtes (pomme de terre et tomate) ;

- Influence de deux facteurs : le rapport des concentrations des isolats A1/A2 de *P. infestans* et la durée de la période d'incubation des feuilles ; sur la fertilité des isolats *in planta*.

## SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Le mildiou de la pomme de terre et de la tomate, provoqué par *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary, est une maladie qui a marqué l'histoire de l'humanité (Grünwald et Flier, 2005). Les premières épidémies en Europe, au cours des années 1840, ont été à l'origine de famines dramatiques et de la mort de plus d'un million de personnes, tout particulièrement en Irlande (Dominique *et al.*, 2009).

Le mildiou est présent partout où est cultivée la pomme de terre, depuis la région des Andes en Amérique du Sud (son lieu d'origine) jusqu'au Nord de la Chine, en passant par l'Amérique du Nord, l'Europe, l'Afrique et l'Asie (César *et al.*, 2011).

**1. La culture de la pomme de terre:** Le secteur de pomme de terre au niveau mondial est en pleine évolution. Selon la FAO, jusqu'au début des années 1990, l'essentiel de la production et de la consommation de pomme de terre était concentré en Europe, en Amérique du Nord et dans les pays de l'ex-Union soviétique. Depuis lors, la production et la demande ont augmenté en Asie, en Afrique et en Amérique latine, où la production est passée de 30 millions de tonnes au début des années 1960 à plus de 324 millions de tonnes en 2010 (FAOSTAT, 2012).

**1.1. Situation en Algérie :** La pomme de terre constitue l'un des programmes prioritaires de la politique de renouveau de l'économie agricole et rural en Algérie; sa superficie est estimée à 130 000 ha annuellement, soit 30 % de la superficie totale consacrée aux cultures maraîchères (MADR 2013).

La pomme de terre *Solanum tuberosum* est une espèce de la famille des solanacées, herbacée, tubéreuse, vivace et cultivée comme plante annuelle.

De par sa plasticité génétique, la pomme de terre peut s'adapter à la diversité des agroécosystèmes algériens. Ainsi, la courte période de croissance et de développement de la plante autorise la réalisation de trois campagnes par an (Amrar, 2013):

- Les cultures de saison (plantation janvier-mars) avec près de 67 800 ha de superficies ;

Les cultures d'arrière-saison (plantation juillet-août) occupent la seconde place avec 50 000 ha, soit plus du tiers des superficies ;

- Les cultures de primeurs (plantation octobre-novembre), occupent une place mineure avec moins de 4500 ha.

D'après le tableau 1, la superficie et la production de la pomme de terre sont en augmentation continue, notamment durant les trois dernières années où la moyenne d'augmentation annuelle est d'environ 20 %.

La pomme de terre est un produit de base pour le consommateur algérien au même titre que les céréales et les légumes secs; la consommation par habitant est estimée à 110kg/an (FAO STAT, 2013).

**TABLEAU I** Evolution de la culture de pomme de terre en Algérie durant la période 2003 – 2013 : Superficie et production.

<b>ANNEES</b>	<b>SUPERFICIES (ha)</b>	<b>PRODUCTION (tonnes)</b>
<b>2003</b>	88.660	1.879.918
<b>2004</b>	93.144	1.896.270
<b>2005</b>	99.717	2.156.550
<b>2006</b>	98.825	2.180.961
<b>2007</b>	79.339	1.506.859
<b>2008</b>	91.841	2.171.058
<b>2009</b>	105.121	2.636.057
<b>2010</b>	121.996	3.300.312
<b>2011</b>	131.903	3.862.194
<b>2012</b>	138.666	4.219.476
<b>2013</b>	140.000	4.400.000

Source : <http://faostat.fao.org>.

En raison de sa grande demande sur le marché national, la pomme de terre est cultivée sur tout le territoire. On distingue quatre zones géographiques de production (Chehat, 2008) :

- L'Ouest représenté par les wilayate de Tlemcen, Mostaganem, Chlef, Tiaret, Mascara (soit 21% des superficies) ;
- Le Centre dans les wilayate de Bouira, Ain Defla, Tipaza, Alger, Boumerdes, et Tizi- Ouzou (soit 31% des superficies) ;
- L'Est principalement dans Skikda, Guelma, Sétif, Mila et Batna (soit 7% des superficies) ;
- Le Sud est représenté principalement par l'oasis d'El Oued où la culture de pomme de terre était introduite durant les années 90 et n'a cessé de se développer avec une superficie de 7000 ha/an.

Cependant, le développement de cette filière est freiné par la non disponibilité des semences (plants) aux moments opportuns et par leur prix très élevé, souvent plus de 50 % du coût de la culture (Nouad, 2008).

Les variétés de pomme de terre homologuées destinées à la production et à la commercialisation en Algérie sont en nombre de 133 (CNCC 2012), dont les principales variétés cultivées sont :

- Les variétés à peau blanche : Spunta, Atlas, Timate, Fabula, Arnova, Liseta, Burren, Safrane, Escort, Alaska, Arinda ;
- Les variétés à peau rouge : Désirée, Kondor, Bartina, Pamela, Sarpo Mira, Kuroda, Rubis.

**1.2. Caractères botaniques :** La pomme de terre est originaire de la Cordillère des Andes au Sud-Ouest de l'Amérique du Sud (le sud de Pérou et le nord ouest de la Bolivie), dont sa domestication remonte à environ 8 000 et 5 000 ans av. J.-C.. Introduite en Europe vers la fin du XVIe siècle à la suite de la découverte de l'Amérique, elle s'est rapidement répandue dans le monde (Rousselle *et al.*, 1996).

La pomme de terre est une espèce tétraploïde avec 48 chromosomes, à multiplication végétative, cultivée pour ses tubercules, organes de réserve et de multiplication riches en substances nutritives. Du point de vue anatomique, ce tubercule est une tige modifiée, aux

entre-nœuds courts et épaissis et dont les bourgeons vont donner naissance à des germes appelés yeux (Rousselle *et al.*, 1996).

**1.3. Cycle de développement de la plante :** La durée du cycle végétatif de la pomme de terre varie de 90 à 150 jours ; elle dépend de l'état physiologique des tubercules qui sont plantés, de l'ensemble des facteurs agroclimatiques et des variétés utilisées (Rousselle *et al.*, 1996).

***Germination :*** Après la plantation du tubercule, ses germes s'allongent jusqu'à atteindre le niveau du sol, ce qui constitue le stade de la levée. Dans le même temps, les racines commencent leur élongation et leur ramification.

***Croissance végétative :*** Les germes poursuivent leur croissance au-dessus du sol en devenant des tiges feuillées. Les bourgeons aériens des tiges donnent des rameaux, et les bourgeons souterrains généralement des stolons.

***Tubérisation :*** Selon les variétés et les conditions du milieu pour une même variété, les stolons cessent leur élongation et leurs extrémités se renflent pour former les ébauches des tubercules. Les ébauches différenciées vont grossir en emmagasinant des réserves formées à partir des métabolites synthétisés par la plante au niveau du feuillage.

Le grossissement des tubercules s'arrête pendant la sénescence de la plante qui se traduit classiquement par le jaunissement progressif des feuilles, de la base vers le sommet de la plante et conduit au dessèchement total du système aérien.

***Repos végétatif :*** Pendant leur grossissement, les tubercules se trouvent dans un état de repos végétatif et leurs bourgeons sont incapables de croître pour donner des germes (phase de dormance). Ce repos continue après la récolte pendant une période d'environ 3 à 4 mois. A la fin de ce repos, la croissance des germes redevient possible, ce qui constitue le point de départ d'un nouveau cycle de végétation.

**2. La culture de tomate :** La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est cultivée dans de nombreux pays du monde (170 selon la FAO, 2010) et sous divers climats, y compris dans des régions relativement froides, grâce au développement des cultures sous abri.

La production de tomate connaît deux grandes filières : la tomate pour la consommation fraîche (tomate maraichère) d'une part et la tomate destinée à la transformation et la conserve (tomate industrielle) d'autre part.

**2.1. Situation en Algérie :** En Algérie, La culture de la tomate est un des légumes les plus important. C'est une culture à cycle assez court avec un rendement élevé.

La tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) qui appartient à la famille des solanacées, est une espèce herbacée, vivace cultivée comme plante annuelle.

La tomate est cultivée selon deux modes de production : en culture maraichère et en culture industrielle. La tomate représente 8,4% de la superficie totale réservée aux cultures maraichères et industrielles, et est représentée par 65,06% pour la tomate maraichère et 40,1% pour la tomate industrielle (MADR, 2013).

**TABLEAU II :** Evolution de la culture de tomate maraichère en Algérie durant la période 2003-2013 : Superficie et production.

ANNEES	SUPERFICIES (ha)	PRODUCTION (tonnes)
2003	45.730	887.097
2004	46.739	1.092.273
2005	42.354	1.023.445
2006	31.005	796.160
2007	20.079	567.313
2008	19.655	559.249
2009	20.789	641.034
2010	21.358	718.235
2011	20.575	771.606
2012	21.542	796.963
2013	21.872	801.058

Source : <http://faostat.fao.org> ; MADR, 2013.

Les données du tableau II montrent une augmentation continue des superficies et des productions de tomate durant les cinq dernières années. Cette augmentation résulte de la demande de tomate dans le marché national.

Selon les régions et les conditions agroclimatiques, on distingue trois saisons de culture de tomate en Algérie, réparties comme suit (Snoussi, 2010) :

- Cultures de primeur sous serre présente dans les zones suivantes :
  - Le littoral dans les wilayate de Tipaza, Alger, Boumerdes, Skikda et Jijel.
  - Les plaines intérieures dans les wilayate de Tiaret, Oum El Bouaghi et Guelma.
  - Le sud dans les wilayates de Biskra et Adrar.
- Cultures de saison en plein champ dans les zones du littoral (Tipaza, Alger, Boumerdes, Skikda et Jijel).
- Culture d'arrière saison en plein champ dans les plaines intérieures (Tiaret et Guelma).

Selon l'ITCMI (2012), la semence utilisée en Algérie provient totalement de l'étranger et principalement de Hollande, France et d'Amérique. Les variétés de tomate cultivées sont classées selon leur croissance du type déterminée ou indéterminée.

Les variétés de tomate utilisées sont soit des variétés fixées ou des variétés hybrides homologuées en Algérie.

- Les variétés à croissance indéterminée : Marmande et Saint pierre comme variétés anciennes fixées, et les variétés Actana, Agora, Bond, Nedjma, Toufan, et Zahra comme hybrides homologués (ITCMI, 2012).
- Les variétés à croissance déterminée : Aicha comme variété fixée et les variétés Farouna, Joker, Luxor, Tomaland, Zigana, Zeralda comme hybrides homologués (ITCMI, 2012).

**2.2. Caractères botaniques :** La tomate est originaire des régions côtières andines du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud (Colombie, Équateur, Pérou, nord du Chili). C'est seulement dans ces régions que les chercheurs ont trouvé des plantes spontanées de diverses espèces de l'ancien genre *Lycopersicon*, notamment *Solanum lycopersicum cerasiforme*, la tomate cerise (Dominique *et al.*, 2009). Elle était initialement considérée comme une plante ornementale, et n'a été cultivée pour son fruit qu'à partir du milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle.

La tomate est une espèce diploïde avec  $2n=24$  chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants monogéniques dont certains sont très importants pour la sélection (Benton, 2008).

C'est une plante à croissance soit indéterminée avec trois nœuds entre chaque inflorescence, ou déterminées avec deux nœuds entre chaque inflorescence et se termine par une grappe de fruits (Benton, 2008).

**2.3. Cycle de développement de la plante :** La tomate est une plante de climat tempéré chaud. Sa température optimale de croissance se situe entre 15 °C (la nuit) et 25 °C (le jour). Elle craint le gel et ne supporte pas les températures inférieures à + 2 °C. La durée du cycle végétatif complet de la tomate est de 4 à 6 mois après le semis (Benton, 2008) ; définie par les stades suivants :

**La germination :** A température ambiante comprise entre 18 et 24°C, la levée s'effectue au bout de 6 à 8 jours. Au-dessus du sol apparaissent la tigelle et deux feuilles cotylédonaires simples et opposées. Dans le sol, la racine possède un manchon de poils absorbants bien visibles (Naika et al., 2005).

**La croissance végétative :** La racine s'allonge et prend l'aspect d'un filament blanchâtre sur lequel apparaissent des racines secondaires. Les deux premières vraies feuilles découpées apparaissent vers le 11<sup>ème</sup> jour. Elles ne deviennent bien développées que vers le 20<sup>ème</sup> jour. Le jeune plant est de 15 à 20 cm de hauteur, idéal pour le repiquage et la croissance progresse (Naika et al., 2005).

**La floraison :** Environ deux mois et demi après le semis, la première inflorescence apparaît. Les autres inflorescences vont apparaître au-dessus de la première avec, entre chaque inflorescence, un nombre variable de feuilles (Benton, 1999).

**La fructification/ maturation :** Elle débute durant la phase de floraison. Elle commence par la nouaison des fleurs de l'inflorescence de base et se poursuit par les inflorescences supérieures au fur et à mesure de l'apparition des inflorescences et de la fécondation des fleurs. Les fruits se développent, grossissent et après avoir atteint leur taille définitive, ils commencent par perdre leur coloration verte au profit du jaune puis au rouge de plus en plus accentué (Naika et al., 2005).

**2.4. Principales maladies de la pomme de terre et la tomate :** Ces deux cultures peuvent être la cible de nombreux ravageurs, insectes, nématodes, et maladies

causées par différents agents pathogènes : oomycètes, champignons, bactéries, virus ou phytoplasmes et qui peuvent concerner tant les cultures que la récolte en conservation.

La maladie la plus importante à travers le monde est sans conteste le mildiou, dû à l'oomycète *Phytophthora infestans*. Cette maladie continue à causer des dégâts dans toutes les régions où les conditions d'environnement lui sont favorables ; elle peut détruire toutes les parties aériennes des plantes en moins d'une semaine.

**TABLEAU III** : Les principaux agents pathogènes infectant la tomate et la pomme de terre (Ait ouada *et al.*, 2008 ;Benton, 2008 ; Dominique, 2009 ; Naika *et al.*, 2005 ; Rousselle *et al.*, 1996; Snoussi, 2010).

MALADIES	AGENTS PATHOGENES	PLANTE HOTE
<i>Les maladies causes par les oomycètes et les champignons</i>		
Mildiou « Late Blight »	<i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary.	Pomme de terre et tomate
Alternariose « Early blight »	<i>Alternaria solani</i> Sorauer Et <i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	Pomme de terre et tomate
Pourriture grise	<i>Botrytis cinerea</i> Pers.	Pomme de terre et tomate
Verticilliose «Verticillium wilt»	<i>Verticillium</i> spp.	Pomme de terre et tomate
Oidium de tomate	<i>Leveillula taurica</i> (Lev.) G. Arnaud	Tomate
Anthraxnose	<i>Colletotrichum coccodes</i> (Wallr.) S. Huges	Pomme de terre et tomate
Sclerotiniose	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary.	Pomme de terre et tomate
Septoriose	<i>Septoria lycopersici</i>	Pomme de terre et tomate

Fonte de semis	<i>Pythium</i> spp. ou <i>Rhizoctonia solani</i>	Pomme de terre et Tomate
Rhizoctone brun	<i>Thanatephorus cucumeris</i> (A.B Frank) Donk, Anamorphe <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn.	Pomme de terre
<b>Les maladies bactériennes</b>		
Chancre bactérien de la tomate	<i>Clavibacte michiganensis</i> <i>subsp. Michiganensis</i> (Smith) Davis <i>et al.</i>	Tomate
Moucheture bactérienne	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>Tomato</i> (Okabe) Young <i>et al.</i>	Tomate
Moëlle noire	<i>Pseudomonas corrugata</i> Roberts et Scarlett	Tomate
Pourriture molle et jambre noire « Blackleg, soft rot »	<i>Pectobacterium carotovorum</i> subsp. <i>Atrosepticum</i> (van Hall 1902) Hauben <i>et</i> <i>al.</i> 1999	Pomme de terre
Flétrissement bactérien « Ring root »	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i> (Spieckermann and Kotthoff 1914) Davis <i>et al.</i> 1984	Pomme de terre
Flétrissement bactérien « Bacteria wilt »	<i>Ralstonia solanacearum</i> (Smith 1896) Yabuuchi <i>et al.</i> 1996	Pomme de terre
<b>Les maladies virales</b>		
Maladie bronzée de la tomate	Virus de la maladie bronzée de la tomate (TSWV)	Tomate
Maladie des feuilles jaunes en cuillère de la tomate	Virus des feuilles jaunes en cuillère de la tomate (TYLCV)	Tomate
Rabougrissement buissonneux de la tomate	Virus du rabougrissement buissonneux de la tomate (TBSV)	Tomate
Mosaïque du tabac sur tomate (brunissement interne des fruits)	Virus de la mosaïque du tabac (TMV)	Tomate
Mosaïque du concombre sur tomate	Virus de la mosaïque du concombre (CMV)	Tomate

---

Mosaïque de la tomate	Virus de la mosaïque de la tomate (ToMV)	Tomate
Virus de l'enroulement de la pomme de terre	Potato Leafroll Virus (PLRV)	Pomme de terre
Mosaïque, frisolées et bigarrures de pomme de terre	Potato Virus A, Potato Virus X, Potato Virus M, Potato Virus Y.	Pomme de terre

---

**3. Présentation du mildiou et l'agent pathogène:** Le mildiou de la pomme de terre et de la tomate est causé par l'oomycète *Phytophthora infestans* (Erwin *et al.*, 1983). C'est une maladie très redoutable non seulement dans les régions tempérées mais pratiquement dans toutes les zones de production de ces deux cultures (Fry *et al.*, 1992). Grâce aux nombreux échanges commerciaux (via la semence surtout), les souches de mildiou ne connaissent pas les frontières.

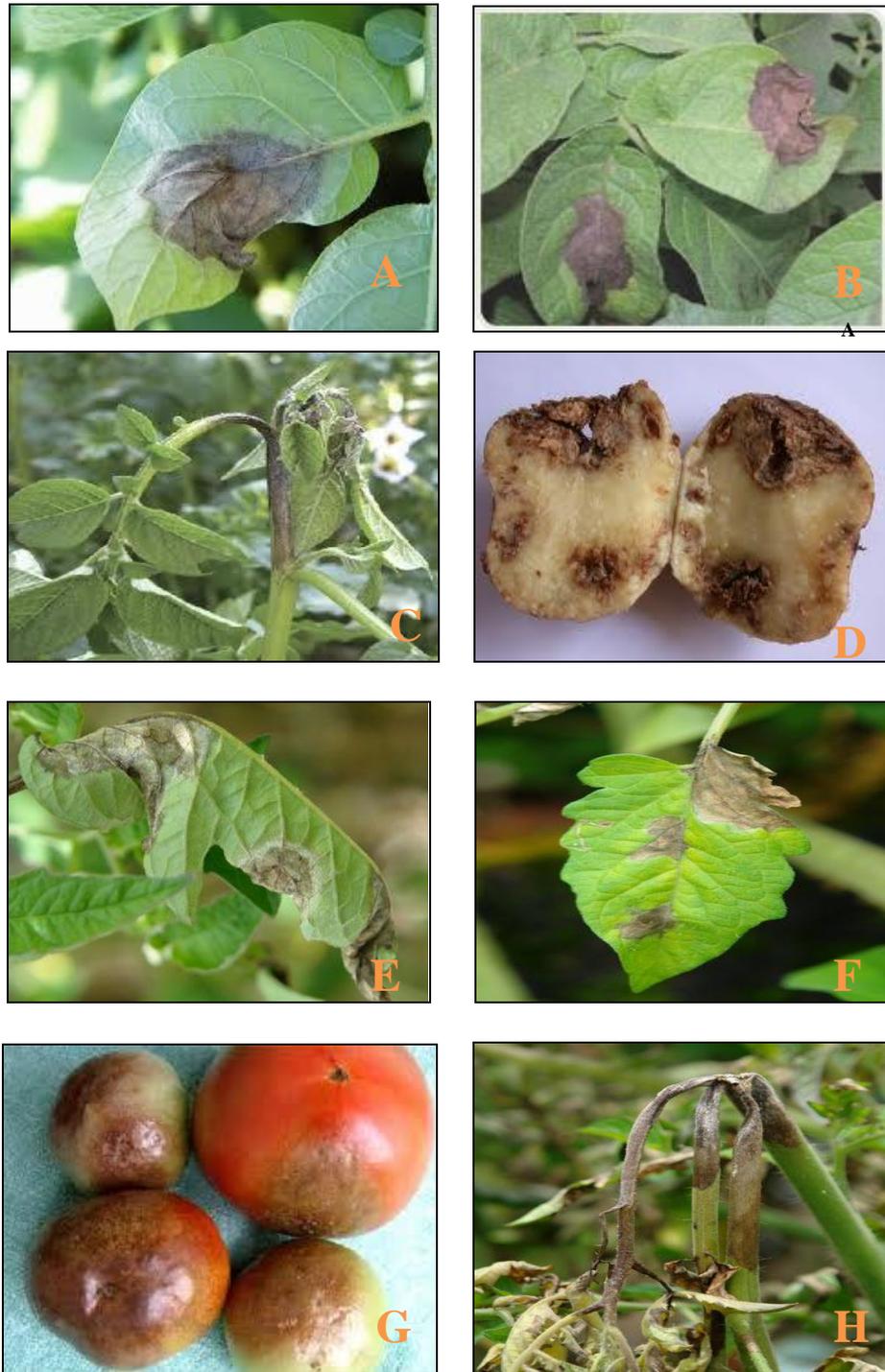
L'extension de cette maladie par l'agent pathogène, à partir de son aire d'origine (la zone andine, longtemps contestée au détriment du Mexique), s'est déroulée en plusieurs étapes à partir des années 1840. Une première migration a permis à la lignée US-1 de migrer aux Etats Unis, et par la suite à l'Europe, probablement par l'intermédiaire de semences de pomme de terre contaminées (Goodwin *et al.*, 1993 ; Andrivon, 1996). Après avoir colonisé le continent européen, le mildiou est disséminé dans tous les pays producteurs de la pomme de terre dans le monde. En Afrique, la maladie a été détectée pour la première fois en 1941 en Afrique du Sud (Coxet et Large 1960 *in* Sedigui *et al.*, 1997).

**3.1 Symptômes :** Le mildiou peut attaquer tous les organes aériens de la plante. Il se caractérise par le développement de taches d'abord humides, voire de plages, sur les folioles. Ces attaques confèrent localement aux tissus touchés une teinte vert pâle à vert brun (Figs 1B, 1F) (Agrios, 2005). Des portions importantes du limbe finissent par être affectées et ne tardent pas à brunir et se nécroser. Ces tâches sont fréquemment entourées d'une marge de tissus livide, mal définie, sur laquelle se forme parfois, à la face inférieure du limbe, un discret et fugace duvet blanc (Fig 1A, 1E) constitué par les sporangiophores

et les sporocystes de *Phytophthora infestans* (Dominique *et al.*, 2009). Lorsque les conditions sont particulièrement favorables, la progression des symptômes sur les folioles est fulgurante ; les feuilles, les rameaux voire les plants entiers, finissent par se nécroser et se dessécher entièrement (Nelson, 2008).

Sur la tige, le symptôme typique est une nécrose brun violacé, s'étendant sur 2 à 10 cm à partir d'un nœud (Fig 1C, 1G). Par temps humide, cette nécrose se couvre d'une couche poudreuse blanche ou grisâtre (Rousselle *et al.*, 1996). Des brunissements comparables peuvent être observés sur les bouquets floraux ; ils sont à l'origine de la chute de nombreuses fleurs (Dominique *et al.*, 2009).

L'infection des tubercules se manifeste par la présence de zones légèrement déprimées de taille variable et de forme irrégulière, où la peau est brun violet et coriace. Les tissus sous-jacents acquièrent une coloration havane ou brun clair, et une pourriture sèche et granuleuse se développe dans la chair du tubercule (Fig 1D) (Platt, 2008). En conditions humides ou chaudes, une infection secondaire bactérienne ou fongique peut transformer en pourriture aqueuse les zones atteintes par le mildiou (Platt, 2008). Sur le fruit de tomate, les dommages se caractérisent par des plages irrégulières brunes ayant un aspect bronzé et luisant. Ces symptômes se développent régulièrement à partir de la zone pédonculaire, et un duvet blanc peut apparaître sur les parties affectées du fruit. L'intérieur du fruit a une texture liégeuse et une couleur brune (Fig 1H) (Lacroix, 1999). La pourriture causée par le mildiou est ferme (Nelson, 2008).



**Figure 1 :** Symptômes sur les différents organes du plant de pomme de terre (A,B,C,D) (Agrios, 2005) et de tomate (E,F,G,H) en plein champ (Nelson, 2008). **A, B, E et F :** Sur les feuilles de pomme de terre (**A, B**) et de tomate (**E, F**), les premiers symptômes sont des taches décolorées, d’aspect huileux qui brunissent rapidement et s’entourent d’un liseré clair à la face supérieure du limbe et les fructifications de *P. infestans* (sporangies et sporangiophores) à la face inférieure. **C et H :** Sur la tige de pomme de terre (**C**) et tomate (**H**), apparition de nécroses brun-violacées. **D et G :** Sur la production, les tubercules de pomme de terre (**D**) et les fruits de tomate (**H**), des tâches superficielles et irrégulières sont observées.

### 3.2 L'agent pathogène :

**3.2.1. Position taxonomique :** *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary est un Oomycète de la famille des *Peronosporaceae* (Agrios, 2005). Les oomycètes sont caractérisés par un mycélium non cloisonné et de zoospores biflagellés, dont l'un dirigé vers l'avant est cilié et l'autre dirigé vers l'arrière est lisse. Le thalle est diploïde, avec une méiose qui se produit dans les gamétanges et qui aboutit à la formation des spores sexués ou oospores (Agrios, 2005).

Les Oomycètes sont considérés comme « pseudo-fungi », en raison de l'absence de la chitine au niveau de leur paroi (paroi composée de glucane et des petites quantités d'hydroxyproline et cellulose) ; la nature du stérol de leur membrane plasmique (le fucostérol au lieu de l'ergostérol) ainsi que par la nature de leur substance de réserve (les mycolaminarine au lieu du glycogène) (Lepoivre, 2003).

Le genre *Phytophthora* est divisé en six groupes morphologiques, L'espèce *P. infestans*, séparée morphologiquement des autres espèces, est classée dans le groupe IV.

Selon Agrios (2005), la classification de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary s'établit comme suit :

Règne : chromista ou Stramenopila

Phylum : Oomycota

Classe : Peronosporia

Ordre : Péronosporales

Famille : Peronosporaceae

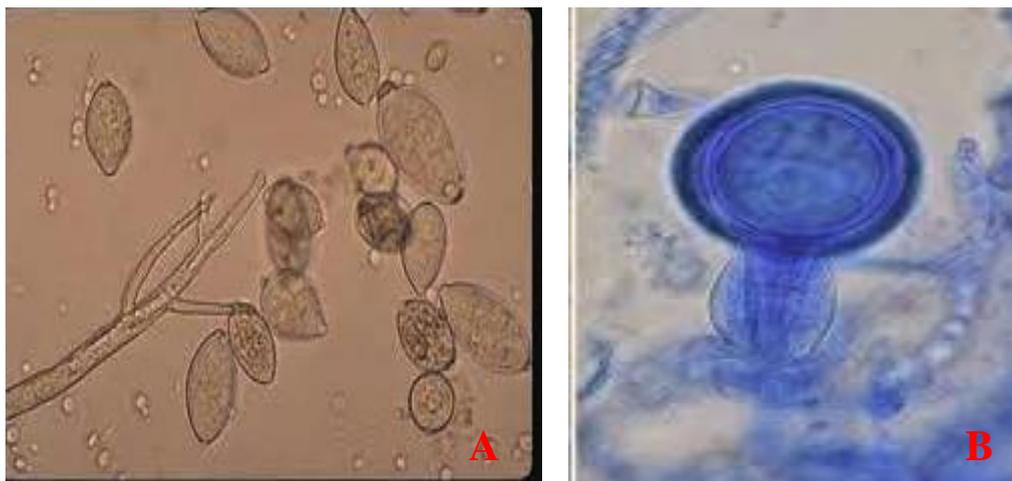
Genre : *Phytophthora* de Bary

Espèce : *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary

**3.2.2. Description morphologique :** *P. infestans* possède un mycélium coenocytique hyalin à développement endogène (intercellulaire et intracellulaire) via la formation d'haustoria (Thurston et Shultz, 1981). Le mycélium produit des sporangiophores qui forment à leurs extrémités des sporanges (Fig 2A) (Agrios, 2005).

Les sporanges germent soit par la formation d'un tube germinatif, lorsque la température est supérieure à l'optimum de germination des sporanges (germination directe) ; soit par la différenciation de leur cytoplasme en zoospores, si la température est inférieure à l'optimum de germination du mycélium et en présence de l'eau (germination indirecte) (Ribiero in Erwin *et al.*, 1983). Les sporanges sont de forme ovoïde à elliptique effilé à la base (Erwin et Ribeiro, 1996). Les zoospores sont mobiles possédant deux flagelles : un flagelle postérieur lisse et un flagelle antérieur portant des mastigonèmes (Erwin et Ribeiro, 1996).

*Phytophthora infestans* est un organisme hétérothalique possédant deux types de compatibilité sexuelles A1 et A2 (Gallegly et Galindo, 1958). Lorsque les mycélia de types sexuels différents se rencontrent et produisent des oogones et des anthéridies, il peut y avoir reproduction sexuée avec production d'oospores (Fig 2B) (Platt, 2008). Les oospores sont sphériques d'une couleur brun rougeâtre, possédant une paroi épaisse. Lorsqu'elles germent, les oospores forment un tube germinatif à l'extrémité duquel apparaît un sporange (Platt, 2008). Les oogones sont globuleux, alors que les anthéridies sont amphigynes et généralement de forme allongée (Agrios, 2005).



**Figure 2 :** Morphologie de *Phytophthora infestans*. **A :** Sporangiophores et sporanges de *P. infestans* (Gr : X 80 ; Source : Janice Y. Uchida). **B :** Oospore de *P. infestans* (Gr : X 125).

**3.2.3. Gamme d'hôtes :** En plus de la pomme de terre et de la tomate, plusieurs solanacées constituent des hôtes préférés de l'espèce *P. infestans* (Grünwald et Flier, 2005). La pathogénicité de ce champignon ne se limite pas seulement aux grandes cultures naturelles, puisqu'environ 89 espèces ont été révélées des hôtes pour ce pathogène (Erwin et Ribeiro, 1996).

Ainsi, la large apparition de nouveaux génotypes de *P. infestans* a contribué à l'élargissement de la gamme d'hôtes de ce pathogène (Grünwald et Flier, 2005).

**3.2.4. Cycle biologique :** *P. infestans* comprend deux phases : une phase asexuée assurée par les sporanges et une autre phase sexuée assurée par les oospores (Fig 3).

Une fois sur les folioles, les sporanges libèrent des zoospores flagellées ; la température optimale de leur libération est de l'ordre de 13°C. Ces zoospores, une fois fixées, perdent leurs flagelles et s'enkystent puis émettent un tube germinatif qui pénètre dans la foliole le plus souvent via les stomates mais aussi, parfois directement au travers de la cuticule des cellules épidermiques (Agrios, 2005). Les sporanges peuvent donner aussi naissance à un filament germinatif et l'infection se réaliserait en 3 à 4 heures. Les tissus foliaires sont par la suite rapidement envahis par les mycéliums non cloisonnés (la température optimale de croissance est de 23°C), qui vont désorganiser progressivement les tissus colonisés (Dominique *et al.*, 2009).

Après être installé dans l'hôte, le mycélium de *P. infestans* émet des sporangiophores sur la face inférieure des folioles par les stomates, parfois directement au travers de l'épiderme. Ces sporangiophores produisent de nombreux sporanges citrifformes (Agrios, 2005). Cette étape nécessite la présence d'une forte humidité (égale ou supérieure à 90%) et des températures comprises entre 3 et 26°C (Grünwald et Flier, 2005). Les sporanges sont aisément entraînés par le vent et la pluie, parfois sur des longues distances et gagnent de nouvelles plantes encore saines, assurant des contaminations secondaires (Goodwin *et al.*, 1993).

La dissémination de la maladie s'effectue parfois par l'intermédiaire des plants contaminés et si la contamination des semences par les oospores s'est confirmée sur le terrain, elles pourraient assurer une dispersion de la maladie sur de longues distances (Fernández *et al.*, 2004).

Pour les tubercules, les sporanges contaminent le sol et libèrent des zoospores. Ces derniers pénètrent dans les tubercules à travers les lenticelles ou les blessures. Dans le tubercule, le mycélium se développe entre les cellules et envoie des haustoria à l'intérieur des cellules (Rousselle *et al.*, 1996).

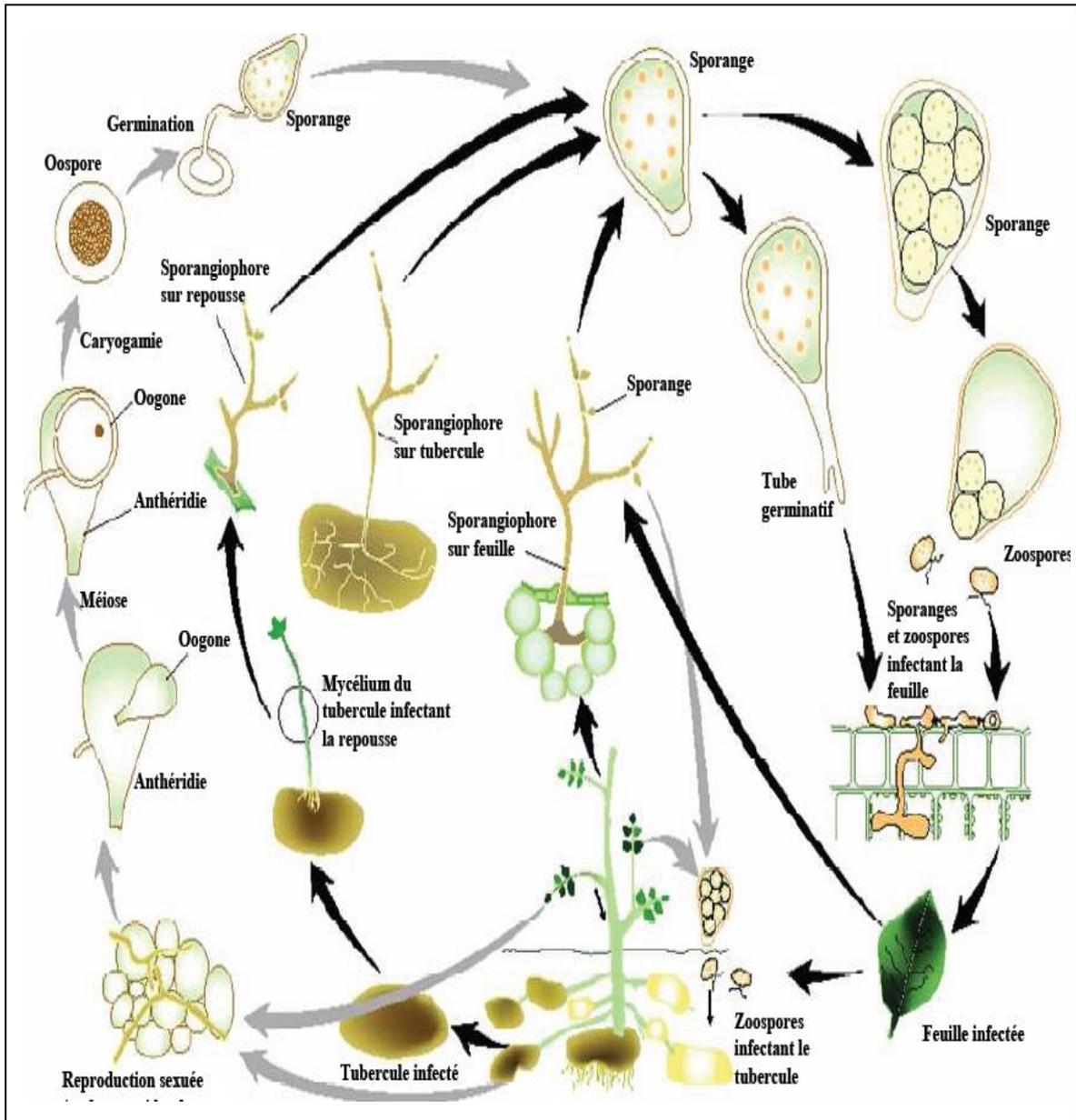


Figure 3 Cycle biologique de *Phytophthora infestans*. D'après : <http://www.eucablight.org>.

**3.2.5. Source d'inoculum primaire et mode de conservation :** Le mycélium hivernant dans les yeux et/ou les blessures des tubercules de semences constitue la source principale d'inoculum primaire (Andrивon, 1995). En effet, un tubercule infecté sur 100000 sains est considéré comme une quantité d'inoculum suffisante pour déclencher une épidémie générale (Weste, 1983). L'infection peut être aussi provoquée par les propagules du champignon (sporange, oospores et fragments mycéliens) conservés dans le sol sur les débris des fanes et parfois sur les repousses en zone à climat doux (Paitier, 1980). Selon ce dernier auteur, il suffit qu'une quantité infiniment petite de sporanges présente dans la culture pour qu'une épidémie puisse avoir lieu, lorsque les conditions climatiques sont favorables. Cependant, les oospores peuvent vivre lentement sous des conditions défavorables ; ce sont des structures de résistance pouvant être des formes importantes d'inoculum primaire (Duniway, 1983 ; Flier *et al.*, 2001 ; Kuznetsova *et al.*, 2010). Ainsi, des études ont montré que dans les champs mexicains, les oospores servent comme source d'inoculum primaire (Flier *et al.*, 2001 ; Fernandez *et al.*, 2004).

**3.2.6. Compatibilité sexuelle :** Les premières études de la reproduction sexuée de *P. infestans* ont montré que la population du pathogène est hétérothalique, avec deux types sexuels « mating type » nommés A1 et A2 (Miller, 2001). Cet auteur a montré que la reproduction sexuée n'est réalisable qu'après confrontation entre deux mycéliums de types sexuels différents A1 et A2.

Au Mexique, centre d'origine de *P. infestans*, l'analyse des différentes collections de ce pathogène montre une coexistence à des proportions presque égales des deux types sexuels (Fry *et al.*, 1992). Par conséquent, les populations existantes dans les champs mexicains sont surtout le résultat de la recombinaison sexuée (Tooley *et al.*, 1985).

En dehors du Mexique, tous les isolats récoltés avant les années quatre-vingt ont été déterminés de type sexuel A1. Mais, depuis les années 1980, la fréquence d'apparition des isolats A2 est devenue de plus en plus importante en Europe (Drenth *et al.*, 1995), aux Etats Unis (Dorrance *et al.*, 1999), au Canada (Petters et Platt, 1998; Daaf et Patt, 1999 *in* Platt 2008) et en Afrique (Shaw *et al.*, 1985).

En Afrique du nord, El Ismaili (1994) a suggéré la présence du type de compatibilité sexuel A2 au Maroc, après avoir observé quelques oogones et anthéridies sur une culture pure de *P. infestans* (Sedigui, 1997). D'autres travaux ont confirmé la présence de ce type

de compatibilité sexuel dans ce pays par Hammi, (2003) et Andrivon *et al* (2007). En Tunisie, la présence de ce type a été montrée en 2006 par Jmour et Hamada (2006). En Algérie, l'existence du type sexuel A2 a été observé pour la première fois par Beninal *et al* (2008).

**3.3. Les facteurs affectant l'évolution de la maladie :** Lorsque les conditions du milieu sont favorables, l'évolution de l'épidémie dépend de l'agressivité du pathogène et du système de défense de la plante hôte (Pieters *et al.*, 1992).

**3.3.1. Les facteurs climatiques :** Comme de nombreux agents de mildiou, *P.infestans* se manifeste surtout dans les zones de production qui connaissent les périodes prolongées d'humidité (pluies, irrigation par aspersion, brouillards, rosée.....) et de temps frais (Platt, 2008). Comme son nom anglo-saxon « late blight » l'indique, le mildiou se manifeste tardivement en saison.

La période de latence et la croissance de la lésion dépendent essentiellement de la température, alors que l'intensité de l'infection dépend de l'humidité. La sporulation est abondante durant les périodes humides et fraîches, optimales entre 16 et 22°C et inhibée par les périodes chaudes et sèches (Dominique *et al.*, 2009).

La production de sporanges est importante à 18°C et nulle à 28°C. Les sporanges germent en formant de cinq à dix zoospores par sporanges à des températures entre 12 et 15°C, au-delà de 15°C, les sporanges produisent des tubes germinatifs (Agrios, 2005). Les oospores se forment en quantité entre 8 et 15°C ; leur production nécessite la présence d'humidité et d'hygrométrie élevées en permanence (Grünwald *et al.*, 2005).

Des nuits froides et des journées modérément chaudes avec une forte humidité favorisent l'extension de la maladie. Les périodes pluvieuses, les irrigations par aspersion, les rosées, sont aussi très favorables aux épidémies, et 2 heures de présence d'eau sur les feuilles sont suffisantes pour amorcer une infection (Duniway *et al.*, 1983).

**3.3.2. Les facteurs du sol :** Les sporanges produits par les lésions développées sur tige sont souvent à l'origine de l'infection des tubercules (Ribiero, 1983). Cependant, l'importance de l'infection dépend de la texture du sol telle qu'une grande porosité qui facilite le déplacement des spores. *P. infestans* possède une faible capacité saprophytique

dans le sol, ceci est dû à l'inactivation et la rapide détérioration des sporocystes et du mycélium par les micro-organismes du sol (Fernandez *et al.*, 2004).

**3.3.3. La prédisposition de l'hôte :** Des études ont montré que la nutrition, la photopériode, l'intensité lumineuse et la présence d'autres agents pathogènes sont impliqués dans la variabilité de la sensibilité des cultivars au mildiou (Dominique *et al.*, 2009). La croissance des lésions et l'intensité de sporulation dépendent de la nutrition azotée (Erwin *et al.*, 1983).

Cependant, la sévérité de la maladie varie avec l'âge de la plante et des feuilles. Ainsi, le degré d'infection des tubercules en période de culture dépend de l'âge et de l'état de ces organes (Rousselle *et al.*, 1996). L'importance de l'infection des tubercules dépend également des conditions de stockage et de croissance de ces organes (Rousselle *et al.*, 1996).

**3.4. La reproduction sexuée :** La reproduction sexuée est le moyen le plus efficace pour induire une importante diversité génotypique, qui permettra au pathogène de s'adapter et faire face aux contraintes du milieu extérieur (Fry *et al.*, 1992).

La reproduction sexuée chez *P. infestans* entraîne la production d'oospores, une structure résistante (Elliott, 1983). Elle a lieu par la fusion de deux structures sexuelles différenciées: gamétanges (filaments de thalle différenciés). L'un de ces gamétanges : l'antheridie (organe mâle) injecte par l'intermédiaire d'un tube de fertilisation, un ou plusieurs noyaux gamétiques féconds dans le protoplasme de l'organe femelle : l'oogone (Boccas, 1979).

*P. infestans* est hétérothalique, qui nécessite la présence de deux types sexuels A1 et A2 pour se reproduire (Miller, 2001). L'hétérothalisme chez *P. infestans* est physiologique, les deux structures reproductives (gamétanges) mâle et femelle peuvent être produits indifféremment par le thalle de chaque type sexuel (Miller, 2001).

#### **3.4.1 Influence de certains facteurs sur la production d'oospores chez *P. infestans***

**3.4.1.1 Les exigences trophiques :** Elliot (1983) a rapporté que certains acides aminés tels que l'acide aspartique et glutamique constituent des sources d'azote bénéfiques pour l'accomplissement de la reproduction sexuée chez les *Phytophthora*. Par contre, d'autres

acides aminés telles que la valine et la leucine ne favorisent pas le processus sexuel, à cause de la toxicité de leur métabolites (Elliot, 1983).

La reproduction sexuée de plusieurs espèces de *Phytophthora* est stimulée par un rapport C/N élevé (Flier *et al.*, 2001).

Contrairement aux espèces de *Pythium*, les espèces de *Phytophthora* sont auxotrophes pour la thiamine qui est nécessaire pour leur reproduction sexuée (Boccas, 1979).

Plusieurs travaux ont rapporté l'implication des stérols dans la stimulation de la formation des oospores chez plusieurs espèces hétérothalliques de *Phytophthora* (Hohl, 1983). Les deux substances les plus impliquées dans le processus de la reproduction sexuée sont le sistosterol et le stigmasterol qui sont extraits de nombreux végétaux tels que le pois, l'avoine et le maïs (Boccas, 1979 ; Elliott, 1983 ; Hohl, 1983).

**3.4.1.2 Les facteurs climatiques :** la reproduction sexuée chez *P. infestans* dépend des conditions de l'environnement (Cohen *et al.*, 1997).

- **Température :** Chez plusieurs espèces de *Phytophthora*, les températures favorables à la reproduction sexuée sont sensiblement inférieures à celles de la croissance mycélienne (Drenth *et al.*, 1995).

Chez *P. infestans*, la production des oospores est obtenue *in vitro* à des températures comprises entre 18 et 21°C et *in vivo* de 8 à 20°C (Cohen *et al.*, 1997 ; Drenth *et al.*, 1995).

- **Humidité :** Ni les oospores ni les oogones ne sont observés sur des plants sévèrement attaqués par les deux types sexuels et incubés à une humidité relative de 50 à 80% (Cohen *et al.*, 1997). Par contre, les folioles ou les rondelles de feuilles de pomme de terre inoculés et placés sur l'eau permettent une importante production des formes sexuées (Drenth *et al.*, 1995 ; Cohen *et al.*, 1997).

- **Lumière :** La reproduction sexuée chez *Phytophthora* est inhibée par la lumière. Ce phénomène d'inhibition fut mis en évidence pour la première fois chez *P. infestans* en 1963 par Romero et Gallegly, qui montrèrent qu'un éclairage continu supprimait totalement la reproduction sexuée chez cette espèce (Boccas, 1979). C'est la phase d'induction précédant la différenciation des gamétanges qui est photosensible (Boccas, 1979).

Cet effet inhibiteur de la lumière continue sur l'oosporogenèse est considérablement atténué si les cultures de champignon sont incubées sous une photopériode de 12h (Hugenin et Boccas, 1971).

**3.4.1.3 Génotypes d' hôtes :** Certains travaux ont montré que les oospores sont produites en quantité plus importante sur les feuilles des cultivars de pomme de terre moyennement résistants que sur celles des cultivars sensibles (Drenth *et al.*, 1995 ; Hanson et Shattock, 1998).

Cependant, d'autres auteurs ont conclu qu'il n'existe pas d'effet du génotype de la pomme de terre sur la reproduction sexuée (Cohen *et al.*, 1997). Il reste que d'après ces derniers auteurs, la formation des oospores est plus importante sur la tomate que sur la pomme de terre.

**3.4.2 Conservation des oospores :** Les sporanges, les zoospores et le mycélium des espèces de *Phytophthora* ont une très courte longévité (Drenth *et al.*, 1995).

Avec la détection des deux types sexuels A1 et A2 dans plusieurs pays, de nombreuses études ont suggéré la possibilité de la contribution des oospores dans le cycle de vie de *Phytophthora infestans*. Les oospores sont des structures qui permettent aux *Phytophthora* de survivre dans des conditions adverses pendant de longues périodes dans des débris de plant ou dans le sol (Dominique *et al.*, 2009).

Les oospores peuvent être produites sur les feuilles, les tiges, les stolons, les tubercules, les fruits et les graines (Klarfeld *et al.*, 2009).

Ainsi, après une attaque sévère d'une culture de pomme de terre au Mexique par le mildiou, l'agent pathogène a conservé son pouvoir infectieux après deux ans (Turkensteen *et al.*, 2000).

Drenth *et al.* (1995) ont montré que les oospores de *P. infestans* restent vivantes après leur exposition à des températures comprises entre -80 et 35°C et sont capables de survivre au moins pendant toute une saison hivernale en Europe.

Mayton et al (2000) ont rapporté qu'en Amérique du nord, les oospores peuvent vivre dans différents environnements incluant le champ, les serres et les chambres froides.

**3.4.3 Germination des oospores :** La levée de la dormance des oospores est caractérisée par de profondes modifications de ces formes sexuées. Selon Boccas (1979), le protoplasme perd son aspect homogène et réfringent, devient granuleux et retrouve l'aspect qu'il avait avant la différenciation de l'oospore. Généralement, la germination des oospores chez les espèces de *Phytophthora* se réalise selon deux voies. Soit, la germination est dite

directe lorsque l'oospore émet un ou plusieurs tubes germinatifs qui se développent directement en un thalle, soit, le ou les tubes germinatifs émergeant de l'oospore se terminent par un sporange ; il s'agit de la germination indirecte (Boccas, 1979).

Concernant les facteurs influençant le processus de germination, les études sont peu nombreuses. La lumière, la température, la maturité des oospores et autres facteurs peuvent avoir une action sur la germination des oospores. Cependant, la lumière reste le facteur limitant de la germination des oospores ; l'action inductrice de la lumière sur la germination a été rapportée par plusieurs auteurs (Drenth *et al.*, 1995 ; Elliot, 1983 ; Kuznetsova *et al.*, 2010).

**3.4.4 Capacité infectieuse :** Les oospores constituent une source d'inoculum primaire, par leur pouvoir résistant, car elles peuvent persister longtemps sous des conditions défavorables (Duniway, 1983 ; Flier *et al.*, 2001 ; Kuznetsova *et al.*, 2010). Le pouvoir infectieux des formes sexuées de *Phytophthora infestans* a été confirmé au laboratoire (Drenth *et al.*, 1995 ; Turkensteen, 2000 ; Rubin *et al.*, 2001 ; Fernandez *et al.*, 2004 ; Kuznetsova *et al.*, 2010).

Les oospores survivant dans le sol sont capables d'infecter les plants en produisant des lésions sur les feuilles ou les tiges qui sont en contact avec le sol (Drenth *et al.*, 1995 ; Turkensteen *et al.*, 2000 ; Kuznetsova *et al.*, 2010). Kuznetsova *et al.* (2010) ont rapporté que les oospores peuvent passer la saison hivernale dans le sol et seront une source d'infection pour la prochaine saison de culture, conduisant à l'apparition des lésions sur la plante.

# MATERIEL ET METHODES

## 1. Matériels

### 1.1. Matériel végétal

Deux espèces végétales pomme de terre (*Solanum tuberosum*) et tomate (*Solanum lycopersicum*) sont utilisées dans ce travail. Pour chaque espèce, deux variétés sont choisies, présentant des degrés différents de sensibilité au *P. infestans*.

Les variétés de pomme de terre sont : Spunta (variété sensible) et Sarpo Mira (variété résistante) ; les semences sont fournies par le CNCC.

Les variétés de la tomate sont : Marmande (variété sensible) et Saint Pierre (variété moyennement sensible) dont les semences sont produites par l'ITCMI, durant la campagne 2008-2009.

**Tableau IV** Principales caractéristiques des variétés de pomme de terre et tomate testées (Catalogue variétale, ITCMI 2005).

Variété	Caractéristiques
<b>Spunta</b>	Variété néerlandaise, très cultivée dans les pays méditerranéens, connue par sa résistance à la chaleur et la sécheresse. C'est une plante à port dressé et très productive. Les tubercules ont une forme allongée, grande et régulière. La peau est jaune et lisse, aux yeux très superficiels, et la chair est jaune pâle.
<b>Sarpo Mira</b>	Variété danoise, demi-précoce à mi-tardive, très productive et d'une bonne conservation (dormance longue). Les tubercules ont une forme oblongue, grande. La peau est rouge et lisse aux yeux superficiels, et la chair est jaune pâle.
<b>Marmande</b>	Variété française, très précoce, productive à port vigoureux. Les fruits sont plats, côtelés, réunis en grappe (de 4 à 5 fruits). La chair est pleine, consistante, parfumées et résiste à l'éclatement à maturité.
<b>Saint Pierre</b>	Ancienne variété française à port vigoureux, très productive et demi précoce. Les fruits sont gros, ronds, lisses et réunis en grappe. La chair est ferme, charnue et savoureuse.

## 1.2. Matériel fongique

Six isolats de *Phytophthora infestans* sont choisis pour réaliser ce travail. Quatre d'entre eux sont isolés de pomme de terre : P- KURD-S (A1), P-ITGC-AR (A1), P-SAR-AR (A2) et P-10<sup>1</sup>- AR (A2); et deux sont isolés de la tomate : T-INA- AR (A1), T-INA-S -TIGE (A1) ; et sont présentés dans le tableau ci-dessus (Tab V).

**Tableau V** Désignation, années d'isolement, types sexuels, origines et plantes hôtes des isolats de *P. infestans*.

ISOLATS	ANNÉES	TYPES SEXUELS	ORIGINES	PLANTES HOTES
P-KURD-S	2011	A1	Ain Defla	Pomme de terre (Kuroda)
P-SAR-AR	2011	A2	ENSA Alger	Pomme de terre (Sarpomira)
P-ITGC-AR	2011	A1	Oued Smar	Pomme de terre (variété non connue)
P-10 <sup>1</sup> -AR	2009	A2	ENSA Alger	Pomme de terre (Spunta)
T-INA-AR	2011	A1	ENSA Alger	Tomate (variété non connue)
T-INA-S-TIGE	2011	A1	ENSA Alger	Tomate (variété non connue)

## 2. Méthodes

### 2.1. Test de pathogénicité des isolats étudiés

La capacité des isolats à causer une maladie constitue un trait de caractérisation très important. Il permet de déterminer leur degré d'agressivité sur leurs plantes hôtes.

#### 2.1.1. Préparation du matériel fongique

Une suspension sporangiale est préparée pour chaque isolat, à partir d'une culture âgée de 10 jours (Fig 4). La concentration en sporanges est ajustée à  $5.10^4$  /ml.

#### 2.1.2. Préparation du matériel végétal

Des feuilles saines prélevées de l'étage sub-apical des jeunes plants de pomme de terre (spunta et Sarpo Mira) et tomate (Marmande et Saint Pierre) sont lavées à l'eau de robinet, Après séchage, ces organes sont mis dans des boîtes de Pétri stériles de 90 mm de diamètre

contenant du papier filtre humidifié en plaçant la face supérieure en contact avec le papier filtre (Fig 5).

### 2.1.3. Inoculation et incubation

A l'aide d'une micropipette graduée, les folioles sont inoculées en déposant une goutte de 20 $\mu$ l de la suspension sporangiale contenant environ 200 à 300 sporanges sur le centre de la face inférieure. Les boîtes sont ensuite incubées à 18°C et sous une photopériode de 16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité. Pour chaque isolat, trois boites sont inoculées.



**Figure 4** Culture de *Phytophthora infestans* (Isolat : P- Kurd-S) sur milieu gélosé à base de petit pois .



**Figure 5** Folioles de pomme de terre (A) et de tomate (B) préparées pour l'inoculation.

## **2.2. Etude *in vitro* de la fertilité des confrontations des isolats de *P. infestans***

### **2.2.1. Les confrontations des isolats de *P. infestans* testés**

La fécondité des confrontant est évaluée sur le milieu gélosé à base de petits pois pour les confrontations d'isolats suivantes :

P-KURD-S (A1) X P-SAR-AR (A2);

P-KURD-S (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2);

P-ITGC-AR (A1) X P-SAR-AR (A2);

P-ITGC-AR (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2);

T-INA-AR (A1) X P-SAR-AR (A2);

T-INA-AR (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2);

T-INA-S-TIGE (A1) X P-SAR-AR (A2);

T-INA-S-TIGE (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2).

Ce test a pour but de vérifier la fertilité des confrontations avant d'être étudié sur le matériel végétal.

### **2.2.2. Mise en culture et incubation**

Pour chaque isolat à confronter, une pastille mycélienne de 4 mm de diamètre est prélevée à la périphérie d'une colonie âgée de 10 jours, puis les deux pastilles sont placées dans une boîte de Pétri de 90 mm contenant le milieu de culture à une distance 2 cm l'une de l'autre. Les croisements sont ensuite incubés à 18 °C et à l'obscurité pendant une période de 10 jours. Chaque confrontation fait l'objet de dix répétitions.

### **2.2.3. Dénombrement des oospores**

Après 10 jours d'incubation, des secteurs de la gélose sélectionnés sous la loupe, contenant des oospores en quantités importantes et réparties le long de la ligne de confrontation sont fragmentés en morceaux d'environ 1 cm<sup>2</sup>. Le fragment de gélose est fixé entre une lame et lamelle, et le nombre d'oospores est déterminé par comptage sous microscope (grossissement X40) (. Dix répétitions sont effectuées pour chaque croisement.

## **2.3. Etude *in planta* de la reproduction sexuée des isolats de *P. infestans***

### **2.3.1. Les confrontations des isolats de *P. infestans* testés**

Des suspensions de sporocystes de *P. infestans* sont préparées pour chaque isolat à partir de cultures mycéliennes âgées de 10 jours et ajustées à une concentration de  $5 \times 10^4$  sporanges/ml.

#### **2.3.1.1. Test de fertilité sur les folioles de pomme de terre et de tomate**

La production d'oospores par les isolats interfertiles est conduite sur des folioles entières prélevées de quatre variétés des deux espèces : pomme de terre et tomate.

Les huit confrontations fertiles *in-vitro* sont testés *in planta* :

P-KURD-S (A1) X P-SAR-AR (A2);

P-KURD-S (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2);

P-ITGC-AR (A1) X P-SAR-AR (A2);

P-ITGC-AR (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2);

T-INA-AR (A1) X P-SAR-AR (A2);

T-INA-AR (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2);

T-INA-S-TIGE (A1) X P-SAR-AR (A2);

T-INA-S-TIGE (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2).

#### **2.3.1.2. Influence du rapport des concentrations des isolats A1/A2 sur la production des oospores.**

Afin d'évaluer l'effet de la proportion du mélange A1 et A2 sur la production d'oospores, un test est conduit *in planta* sur les folioles de pomme de terre et tomate en utilisant un mélange des deux confrontants avec des proportions différentes.

Ce test est réalisé en considérant les deux confrontations les plus productives dans le test précédant:

P-KURD-S (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2);

(T-INA-S-TIGE (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2)).

Les suspensions sont préparées par un mélange des deux types sexuels A1 et A2 selon des proportions A1/A2 variables (tab VI).

**Tableau VI** Proportions des volumes des suspensions des isolats de A1 et A2 à mélanger pour la suspension finale.

<b>A1 (volume en <i>ul</i>)</b>	<b>A2 (volume en <i>ul</i>)</b>
0	20
1	19
2	18
5	15
10	10
15	5
18	2
19	1
20	0

**2.3.1.3. Influence de la période d'incubation sur la production des oospores**

Ce test est mené pour déterminer l'effet de la période d'incubation sur la production d'oospores. Le test est conduit sur les deux espèces précédentes, les folioles inoculées sont incubées selon trois périodes : 7 jours, 15 jours et 21 jours.

Quatre confrontations sont choisies : (Pour chaque isolat A1, la confrontation la plus productive pour le test de fertilité *in vivo* était choisie).

P-KURD-S (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2);

P-ITGC-AR (A1) X P-SAR-AR (A2);

T-INA-AR (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2);

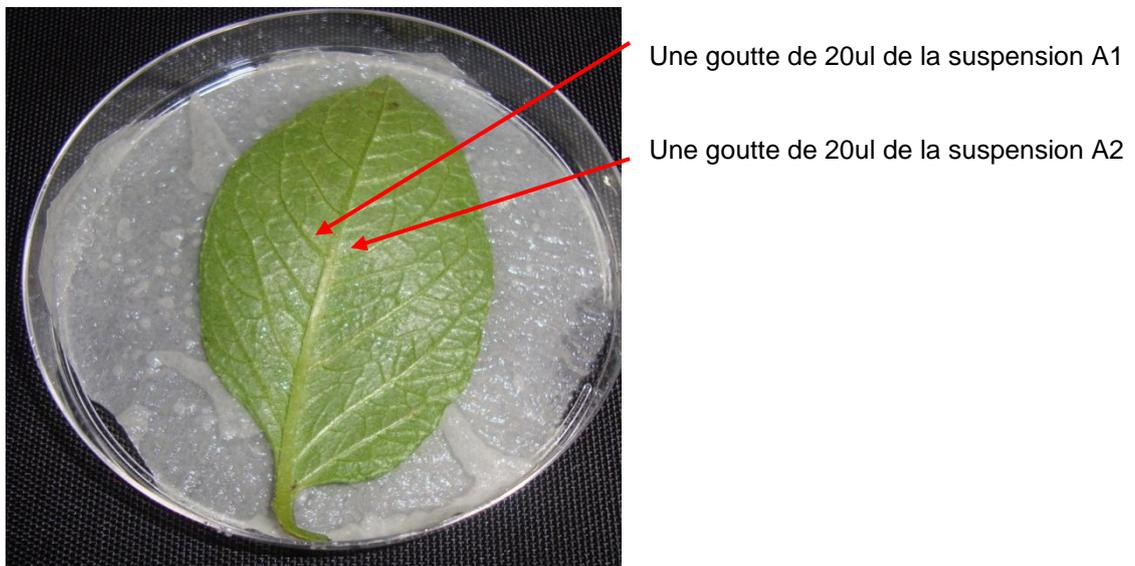
T-INA-TIGE (A1) X P-SAR-AR (A2).

**2.3.2. Préparation du matériel végétal pour l'inoculation**

Les folioles sont préparées selon la méthode précédemment décrite (2.1.2. Matériels et Méthodes).

### 2.3.3. Inoculation et incubation

Une quantité de 20 µl de la suspension, à concentration  $5 \times 10^4$  sporanges/ml, de chaque isolat est déposée sur la face inférieure des feuilles placées dans des boîtes de Pétri contenant de papier filtre humidifié (Cohen *et al.*, 1997).. Les deux isolats sont déposés au centre distant de 2 cm l'un de l'autre (Fig 6). Une quantité d'eau est ajoutée chaque deux jours dans les boites Pétri pour maintenir une humidité favorable à la reproduction sexuée en assurant un contact continu avec l'eau (Cohen *et al.*, 1997). Les boîtes sont incubées à 18°C avec une photopériode de 16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité. Chaque teste fait l'objet de cinq répétitions.



**Figure 6 :** Inoculation d'une foliole de pomme de terre par les suspensions des deux confrontants.

### 2.3.4. Préparation des tissus végétaux pour les observations microscopiques

A partir du dixième jour d'incubation, les folioles entières sont éclaircies pour permettre un comptage du nombre d'oospores produits dans les tissus infectés. Pour cela, les tissus infectés sont trempés dans une solution d'éthanol à 95% pendant huit heures puis sont rincées dans un bain d'eau. Chaque foliole est découpée, avec un scalpel, dans le sens de la longueur après l'avoir déposée sur une lame. Chaque demi foliole est ensuite déposée sur une lame puis recouverte immédiatement d'environ 1ml d'une solution de glycérol à 50% dans de l'eau stérile (Cohen *et al.*, 1997).

### **2. 3.5 Dénombrement des oospores**

Après éclaircissement, les folioles infectées sont observées directement sous microscope optique ; des fragments de feuilles de 1 cm<sup>2</sup> sont sélectionnés à partir des zones de contact des deux lésions ou à partir des superficies de forte production des oospores. Le nombre d'oospores est déterminé sur ces fragments sous microscope au grossissement ( X40).

### **2.4 Analyses statistiques des données**

Les données de nos résultats sont analysées par la méthode de comparaison du nombre d'oospores produits par les deux espèces végétales.

Pour cela, on procède par :

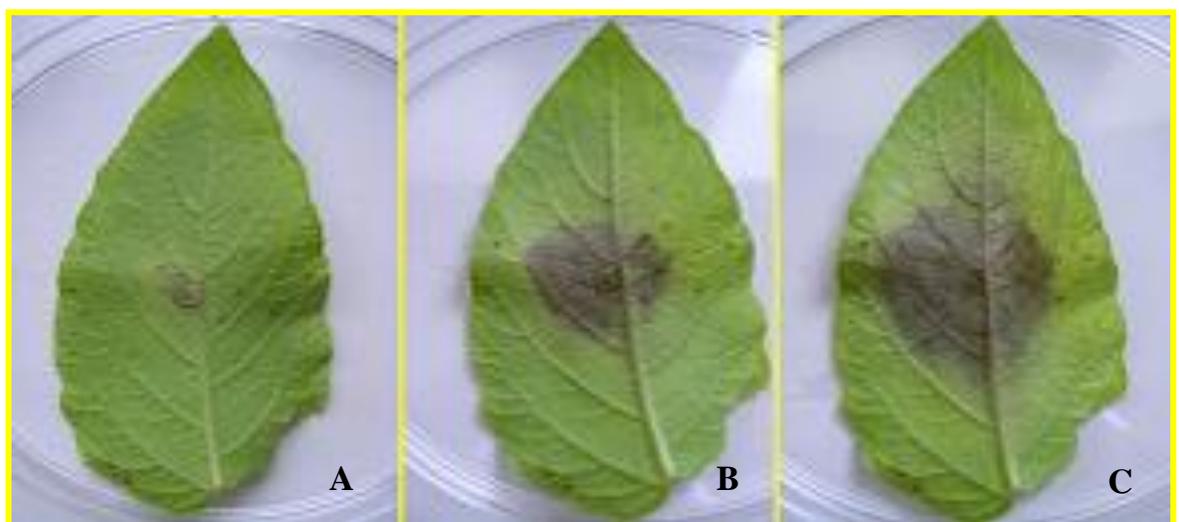
- Une analyse uni-variée pour visualiser les résultats obtenus et définir les moyennes de chaque croisement et l'écart type correspondant ;
- Une analyse de la variance ANOVA, pour déterminer les degrés de signification de chaque variable, l'interaction entre les variables et les groupes homogènes des variables existantes. Dans notre cas, une analyse de variance est effectuée pour un critère, deux critères et trois critères de classification.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### 1. Pathogénicité des isolats

Tous les isolats testés se sont révélés pathogènes. Les folioles de pomme de terre et tomate, inoculées par des suspensions sporangiales ont toutes développé des lésions typiques du mildiou. Cependant, la période d'incubation nécessaire pour l'apparition des premières lésions diffère selon les variétés testées. Ainsi, les folioles de la variété de pomme de terre Spunta (variété sensible) ont toutes développé des lésions 2 à 4 jours après inoculation, tandis que les folioles de la variété Sarpo Mira (variété résistante) ont développé les lésions 5 jours après inoculation (Fig. 7). Cette différence de temps d'incubation est justifiée par la différence de résistance des deux variétés. Les folioles des deux variétés de la tomate Marmande et Saint Pierre ont toutes développé des symptômes 3 à 5 jours après inoculation.

Concernant l'intensité des symptômes, nous avons remarqué que les isolats issus de la tomate sont moins agressifs (petite lésions et faible sporulation) sur les folioles des deux variétés de pomme de terre que ceux issus de pomme de terre. Par contre, sur les folioles des deux variétés de tomate, tous les isolats ont présenté une forte agressivité sauf l'isolat (P-ITGC-AR) issu de la pomme de terre. Ceci peut s'expliquer par la spécificité pathologique de l'agent pathogène vis à vis de l'hôte (Lebreton *et al.*, 1999).



**Figure 7** Développement de la lésion sur une foliole de pomme de terre Spunta. **A** : une feuille après un jour ; **B** : après 4 jours et **C** : après 5 jours.

## 2. Fertilité des confrontations réalisées *in vitro*

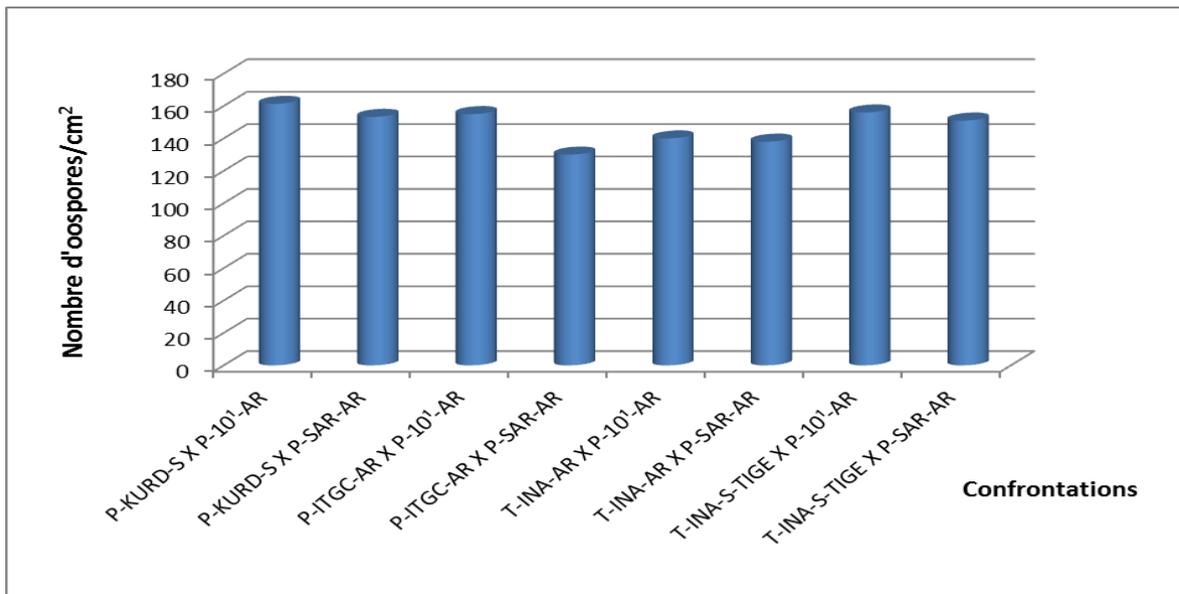
Toutes les confrontations testées *in vitro* sur milieu de culture pois ont révélé la formation des formes sexuées (oospores). La présence d'oospores était détectée à partir du 7<sup>ème</sup> jour d'incubation chez toutes les confrontations.

Le nombre moyen d'oospores formées sur milieu de culture à base de petit pois par les huit confrontations varie de 130 oospores/cm<sup>2</sup> (P-ITGC-AR X P-SAR-AR) à 160 oospores/ cm<sup>2</sup> (P-KURD-S X P-10<sup>1</sup>-AR) (tabl VII, fig 8).

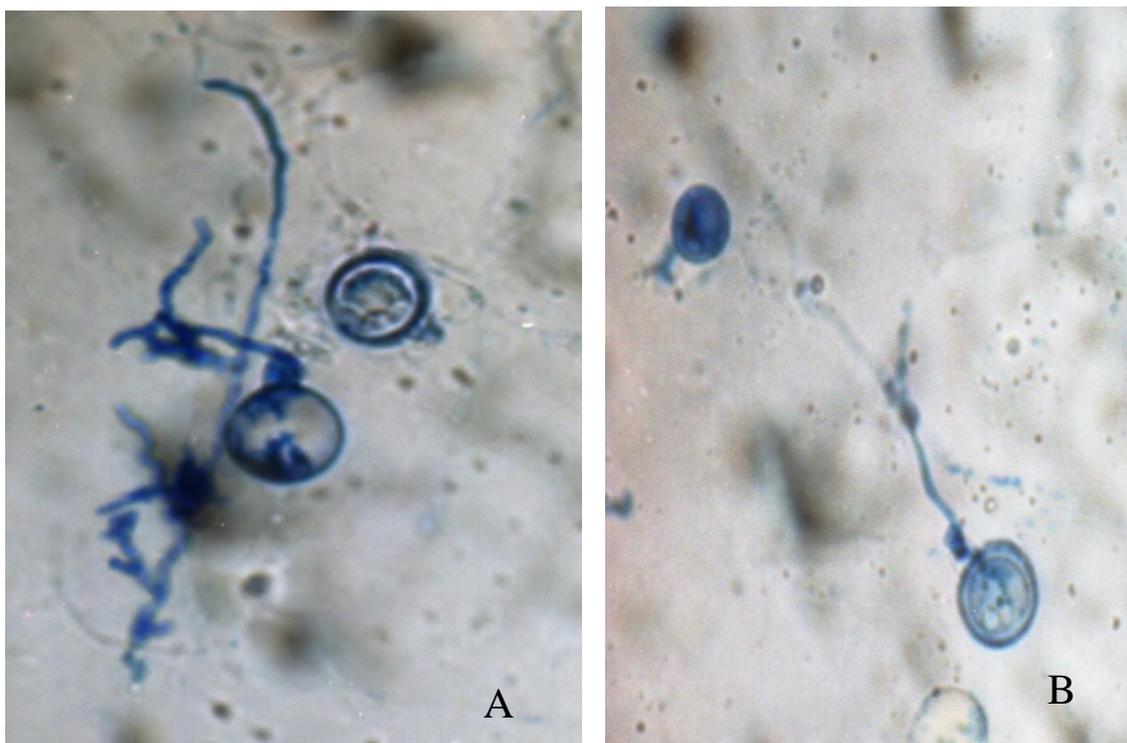
**Tableau VII:** Evaluation de la fertilité des huit confrontations des isolats de *P. infestans* sur milieu gélosé à base de petit pois.

Confrontations	Nombre moyen* d'oospores / cm <sup>2</sup>
<b>P-KURD-S X P-10<sup>1</sup>-AR</b>	161,3 ± 5,18
<b>P-KURD-S X P-SAR-AR</b>	153,3 ± 10,48
<b>P-ITGC-AR X P-10<sup>1</sup>-AR</b>	155 ± 7,83
<b>P-ITGC-AR X P-SAR-AR</b>	130 ± 8,50
<b>T-INA-AR X P-10<sup>1</sup>-AR</b>	140 ± 11,75
<b>T-INA-AR X P-SAR-AR</b>	138 ± 8,75
<b>T-INA-S-TIGE X P-10<sup>1</sup>-AR</b>	156 ± 8,73
<b>T-INA-S-TIGE X P-SAR-AR</b>	151 ± 8,20

\* : Le nombre représente la moyenne de dix répétitions.



**Figure 8** Fertilité des confrontations des isolats de *P. infestans* *in vitro*.



**Figure 9** Oospores obtenues après la confrontation des isolats de *P. infestans*. **A** : Oospores formées après la confrontation de l'isolat P-10<sup>1</sup>-AR avec l'isolat P-KURD-AR (Gr : X 80). **B** : Oospores formées après la confrontation de l'isolat P-SAR-AR avec l'isolat P-KURD-AR (Gr : X 80).

L'analyse de la variance des valeurs enregistrées, montre une différence hautement significative ( $p < 0,0001$ ) du facteur confrontation (Tab VIII).

**Tableau VIII** Analyse de la variance pour l'effet de confrontation sur le nombre d'oospores produites après la confrontation des isolats de *P.infestans*.

SOURCE VARIANCE	DE	SCE	DDL	CM	TEST F	PROBA	Obs
<b>VAR. TOTAL</b>		14193,950	79				
<b>VAR. F1</b>		7911,750	7	1130,250	12,954	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. RESIDUELLE</b>		6282,200	72	87,253			

**F1** : confrontation

La différence de production d'oospores enregistrée pour les confrontations testées n'est pas importante. Elle a été signalée également par Hanson et Shattock (1998), Flier (2001) et Hammi (2003). Selon ces auteurs, dans un croisement, chaque confrontant présente une tendance à former soit des oogones soit des anthéridies. Cette affinité spécifique des deux types sexuels à l'un ou l'autre des formes sexuées, affecterait la quantité d'oospores produites dans une confrontation.

### 3 Fertilité des confrontations *in planta*

#### 3.1 Fertilités des confrontations sur des feuilles de pomme de terre et tomate

Les observations microscopiques des lésions développées à partir de différents couples de confrontations sur les folioles entières, ont révélé la formation d'oogones et d'anthéridies dans les confrontations sept jours après inoculation. Les organes de la reproduction sexuée sont concentrés dans la zone de contact des deux lésions, à l'intérieur du tissu végétal, essentiellement au niveau des parties adjacentes aux nervures principales et secondaires. Les oospores sont détectées à partir du dixième jour après incubation Cohen *et al.* (1997) et Hammi (2003).

Les confrontations réalisées se sont révélées fertiles sur les deux espèces tomate et pomme de terre, mais le nombre d'oospores varie selon les variétés, les espèces et les croisements (Tableau IX, Fig 11). D'une manière générale, nous remarquons que la production d'oospore est plus importante sur les feuilles de tomate que sur celles de la pomme de terre. En particuliers, la production d'oospores enregistrée chez la variété de pomme de terre sensible (Spunta) varie entre 550 et 770 oospores/cm<sup>2</sup>; celle enregistrée sur la variété résistante Sarpo

Mira varie entre 320 et 440 oospores/cm<sup>2</sup>. Chez les variétés de tomate, les valeurs enregistrées sont plus importantes et varient entre 600 et 840 oospores/cm<sup>2</sup> chez la variété sensible (Marmande) et entre 880 et 1040 oospores/cm<sup>2</sup> chez la variété moyennement sensible (Saint Pierre).

**Tableau IX** Fertilité des confrontations des isolats de *P. infestans* sur les folioles de pomme de terre et tomate.

CONFRONTATIONS	NOMBRE D'OOSPORES/CM <sup>2</sup> *			
	Pomme de terre		Tomate	
	Sarpomira	Spunta	Marmande	Saint Pierre
<b>P-KURD-S X P-10<sup>1</sup>-AR</b>	383 ± 37,69	702 ± 53,90	797 ± 43,96	1040 ± 41,77
<b>P-KURD-S X P-SAR-AR</b>	371 ± 19,69	599 ± 56,45	765 ± 50,04	989 ± 20,26
<b>P-ITGC-AR X P-10<sup>1</sup>-AR</b>	353 ± 27,00	601 ± 40,77	719 ± 33,90	952 ± 40,32
<b>P-ITGC-AR X P-SAR-AR</b>	377 ± 34,83	617 ± 36,59	624 ± 39,40	881 ± 15,48
<b>T-INA-AR X P-10<sup>1</sup>-AR</b>	371 ± 18,43	609 ± 10,17	805 ± 27,66	997 ± 18,36
<b>T-INA-AR X P-SAR-AR</b>	371 ± 21,62	608 ± 12,13	798 ± 38,14	1011 ± 9,71
<b>T-INA-S-TIGE X P-10<sup>1</sup>-AR</b>	339 ± 24,94	596 ± 18,58	568 ± 30,29	1023 ± 15,35
<b>T-INA-S-TIGE X P-SAR-AR</b>	340 ± 17,28	634 ± 18,35	781 ± 32,96	1033 ± 16,84

\* : Le nombre représente la moyenne de six répétitions.

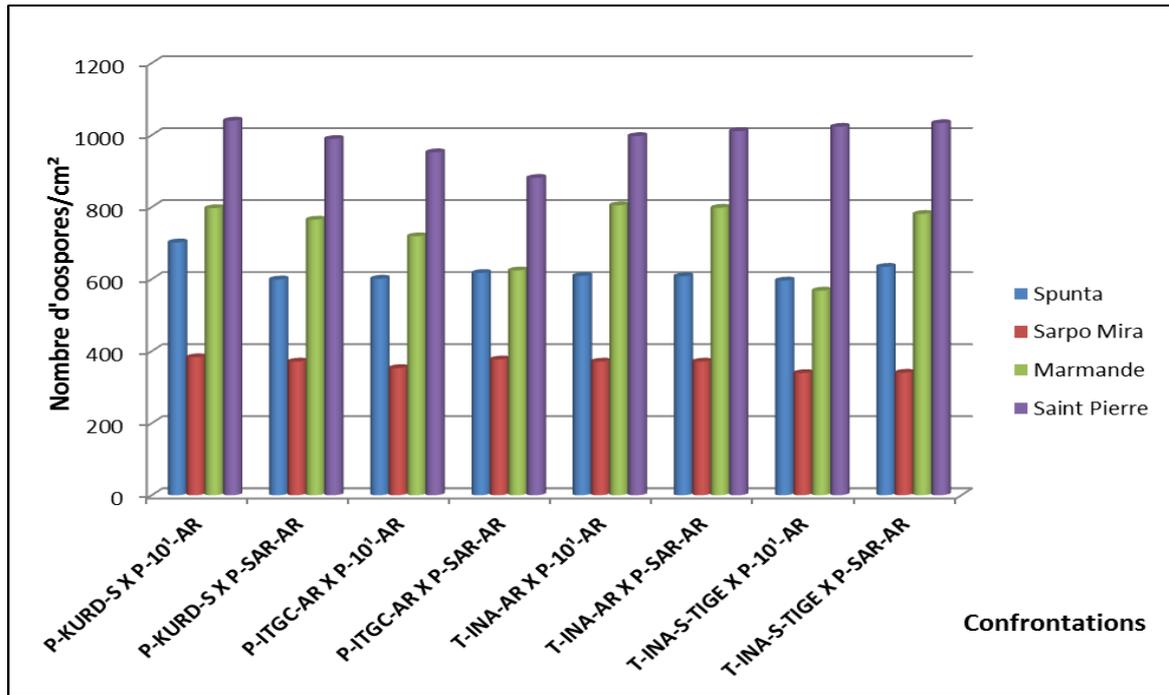


Figure 10 Fertilité des confrontations sur les variétés de pomme de terre et tomate.

Une analyse de la variance réalisée pour chaque espèce de plante hôte a montré une différence significative des facteurs variétés et confrontation ( $p < 0,0001$ ) (Tableau X ; XI).

**Tableau X** Analyse de la variance de l'effet de confrontation et variété sur le nombre d'oospores produites après la confrontation des isolats de *P.infestans* sur une foliole de pomme de terre.

SOURCE DE VARIANCE	SCE	DDL	CM	TEST F	PROBA	Obs
VAR. TOTAL	1714215,490	95				
VAR. F1	1560345,010	1	1560345,010	1301,849	< 0,0001	HS
VAR. F2	37774,906	7	5396,415	4,502	0,000	S
VAR F1*F2	20210,740	7	2887,249	2,409	0,027	S
VAR. RESIDUELLE	95884,833	0	1198,560			

F1 : Variétés de pomme de terre

F2 : confrontations

HS : hautement significative ( $p < 0,0001$ ) ; S : significative ( $p < 0,001$ )

L'analyse des moyennes par le test de Fisher (LSD) au seuil de 5%, distingue deux groupes homogènes pour le facteur variété et deux groupes homogènes pour le facteur confrontation (Annexe 2 : Tab 1).

**Tableau XI** Analyse de la variance de l'effet de confrontation et variété sur le nombre d'oospores produites après la confrontation des isolats de *P.infestans* sur une foliole de tomate.

SOURCE DE VARIANCE	SCE	DDL	CM	TEST F	PROBA	Obs
<b>VAR. TOTAL</b>	2161849,958	95				
<b>VAR. F1</b>	1623960,375	1	1623960,375	1426,518	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. F2</b>	307194,292	7	43884,899	38,549	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR F1*F2</b>	139622,625	7	19946,089	17,521	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. RESIDUELLE</b>	91072,667	80	1138,408			

**F1** : Variétés de tomate

**F2** : Confrontations

**HS** : hautement significative (p<0,0001)

L'analyse des moyennes par le test de Fisher (LSD) au seuil de 5%, distingue deux groupes homogènes pour le facteur variété et cinq groupes homogènes pour le facteur confrontation (Annexe 2 : Tab 2).

Une deuxième analyse de la variance est réalisée pour comparer les moyennes des deux espèces, en considérant la variété sensible pour chaque espèce (pour éliminer l'influence du degré de sensibilité), soit la Spunta pour la pomme de terre et la Marmande pour la tomate. Cette analyse a montré une différence significative des facteurs confrontations et plante hôte (p<0,0001) (Tableau XII).

**Tableau XII** Analyse de la variance pour l'effet de confrontation des isolats de *P. infestans* et plante hôte sur le nombre d'oospores produites sur des folioles de tomate et de pomme de terre.

SOURCE DE VARIANCE	SCE	DDL	CM	TEST F	PROBA	Obs
<b>VAR. TOTAL</b>	813243,156	95				
<b>VAR. F1</b>	297594,010	1	297594,010	185,537	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. F2</b>	243513,240	7	34787,606	21,689	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR F1*F2</b>	143819,073	7	20545,582	12,809	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. RESIDUELLE</b>	128316,833	80	1603,960			

**F1** : Plante hôte : pomme de terre et tomate

**F2** : Confrontations. **HS** : hautement significative ( $p < 0,0001$ )

L'analyse des moyennes par le test de Fisher (LSD) au seuil de 5%, distingue deux groupes homogènes pour le facteur plante hôte et cinq groupes homogènes pour le facteur confrontation (Annexe 3 : Tab 3).

La signification de chaque facteur (confrontation, variété et plante hôte) dans l'analyse de la variance signifie que la production d'oospores par les isolats de *P. infestans* est influencée par l'espèce hôte et la nature des isolats confrontés. Le regroupement des moyennes dans plusieurs groupes homogènes montre l'existence d'une variabilité pour chaque facteur étudié.

Les tests de compatibilité sexuelles menés *in planta* ont prouvé la capacité de nos isolats à produire des oospores sur le tissu végétal si les conditions d'incubation sont favorables (Température 20°C, Obscurité et boîte de Pétri humidifiée). Par ailleurs, nous avons montré que la production d'oospore peut être influencée par le type d'hôte (pomme de terre ou tomate). Cohen *et al.* (1997) ont remarqué que la reproduction sexuée est plus importante sur la tomate que sur la pomme de terre, mais, le type de l'hôte n'a aucun effet sur la production des gamètes (oogones et anthéridies). Cependant, les oospores sont produites en quantité importante sur les feuilles de pomme de terre en Allemagne (Göts, 1991) et au Canada (Medina et Platt, 1999).

La production d'oospores est importante sur une variété moyennement sensible que sur les autres variétés (sensible et résistante). Ceci concorde avec les observations de Drenth *et al.* (1995) et celles de Hanson et Shattock (1998). Les premiers auteurs ont comparé la production

d'oospores sur les feuilles de trois cultivars Bintje (très sensible), Irène (moyennement sensible) et Pimpernel (moyennement résistante). Ils ont observé que le nombre d'oospores formées sur les feuilles de la variété Irène (4000 oospores/cm<sup>2</sup>) est plus important que celui noté chez les variétés Bintje (2000 oospores/cm<sup>2</sup>) et Pimpernel (1750 oospores/cm<sup>2</sup>). Le nombre d'oospores observées dans notre étude est faible par rapport à celui rapporté dans les travaux de Drenth et al. (1995) et Hanson et Shattock (1998). Cette différence peut être due à plusieurs facteurs, tels que la viabilité de l'inoculum, la faculté des confrontants interfertiles à produire les oospores et les types d'hôtes utilisés.

D'après les travaux de Cohen *et al.* (1997), la production d'oospores sur les variétés de pomme de terre possédant les gènes "R" de résistance est similaire à celle des variétés ne possédant pas ces gènes. Ces derniers auteurs ont conclu que l'effet de l'hôte varie plutôt avec l'âge et la température.

Notre expérimentation conduite sur deux types d'hôte différents pour un même agent pathogène (*Phytophthora infestans*) a montré que l'oosporogenèse chez cette espèce est influencée par certaines conditions. L'incubation des boîtes de Pétri à une température supérieure à 20°C n'a pas abouti à la formation d'oospores. L'apparition des formes sexuées après 10 jours d'incubation confirme l'affinité de l'oosporogenèse à l'obscurité. La présence de l'eau libre sous le tissu végétal infecté est nécessaire pour la formation d'oospore. En effet, l'incubation des folioles inoculées dans des boîtes ne contenant pas de l'eau n'a pas abouti à l'observation des organes sexués (absence de lésions sur les folioles inoculées).

Ces résultats concordent avec ceux mentionnés par plusieurs auteurs : Mosa *et al.* (1991), Drenth *et al.* (1995), Cohen *et al.* (1997), Flier *et al.* (2001) et Levin *et al.* (2001). Selon ces derniers auteurs, la production d'oospores nécessite une humidité supérieure à 90% pendant au moins une semaine et une température comprise entre 8 et 23°C.

Dans la nature, une humidité favorisée par des pluies continues serait bénéfique pour l'induction de la reproduction sexuée sur les feuilles de la plante hôte. En absence d'une humidité suffisante sur les feuilles, la production d'oospores peut se réaliser sur les feuilles qui se sont détachées du plant et tombent sur le sol humide. Selon Cohen *et al.* (1997), les oospores sont très rarement observées dans la nature au cours des saisons très pluvieuses.

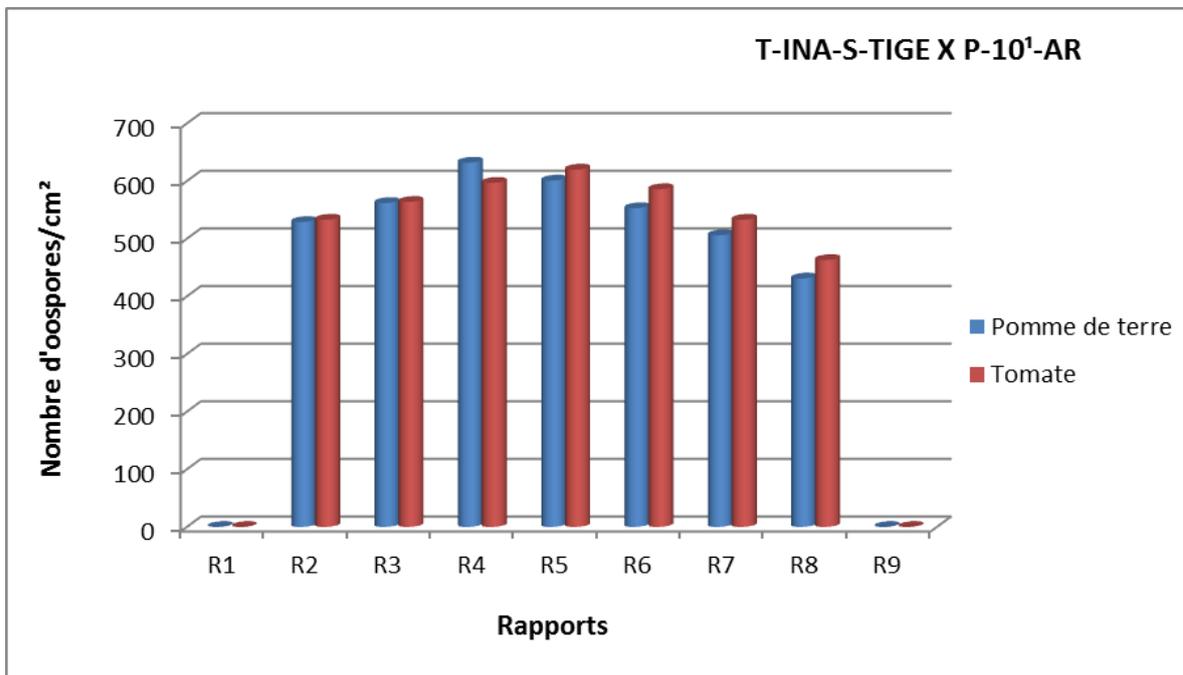
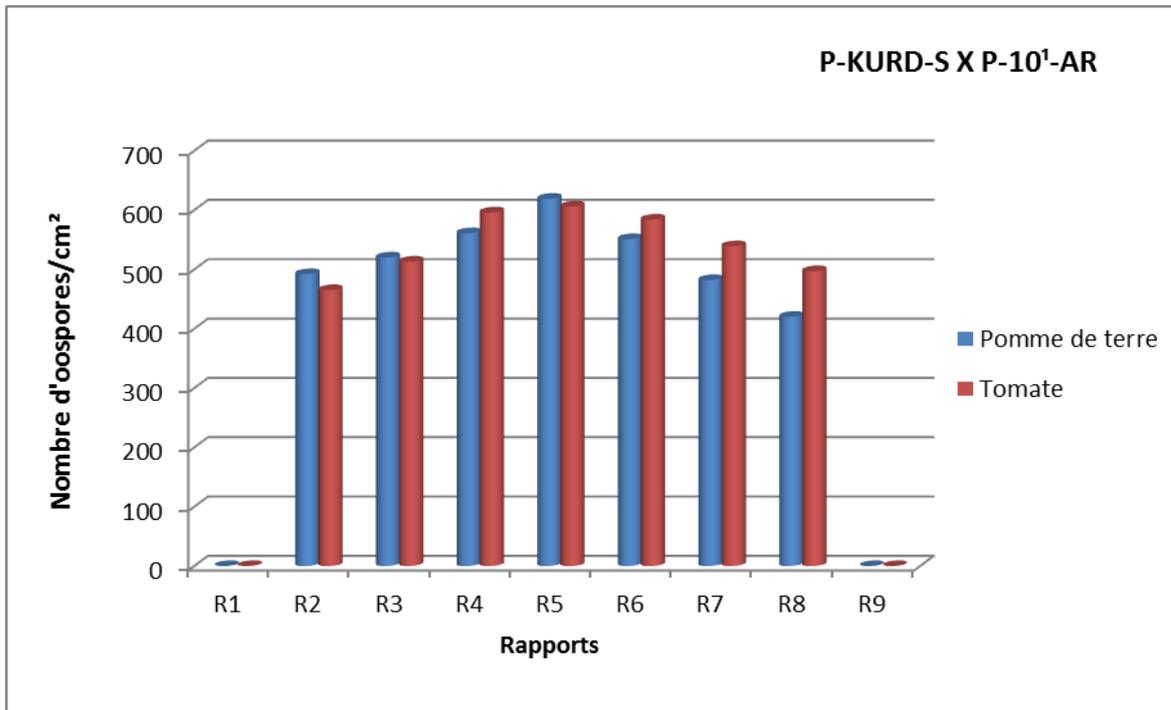
### 3.2 Effet du rapport des concentrations des isolats A1/A2 sur la fertilité des confrontations

Deux confrontations révélées productives parmi les huit testées sont utilisées sur des folioles de pomme de terre et tomate.

Lorsque le mélange des concentrations des isolats ne contient qu'un seul type sexuel (les rapports A1/A2 : 0/20 ou 20/0), aucune oospore n'est détectée sur les folioles des deux espèces. Les rapports des concentrations (10/10, 5/15 et 15/5) sont les plus productifs d'oospores, avec une moyenne allant de 550 oospores/cm<sup>2</sup> à 630 oospores/cm<sup>2</sup>. (Tableau XIII).

**Tableau XIII** Nombre des oospores/cm<sup>2</sup> produites par deux confrontations sur des folioles de la pomme de terre et la tomate. \* : Le nombre représente la moyenne de dix répétitions.

CONFRONTATIONS	RAPPORT		NOMBRE D'OOSPORES/Cm <sup>2</sup> *	
	A1	A2	Pomme de terre	Tomate
			Spunta	Marmande
<b>P-KURD-S X P-10<sup>1</sup>-AR</b>	0	20	0 ± 0	0 ± 0
	1	19	492 ± 23,25	465 ± 29,27
	2	18	520 ± 18,25	513 ± 43,87
	5	15	561 ± 16,32	596 ± 34,89
	10	10	619 ± 27,60	606 v 21,37
	15	5	551 ± 26,58	584 ± 22,14
	18	2	482 ± 17,55	539 ± 16,50
	19	1	420 ± 17,55	497 ± 34,62
	20	0	0 ± 0	0 ± 0
	<b>T-INA-S-TIGE X P-10<sup>1</sup>-AR</b>	0	20	0 ± 0
1		19	529 ± 19,86	533 ± 9,08
2		18	562 ± 21,32	564 ± 18,40
5		15	632 ± 24,25	597 ± 13,21
10		10	601 ± 16,05	620 ± 28,67
15		5	553 ± 21,89	586 ± 13,43
18		2	506 ± 18,71	533 ± 32,47
19		1	431 ± 31,75	463 ± 32,51
20		0	0 ± 0	0 ± 0



**Figure 11** Influence des rapports des concentrations des isolats A1/A2 sur la fertilité de deux confrontations *in planta*.

L'analyse de la variance des résultats montre une différence hautement significative des trois facteurs plante hôte, confrontation et rapport ( $p < 0,0001$ ) (Tableau XIV).

SOURCE DE VARIANCE	SCE	DDL	CM	TEST F	PROBA	Obs
<b>VAR. TOTAL</b>	19925051,132	363				
<b>VAR. F1</b>	19820,319	1	19820,319	37,848	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. F2</b>	17529,330	1	17529,330	33,474	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. F3</b>	19605095,882	8	2450636,985	4679,669	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. F1*F2</b>	892,582	1	892,582	1,704	0,193	<b>NS</b>
<b>VAR. F1*F3</b>	38595,831	8	4824,479	9,213	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. F2*F3</b>	40587,420	8	5073,428	9,688	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. F1*F2*F3</b>	30763,568	8	3845,446	7,343	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. RESIDUELLE</b>	171766,200	328	523,677			

**Tableau XIV** Analyse de la variance de l'effet confrontation des isolats de *P.infestans*, rapport et plante hôte sur le nombre d'oospores produites sur des folioles de pomme de terre et tomate.

**F1** : Plante hôte

**F2** : Confrontations

**F3** : Rapport

**HS** : hautement significatif, ( $p < 0,0001$ ) ; **NS** : non significatif ( $p > 0,05$ ).

L'analyse des moyennes par le test de Fisher au seuil de 5% distingue deux groupes homogènes pour le facteur plante hôte, deux et huit groupes homogènes pour les facteurs croisement et rapport respectivement (Annexe 3 : Tab 4).

Le nombre d'oospores produites sur la tomate est plus important que sur de la pomme de terre, dont les valeurs enregistrées ne diffèrent pas beaucoup entre les rapports ; l'influence des rapports sexuels A1/A2 est faiblement remarquée. D'après Cohen *et al.* (1997) et Flier *et al.* (2001), le rapport A1/A2 a un effet mineur sur le nombre d'oospores produites sur les folioles de pomme de terre et tomate, ce qui prouve qu'une faible proportion des sporanges de type A2 dans un champ est suffisante pour déclencher la reproduction sexuée (Cohen *et al.*, 1997).

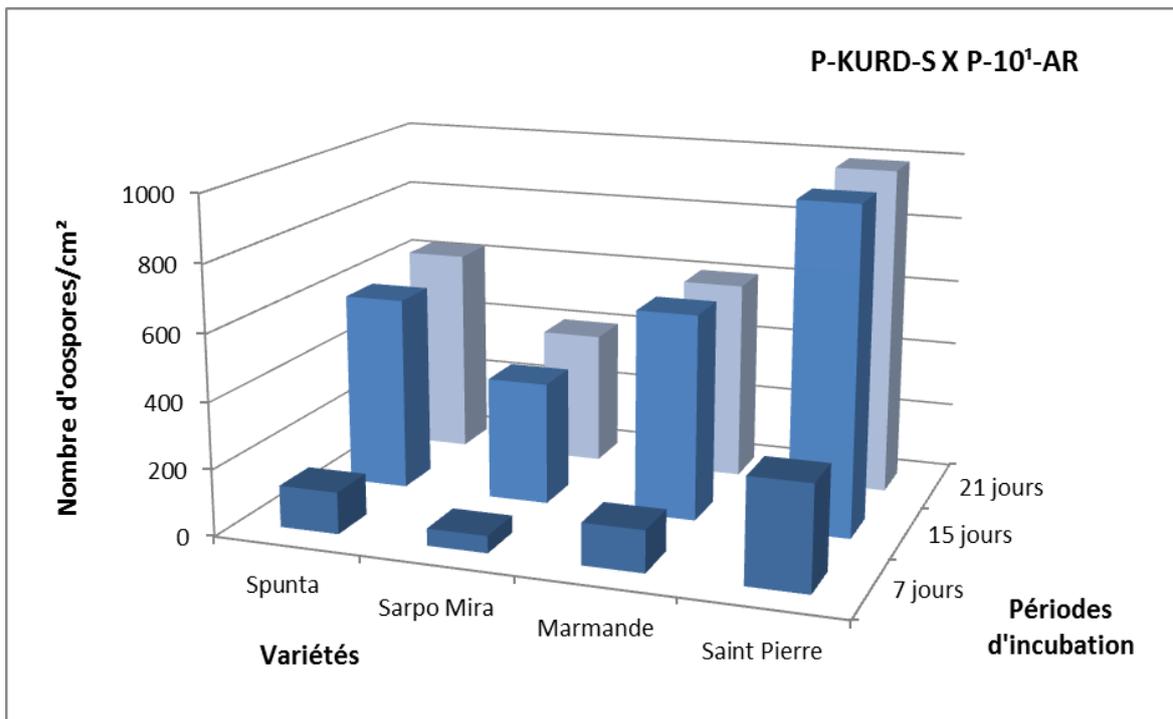
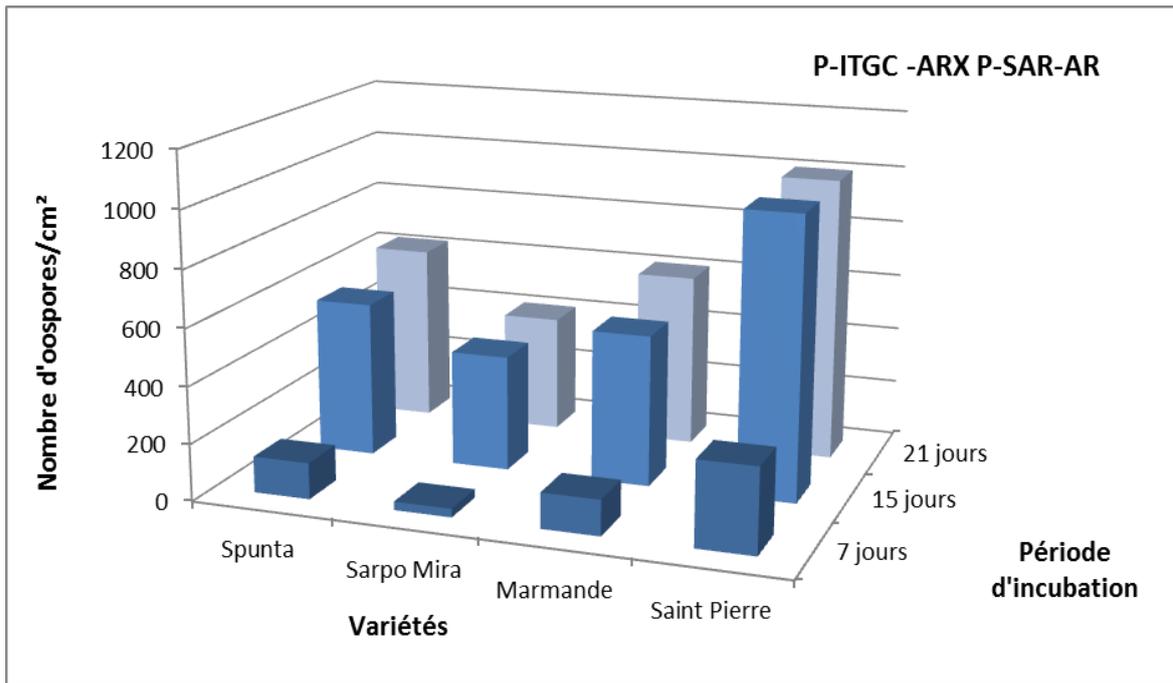
### 3.3 Effet de la période d'incubation sur la fertilité des confrontations

Toutes les confrontations se sont révélées productives durant les trois périodes d'incubation. Le maximum de production d'oospores est enregistré après 21 jours d'incubation, et varie entre 600 et 650 oospores/cm<sup>2</sup> pour les variétés Spunta et Marmande, entre 1000 et 1045 oospores/cm<sup>2</sup> chez la variété Saint Pierre et entre 400 et 435 oospores/cm<sup>2</sup> chez la variété Sarpo Mira. Après 15 jours d'incubation, la production d'oospores est presque identique à ceux enregistrées après 21 jours. Par ailleurs, le nombre d'oospores formées après 7 jours d'incubation, est faibles, il varie de 110 à 140 oospores/cm<sup>2</sup> chez les variétés Spunta et Marmande, de 25 à 50 oospores/cm<sup>2</sup> chez la Sarpo Mira et de 300 à 330 oospores/cm<sup>2</sup> chez la variété Saint Pierre (Tableau XV).

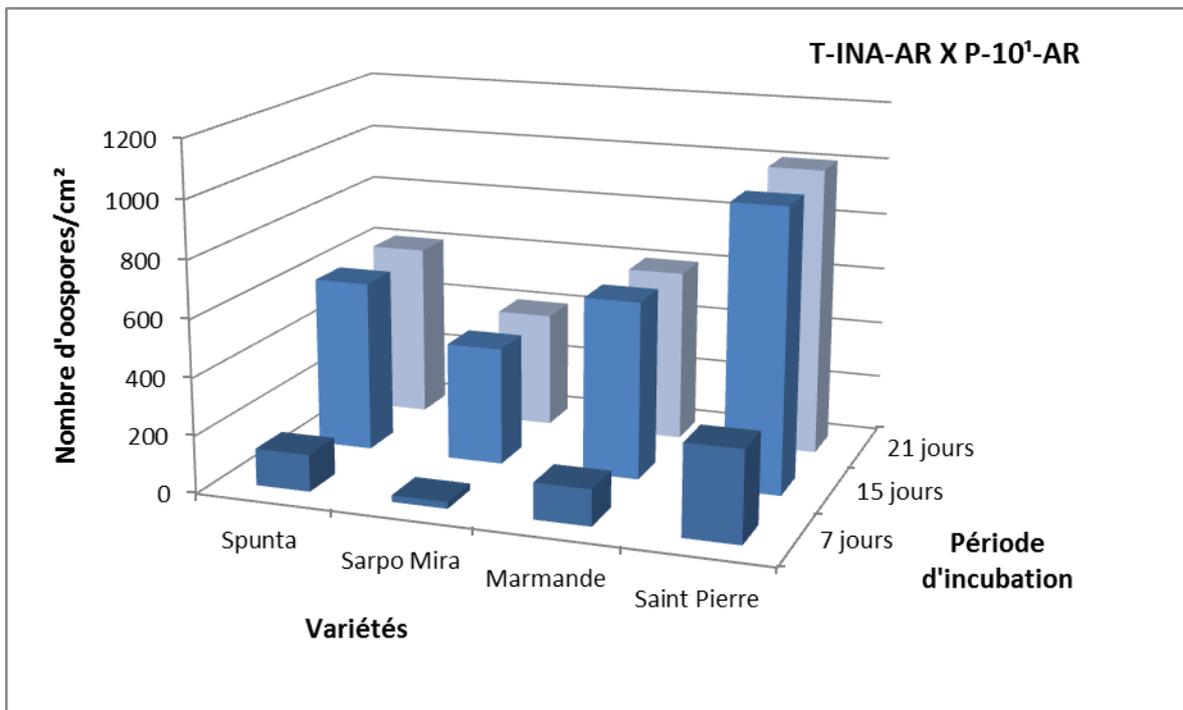
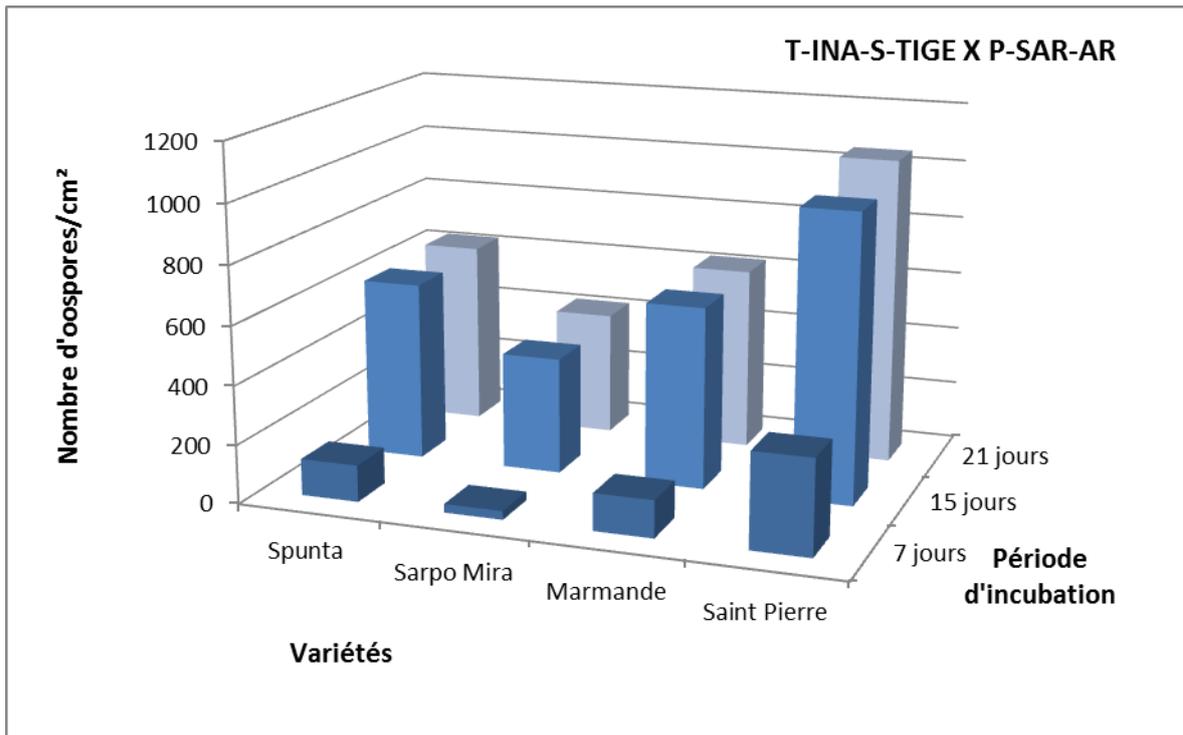
**Tableau XV** Fertilité des confrontations des isolats de *P.infestans* en fonction des périodes d'incubation.

CONFRONTATIONS	PERIODE D'INCUBATION	NOMBRE D'OOSPORES/CM <sup>2</sup> *			
		Pomme de terre		Tomate	
		Spunta	Sarpo Mira	Saint Pierre	Marmande
<b>P-KURD-S (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2)</b>	7 Jours	126 ± 5,69	52 ± 7,63	312 ± 6,97	129 ± 14,37
	15 Jours	587 ± 14,25	383 ± 11,20	975 ± 4,49	620 ± 18,73
	21 Jours	630 ± 16,43	404 ± 8,04	1043 ± 10,23	633 ± 22,56
<b>P-ITGC-AR (A1) X P-SAR-AR (A2)</b>	7 Jours	128 ± 6,46	64 ± 6,32	315 ± 6,86	140 ± 6,18
	15 Jours	549 ± 18,00	360 ± 10,15	980 ± 7,74	622 ± 6,73
	21 Jours	627 ± 14,70	400 ± 7,94	1040 ± 14,97	640 ± 10,63
<b>T-ITGC-S-TIGE (A1) X P-SAR-AR (A2)</b>	7 Jours	129 ± 6,18	49 ± 10,98	320 ± 11,96	133 ± 5,82
	15 Jours	577 ± 15,23	370 ± 5,06	990 ± 12,03	631 ± 18,00
	21 Jours	643 ± 16,43	440 ± 10,01	1043 ± 35,99	665 ± 17,49
<b>T-INA-AR (A1) X P- 10<sup>1</sup>-AR (A2)</b>	7 Jours	126 ± 7,35	50 ± 4,45	325 ± 17,77	130 ± 5,69
	15 Jours	555 ± 19,01	377 ± 18,18	1000 ± 14,55	642 ± 18,73
	21 Jours	600 ± 11,91	404 ± 12,39	1043 ± 6,00	650 ± 7,91

\* : le nombre représente la moyenne de cinq répétitions.



**Figure 12** Effet de la période d'incubation sur la production d'oospore par les confrontations (P-ITGC -AR (A1) X P-SAR-AR (A2) et P-KURD-S (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2)).



**Figure 13** Effet de la période d'incubation sur la production d'oospore par les confrontations (T-INA-S-TIGE (A1) X P-SAR-AR (A2) et T-INA-AR (A1) X P-10<sup>1</sup>-AR (A2)).

L'analyse de la variance montre une différence non significative du facteur espèce ( $p > 0,05$ ), et une différence hautement significative pour les facteurs confrontation et rapport ( $p < 0,0001$ ) (Tableau XVI).

**Tableau XVI** Analyse de la variance pour l'effet confrontation des isolats de *P.infestans*, période d'incubation et plante hôte sur le nombre d'oospores produites sur des folioles de pomme de terre et tomate.

SOURCE VARIANCE	DE	SCE	DDL	CM	TEST F	PROBA	Obs
<b>VAR. TOTAL</b>		6206655,300	119				
<b>VAR. F1</b>		7,500	1	7,500	0,035	0,852	<b>NS</b>
<b>VAR. F2</b>		6140200,200	2	3070100,100	14340,399	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. F3</b>		12759,900	3	4253,300	19,867	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. F1*F2</b>		2815,800	2	1407,900	6,576	0,002	<b>S</b>
<b>VAR. F1*F3</b>		1196,700	3	398,900	1,863	0,141	<b>NS</b>
<b>VAR. F2*F3</b>		26184,000	6	4364,000	20,384	< 0,0001	<b>HS</b>
<b>VAR. F1*F2*F3</b>		2938,800	6	489,800	2,288	0,042	<b>S</b>
<b>VAR. RESIDUELLE</b>		20552,400	96	214,088			

**F1** : plante hôte

**F2** : période d'incubation

**F3** : croisements

**HS** : hautement significatif ( $p < 0,0001$ ) ; **NS** : non significatif ( $p > 0,05$ ) ; **S** : significatif ( $p < 0,05$ ).

L'analyse des moyenne par le test de Fisher (LSD) au seuil de 5% distingue deux et trois groupes homogènes pour les facteurs confrontation et période d'incubation respectivement (Annexe 4 : Tab 4).

La production d'oospores est élevée chez la tomate, et la variété moyennement sensible est la plus productive d'oospores. Ceci concorde avec les résultats du premier test de fertilité *in planta*.

Durant les trois périodes d'incubation, nous avons enregistré une production d'oospores, qui diffère selon la période d'incubation. Elle est relativement faible au début puis importante après 21 jours. Cohen *et al* en 1997, ont rapporté que le nombre d'oospores produites s'accroît avec le temps, et atteint un maximum après 17 à 23 jours d'incubation.

## CONCLUSION GENERALE

Le présent travail, a eu pour objectif de clarifier un aspect particulièrement important de l'épidémiologie du *P. infestans*.

Les résultats obtenus sur les conditions de la reproduction sexuée in-vitro et in-planta, font ressortir les remarques suivantes :

- Les isolats de *P. infestans* isolés de la pomme de terre sont également pathogènes sur la tomate, et les isolats isolés de la tomate sont aussi pathogène sur la pomme de terre.
- L'agressivité des isolats diffère selon les génotypes d'une même espèce végétale, ce qui définit la spécificité pathogénique du champignon vis-à-vis de l'hôte.
- Les isolats interfertiles sont capables de produire des oospores en quantité importante.

Cependant, la production d'oospores dépend de plusieurs facteurs :

- Du couple d'isolats confrontés: Au cours de notre expérimentation, les deux isolats P-KURD-S (A1) et P-10<sup>1</sup>-R (A2) se sont montrés le plus productif.
- Du génotype de l'hôte inoculé (tomate ou pomme de terre) : la production des oospores est plus importante sur les feuilles de tomate que sur celles de la pomme de terre.
- Du niveau de sensibilité de l'hôte inoculé : la production des oospores est plus importante sur les variétés moyennement sensibles que sur les variétés résistantes et sensibles.
- Des conditions d'incubation : la formation des oospores nécessite une présence de l'eau libre sous le végétal et une température inférieure à 20°C.
- Du rapport des concentrations des isolats utilisées dans les confrontations ; le type sexuel A1/A2 n'influe pas sur la production d'oospores. Ainsi, une faible proportion des sporanges de type sexuel opposé (A1 ou A2) peut déclencher la reproduction sexuée.

- Du temps d'incubation. L'intensité de production d'oospores s'augmente avec le temps et atteint le maximum après 21 jours.

Les résultats auxquels nous avons abouti, mettent en évidence l'intérêt de l'étude de la reproduction sexuée comme paramètre de contrôle du mildiou de la pomme de terre et la tomate.

Cependant, des études doivent être réalisées en considérant les aspects suivants :

- Approfondir l'étude de la reproduction sexuée par des tests de germination des oospores.
- Rechercher la formation des oospores au champ, sous les conditions climatiques algériennes, et déterminer leur rôle réel dans l'épidémiologie de la maladie.
- Déterminer le comportement des variétés de pomme de terre et de tomate, les plus cultivées en Algérie, à l'égard des populations algériennes de *P.infestans*.
- Définir une cartographie de la distribution des deux types sexuels A1 et A2, dans les zones de production de pomme de terre et de tomate en Algérie.
- Déterminer les génotypes des différents isolats existants par des marqueurs moléculaires.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agrios, 2005.** Plant pathology. 5th ed. Elsevier Academic Press. 922 p.
- Ait Ouada, M., Bouznad, Z., Kedad, A., Mokabli, A., Siafa, A. et Yahiaoui, S. 2008.** Principaux ravageurs et maladies de la pomme de terre : Agents responsables, dégâts, conditions de développement et méthodes de lutte. *Journée d'étude sur la filière pomme de terre : Situation actuelle et perspectives*. Document photocopié. I.N.A. El Harrach, le 18 Juin 2008, Alger.
- Amrar, M. 2013.** La culture de pomme de terre: Production et possibilité pour la transformation. Journée de la pomme de terre CCI DAHRA Mostaganem. Le 04 décembre 2013, Alger : 1-18.
- Andersson, B. 2007.** Sexual reproduction in *Phytophthora infestans* – epidemiological consequences. Ph D. Swedish University of Agricultural Sciences. 31p.
- Andrивon, D., Beasse, C. et Laurent, C. 1994.** Characterization of isolates of *Phytophthora infestans* collected in northwestern France from 1988 to 1992. *Plant Pathology* 43: 471-478.
- Andrивon, D. 1995.** Biology, ecology and epidemiology of late blight potato pathogen *Phytophthora infestans* in soil. *Phytopathology* 85: 1053-1056.
- Andrивon, D. 1996.** The origin of *Phytophthora infestans* populations present in Europe in the 1840s : a critical review of historical and scientific evidence. *Plant Pathology* 45: 1028-1036.
- Andrивon, D., Pilet, F., Montarry, J., Hafidi, M., Corbière, R., Achbani, E. H., Pellé, R. et Ellissèche, D. 2007.** Adaptation of *Phytophthora infestans* to partial resistance in potato: Evidence from French and Moroccan populations. *Phytopathology* 97: 338-343.
- Anikina, M. I., Savenkova, L. V., Dyakov, Y. et Shaw, D. S. 1999.** Oogonia with multiple oospores in *Phytophthora infestans*. *Mycological Research* 103: 1332-1334.

- Ann, P. J., Chang, T. T. et Chern, M. 1998.** Mating type distribution and pathogenicity of *Phytophthora infestans* in Taiwan. *Botanical Bulletin of Academic Sinica* 39: 33-37.
- Bellahcene, M., Rekkad, F.Z., Guenaoui, Y. et Belabid, L. 2009.** Caractérisation de *Phytophthora infestans* (Mont), agent causal du mildiou de la pomme de terre dans le nord-ouest d'Algérie. Colloque International sur la Gestion des Risques Phytosanitaires, Marrakech, Maroc, 9-11 Novembre 2009 : 713 – 717.
- Beninal, L., Corbière, R., Kedad, A., Andrivon, D. et Bouznad, Z. 2009.** A2 mating type, metalaxyl resistance and complex virulence profiles: common features in some *Phytophthora infestans* isolates from Algeria. *Proceeding of the Eleventh Euroblight Workshop*, 28-31 Octobre 2008, Hamar, Norway. In *PPO Special Report* 13: 237- 241.
- Beninal, L. 2011.** Diversité génétique de *Phytophthora infestans* agent du mildiou de la pomme de terre en Algérie. Thèse de Magister. E.N.S.A. El Harrach. 92p.
- Benton, J. Jr. 1999.** Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden. CRC Press. Florida. 177 p.
- Boccas, B. 1979.** La reproduction sexuelle chez *Phytophthora*, ses voies et quelques-unes des conséquences génétiques. Travaux et documents de l'O.R.S.T.O.M. N° 100, Paris. 188 p.
- Brasier, C. M. 1992.** Evolutionary biology of *Phytophthora*. *Annual Reviews of Phytopathology* 30:153-710.
- César, V., Rolot, J. L., Labbé, V. et Laguesse L. 2011.** La recherche sur le mildiou de la pomme de terre au CRA-W à Libramont. *Fiwap-Info* N° 121 (Janvier – Février 2011) : 14-20.
- Chehat, F. 2008.** La filière pomme de terre Algérienne : une situation précaire. *Journée d'étude sur la filière pomme de terre : Situation actuelle et perspectives*. I.N.A. El Harrach, le 18 Juin 2008, Alger : 1-11.

- Chen, C. H., Sheu, Z. M. et Wang, T. C. 2008.** Host specificity and tomato-related race composition of *Phytophthora infestans* isolates in Taiwan during 2004 and 2005. *Plant Disease* 92: 751-755.
- Cohen, Y., 1986.** Systemic fungicides and the control of oomycetes. *Annual Reviews of Phytopathology* 24: 311-338.
- Cohen, Y. Gisi, U. 2007.** Differential activity of carboxylic acid amide fungicides against various developmental stages of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 97: 1274-1283.
- Cooke, D. E. L. et Lees, A. K. 2004.** Markers, old and new, for examining *Phytophthora infestans* diversity. *Plant Pathology* 53 : 692–704.
- Corbière, R., Rekad, F. Z., Galfout. A., Andrivon, D. et Bouznad, Z. 2010.** Phenotypic and genotypic characteristics of Algerian isolates of *Phytophthora infestans*. 12<sup>th</sup> Euroblight Workshop Arras-France: 14 p.
- Cohen, Y., Farkash, S., Reshit, Z. et Baider, A. 1997.** Oospore production of *Phytophthora infestans* in potato and tomato leaves. *Phytopathology* 73: 925-927.
- CNCC. 2010.** Catalogue des variétés de pomme de terre. *Editée par le CNCC* : 253p.
- Derie, M. L. et Inglis, D. A. 2001.** Persistence of complex virulences in populations of *Phytophthora infestans* in western Washington. *Phytopathology* 91: 606-612.
- Diane, J. C., Louise, R. C. et Averil E. B. 2001.** Phenotypic and genotypic characterisation of Northern Ireland isolates of *Phytophthora infestans*. *European Journal of Plant Pathology* 107: 291–303.
- Dominique, B., Laterrot, H., Marchoux, G. et Candresse, T. 2009.** Les maladies de la tomate : identifier, connaître et maîtriser. Ed: Quae , Paris. 690 p.
- Dorrance, A. E., Inglis, A. A., Brown, C. R., Goodwin, S. B. et Fry, W. E. 1999.** Characterization of *Phytophthora infestans* population in western Washington. *Plant Disease* 83: 423-428.
- Drenth, A., Janssen, E.M. et Govers, F. 1995.** Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. *Plant Pathology* 44: 86-94.

- Ducattillon, C., Van Koninckxloo, M. et Vandemeulebroecke, K. 2006.** Le mildiou de la pomme de terre: Stratégies de lutte. Centre pour l'agronomie et l'agro-industrie de la province de Hainaut (CARAH). Pays Bas. 8 p.
- Duniway, J. M. 1983.** Role of the physical factors in the development of *Phytophthora infestans* (pp 175-179). In : Erwin D. C., Bartnicki-Garcia S., and Tsao P. H.(eds); *Phytophthora, Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology. American Phytopathology Society, St. Paul, MN. 392 p.*
- El Ismaili, A. 1994.** Le mildiou de la pomme de terre: Epidémiologie dans le périmètre de la base Moulouya et niveaux de sensibilité au métalaxyl. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle. ENA Meknès. 129pp.
- Elliot, C. G. 1983.** Physiology of sexual reproduction in *Phytophthora* (pp 71-80). In: Erwin D. C., Bartnicki-Garcia S., Tsao P. H.(eds); *Phytophthora, Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology. American Phytopathology Society, St. Paul, MN. 392 p.*
- Erwin, D. C., Zentmyer, J., Galindo, J. et Nierderhauser, J. S. 1963.** Variation in the genus *Phytophthora*. *Annual Review of Phytopathology* 1: 375-396.
- Erwin, D. C., Bartnicki-Garcia, S. et Tsao, P. H.(eds). 1983.** *Phytophthora, Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology. American Phytopathology Society, St. Paul, MN. 392 p.*
- Erwin, D. C. and Ribeiro, O. K. 1996.** *Phytophthora* diseases worldwide. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minisota. 561 p.
- Ferjaoui, S., Boughalleb, N., Khamassi, N., M' Hamdi, M. et Romdhani, M. E. 2010.** Evaluation de la résistance de certaines variétés de pomme de terre biologique au mildiou (*Phytophthora infestans* (Mont) de Bary). *Tropicultura* 28 : 44-49.
- Fernández-Pavia, S. P., Grunwald, N. J., Diaz-Valasis, M., Cadena-Hinojosa, M. et Fry, W. E. 2004.** Soil born oospores of *Phytophthora infestans* in central Mexico survive winter fallow and infect potato plants in the field. *Plant Disease* 88: 29-33.
- Flier, W. G., Grunwald, N.J., Fry, W. F. et Turkensteen, L. J. 2001.** Formation, production and viability of oospores of *Phytophthora infestans* from potato and

*Solanum demissum* in the Toluca Valley, central Mexico. *Mycological Research* 105: 998-1006.

- Flier, W. G., Kessel, G.J.T., et Shepers, H.T.A.M.. 2004.** The impact of oospores of *Phytophthora infestans* on late blight epidemics. *Plant Breeding and seed science* 50: 5-13.
- Fontem, D. A., Olanya, O. M., Tsopmbeng, G. R. et Owona, M. A. P. 2005.** Pathogenicity and melalaxyl sensitivity of *Phytophthora infestans* isolates obtained from garden huckleberry, potato and tomato in Cameroon. *Crop Protection* 24: 449-456.
- Fry, W. E., Goodwin, S. D., Matuszak, J. M., Spielman, L. J., Milgroom, M. G. et Drenth, A. 1992.** Population genetics and intercontinental migration of *Phytophthora infestans*. *Annual Review of phytopathology* 30: 107-129.
- Galfout, A. 2009.** Contribution à l'étude du mildiou de la pomme de terre dans le centre et ouest de l'Algérie. Mémoire d'Ingénieur en Agronomie. E.N.S.A. El Harrach. 74 p.
- Gallegly, ME., Galindo, J. 1958.** Mating type and oospores of *Phytophthora infestans* in nature in Mexico. *Phytopathology* 48: 274-77.
- Gavino, P. D., Smart, C. D., Sandroock, R. W., Miller, J. S., Hamm, P. B., Lee, T. Y., Davis, R. M. et Fry, W. E. 2000.** Implications of sexual reproduction for *Phytophthora infestans* in the United States: Generation of an aggressive lineage. *Plant Disease* 84: 731-735.
- Gilchrist, E., Jaramillo, S., Afanador, L. et Arango, R. 2009.** Characterization of *Phytophthora infestans* population in Antioquia, Colombia. *Revue Fac. Nat. Agr. Medellín* 62(2): 5031-5037.
- Glass, J. R., Johnson, K. B. et Powelson, M. L. 2001.** Assessment of barriers to prevent the development of potato tuber blight caused by *Phytophthora infestans*. *Plant Disease* 85:521-528.
- Goodwin, S. B., Cohen, B. A., Deahl, K. L. et Fry, W. E. 1993.** Migration from northern Mexico as probable cause of recent genetic changes in populations of *Phytophthora infestans* in the United States and Canada. *Phytopathology* 84: 553-558.

- Göts, E. 1991.** Untersuchungen zum Auftreten des A2 Paarungstyps bei *Phytophthora infestans* in Ostdeutschland. *Potato Res.* 34: 233-237.
- Groves, C. T. et Ristaino, J. B. 2000.** Commercial fungicide formulations induce *in vitro* oospore formation and phenotypic change in mating type in *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 90:1201-1208.
- Grünwald, N. J., Sturbaum, A. K., Romero Montes, G., Garay Serrano, E., Lozoya-Saldaña, H., et Fry, W. E. 2006.** Selection for fungicide resistance within a growing season in field populations of *Phytophthora infestans* at the center of origin. *Phytopathology* 96: 1397-1403.
- Grünwald, N.J. et Flier, W. G. 2005.** The Biology of *Phytophthora infestans* at its centre of origin. *Annual Review of phytopathology* 43: 171-190.
- Halim, V. A., Eschen-Lippold, L., Altmann, S., Mandy Birschwilks, Dierk Scheel, et Sabine Rosahl. 2007.** Salicylic Acid Is Important for Basal Defense of *Solanum tuberosum* Against *Phytophthora infestans*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 20(11) : 1346–1352.
- Hammi, A., 2003.** Caractérisation des populations de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary dans la région de Saïs. Thèse de doctorat. Université Sidi Mohamed Ibn Abdollah. Fes. Maroc : 272 p.
- Hanson, K. et Shattock, R. C. 1998.** Formation of oospores of *Phytophthora infestans* in cultivars of potato with different levels of race-nonspecific resistance. *Plant Pathology* 47: 123-129.
- Hawkes, J. G. 1990.** The potato, evolution, biodiversity and genetic resources. *Belhaven Press*, London : 259 p.
- Hendrix, J. W., 1970.** Sterols in growth and reproduction of fungi. *Annual Review of Phytopathology* 8 :111-130.
- Hohl, H. R. 1983.** Nutrition of *Phytophthora* (pp 41-54). In Erwin D. C., Bartnicki-Garcia S., Tsao P. H.(eds); *Phytophthora, Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology*. *American Phytopathology Society*, St. Paul, MN. 392 p.

- Hugenin, B. et Boccas, B. 1971.** Rôle de quelques facteurs dans la formation et la germination des oospores chez *Phytophthora palmivora*. *Annales de phytopathologie* 3: 353-371.
- International Potato Center, 1996.** Major Potato Diseases, Insects, and Nematodes. Lima, Peru : 111 p.
- Johnson, D. A. 2010.** Transmission of *Phytophthora infestans* from infected potato seed tubers to emerged shoots. *Plant Disease* 94: 18-23.
- Jmour, W. et Hamada, W. 2006.** First report of A2 mating type of *Phytophthora infestans* in Tunisia using molecular markers and some observation on its métalaxyl resistance. *Tunisian Journal of Plant protection* 1: 85-91.
- Judelson, H. S. 1997.** The genetics and biology of *Phytophthora infestans*: modern approaches to historical challenge. *Fungal Genetics and Biology* 22: 65-76.
- Judelson, H. S. et Roberts, S. 1999.** Multiple loci determining insensitivity to phenylamide fungicide in *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 89: 754-759.
- Kim, J. K. et Lee, Y. S. 2002.** Genetic DNA Marker for A2 mating type in *Phytophthora infestans*. *The Journal of Microbiology* 40: 254-259.
- Klarfeld, S., Rubin, A. E. et Cohen, Y. 2009.** Pathogenic fitness of oosporic progeny isolates of *Phytophthora infestans* on late-blight-resistant tomato lines. *Plant Disease* 93: 947-953.
- Kroon, L. P. N. M., Bakker, F. T., Van den Bosch, G. B. M., Bonants, P. J. M. et Flier, W.G. 2004.** Phylogenetic analysis of *Phytophthora* species based on mitochondrial and nuclear DNA sequences. *Fungal Genetics and Biology* 41: 766-782.
- Kuzntesova, M. A., Ulanova, T. I., Rogozhin, A. N., Smetanina, T. I. et Filippove, A.V. 2010.** Role of oospores in the overwintering and year-on-year development of the late blight pathogen on tomato and potato. Twelfth EuroBlight workshop Arras (France), 3-6 May 2010. PPO-Special Report no. 14, 223 – 230.

- Lacroix, M. 1999.** La tomate de serre, une plante hôte pour le mildiou causée par *Phytophthora infestans*. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection. Direction de l'Innovation Scientifique et Technologique, MAPA. Québec. Canada : 11 p.
- Lebreton, L., Laurent, C. et Andrivon, D. 1998.** Evolution of *Phytophthora infestans* populations in the two most important potato production areas of France during 1992-96. *Plant Pathology* 47: 427-439.
- Lebreton, L., Lucas, J. M. et Andrivon, D. 1999.** Aggressiveness and competitive fitness of *Phytophthora infestans* isolates collected from potato and tomato in France. *Phytopathology* 89: 679-686.
- Lepoivre, P. 2003.** Phytopathologie. Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de luttés. De Boeck. Les presses agronomiques de Gembloux. Bruxelles : 427 p.
- Levin, A., Baider, A., Rubin, E., Gisi, U. et Cohen, Y. 2001.** Oospore formation by *Phytophthora infestans* in potato tubers. *Phytopathology* 91: 579-585.
- Manefrim T. D. C. 2002.** Characterization of isolates of *Phytophthora infestans* collected in Florida in 1999 and 2001. Thèse de Master. Université de Florida. 105p.
- Mayton, H., Smart, C. D., Moravec, B. C., Mizubuti, E. S. G., Muldoo, A. E. et Fry, W. E. 2000.** Oospore survival and pathogenicity of single oospore recombinant progeny from a cross involving US-17 and US-8 genotypes of *Phytophthora infestans*. *Plant Disease* 84: 1190-1196.
- Maziero, J. M. N., Maffia, L. A. et Mizubuti, E. S. G. 2009.** Effects of temperature on events in the infection cycle of two clonal lineages of *Phytophthora infestans* causing late blight on tomato and potato in Brazil. *Plant Disease* 93: 459-466.
- Medina, M.V. et Platt, H.W. 1999.** Viability of oospores of *Phytophthora infestans* under field conditions in northeastern North America. *Canadian Journal of Plant Pathology* 21: 137-143 pp.
- Miller, J. S., Johnson, D. A. et Hamm, P. B. 1998.** Aggressiveness of isolates of *Phytophthora infestans* from the Columbia basin of Washington and Oregon. *Phytopathology* 88 N° 3: 190-197.

- Miller, J. 2001.** The significance of sexual reproduction in *Phytophthora infestans* epidemiology. Global initiative on late blight. *Gilb Newsletter* august 2001 (14) : 1-3 pp.
- Mizubuti, E. S. G. et Fry, W. E. 1998.** Temperature effects on developmental stages of isolates from three clonal lineages of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 88: 837-843.
- Mizubuti, E. S. G., Aylor, D. E. et Fry, W. E. 2000.** Survival of *Phytophthora infestans* sporangia exposed to solar radiation. *Phytopathology* 90: 78-84.
- Montes, R. G., Aguilera, M. G. et Grünwald N. J. 2008.** Environment and slow epidemics favour oosporulation of *Phytophthora infestans* Mont; de Bary, on Potato leaves in the Toluca Valley, México. *American Journal Potato Research* 85: 101-109.
- Mosa, A. A., Kobayashi, K., Ogoshi, A., Kato, L. et Sato, N. 1991.** Formation of oospores by *Phytophthora infestans* in inoculated potato tissues. *Annals of phytopathological Society of Japan* 57: 334-338.
- Moulai, Y. 2010.** Contribution à l'étude du mildiou de la pomme de terre dans la région de Bouira et essai de comportement de quelques variétés à l'égard de *Phytophthora infestans*. Mémoire d'Ingénieur en Agronomie. E.N.S.A. El Harrach. 79p.
- Mukalazi, J., Adipala, E., Sengooba, T., Hakiza, J.J., Olanya, M. et Kidanemariam, H.M. 2001.** Metalaxyl resistance, mating type and pathogenicity of *Phytophthora infestans* in Uganda. *Crop Protection* 20: 379-388.
- Mulder, A. et turkensteen, L. J. (Eds.) 2005.** Potato diseases, Diseases, pests and defects. *NIVAP* : 280 p.
- Naika, S., Juede, J., Goffau, M., Hilmi, M., Dam, V.. 2005.** « Cultivation of tomato » Production, processing and marketing, Agromisa/ CTA. Revised edition, 2005 Agrodokseries No 17.
- Nelson, S. C. 2008.** Late blight of Tomato (*Phytophthora infestans*). College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii at Manoa Cooperative Extension Service PD-45. 10p.

- Nouad, M. A. 2008.** Problématique sur la pomme de terre. Journée de célébration de l'année internationale de la pomme de terre. Le 16 Décembre 2008, Alger : 6-7.
- Nyankanga, R.O., Olanya, O.M., Ojiambo, P.S., Wien, H.C., Honeycutt, C.W. et Kirk W.W. 2011.** Validation of tuber blight (*Phytophthora infestans*) prediction model. *Crop protection* 30: 547-553.
- Paitier, G. 1980.** Le mildiou de la pomme de terre. *Phytoma*. 23-27.
- Perez, W. G., Gombo, J. S., Falcon, Y. V., Coca, M., Raymundo, R. M. et Nelson, R. J. 2001.** Genetic structure of Peruvian populations of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 91: 956-965.
- Pipe, N. D., Azcoitia, V. et Shaw, D. S. 2000.** Self-fertility in *Phytophthora infestans* : heterokaryons segregate several phenotypes. *Mycological Research* 104 (6) : 676-680.
- Platt, R. 2008.** Maladies de la pomme de terre causées par des oomycètes. Cahiers agricultures 17: 361-367.
- Polkowska-Kowalczyk, L., Wielgat, B. et Maciejewska, U. 2007.** Changes in the antioxidant status in leaves of Solanum species in response to elicitor from *Phytophthora infestans*. *Journal of Plant Physiology* 164: 1268-1277.
- Porter, L. D. et Johnson, D. A. 2004.** Survival of *Phytophthora infestans* in surface water. *Phytopathology* 94: 380-387.
- Porter, L. D., Inglis, D. A. et Johnson, D. A. 2004.** Identification and characterization of resistance to *Phytophthora infestans* in leaves, stems, flowers, and tubers of potato clones in the Pacific Northwest. *Plant Disease* 88: 965-972.
- Porter, L. D., Dasgupta, N. et Johnson, D. A. 2005.** Effects of tuber depth and soil moisture on infection of potato tubers in soil by *Phytophthora infestans*. *Plant Disease* 89: 146-152.
- Rakotonindraina, T. 2008.** Analyse de l'adaptabilité de SIPPOM, modèle de gestion durable des résistances variétales, au mildiou de la pomme de terre. Thèse de Master 2. ASCI, SupAgro Montpellier: 77 p.

- Reis, A., Smart, C. D., Fry, W. E., Maffia, L. A. et Mizubuti, E. S. G. 2003.** Characterization of isolates of *Phytophthora infestans* from southern and south-eastern Brazil from 1998 to 2000. *Plant Disease* 87: 896-900.
- Ribeiro, O. K. 1983.** Physiology of asexual sporulation and spore germination (pp 55-77). In: Erwin, D. C., Bartnicki-Garcia, S., and Tsao, P. H. (eds); *Phytophthora, Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology*. American Phytopathology Society, St. Paul, MN. 392 p.
- Ristaino, J. B. 2002.** Tracking historic migrations of the Irish potato famine pathogen, *Phytophthora infestans*. *Microbes and Infection* 4: 1369-1377.
- Romero, S. et Gallegly, M.E. 1963.** Oogonium germination in *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 53, 899-903.
- Rousselle, P., Robert, Y. et Grosnier, J. C. 1996.** La pomme de terre production, amélioration, ennemis, maladie et utilisation. I.N.R.A. Paris. 607p.
- Rubin, E., Baider, A. et Cohen, Y. 2001.** *Phytophthora infestans* Produces Oospores in Fruits and Seeds of Tomato. *Phytopathology* 91: 1074-1080.
- Rubin, E. and Cohen, Y. 2004.** Oospores associated with Tomato Seed may lead to seedborne transmission of *Phytophthora infestans*. *Phytoparasitica* 32: 237-245.
- Sedigui, M., Carroll, R.B., Morehart, A., Lakhdar, R. et Arifi, A. 1997.** Characterization of morocco isolates of *Phytophthora Infestans* for mating type, genotype and metalaxyl sensitivity. P. 467-471. In: CIHEAM/IAV Hassan II, 1999. (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 31).
- Sedegui, M., Carroll, R. B., Morehart, A. L., Hamlen, R. A. et Power, R. J. 1999.** Comparison of assays for measuring sensitivity of *Phytophthora infestans* isolates to fungicides. *Plant Disease* 83: 1167-1169.
- Sedigui, M., Carroll, R. B., Morehart, A. L., Evans, T. A., Kim, S. H. et Lakhdar, R., Arifi, A. 2000.** Genetic structure of the *Phytophthora infestans* population in Morocco. *Plant Disease* 84 : 173-176.

- Shaw, D. S., Fyfe, A. M. et Hibberd, P. G. 1985.** Occurrence of the race A2 mating type of *Phytophthora infestans* on imported Egyptian potatoes and the production of sexual progeny with A1 mating types from the UK. *Plant Pathology* 34: 552-556.
- Shaw, D. S. 1991.** Genetics of *Phytophthora infestans*. *Advances in Plant Pathology* 7 : 131-167.
- Smart, C. D., Mayton, H., Mizubuti, E. S. G., Willmann, M. R. et Fry, W. E. 2000.** Environmental and genetic factors influencing self-fertility in *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 90: 987-994.
- Smart, C. D., Tanksley, S. D., Mayton, H. et Fry, W. E. 2007.** Resistance to *Phytophthora infestans* in *Lycopersicon pennellii*. *Plant Disease* 91:1045-1049.
- Smirnov, A. N., Elansky, S. N.. 1999.** Oospores formation in the field populations of *Phytophthora infestans* in the Moscow region. *Mikologia /Phytopathologia* 6, 421-425.
- Snoussi, S.M. 2010.** Etude de base sur la Tomate en Algérie. Rapport de mission: Programme régional de gestion intégrée des ravageurs pour le Proche-Orient. Rome. 52p.
- Staub, T., Dahmen, H. et Shwinn, F. 1980.** Insensitivity of thick-walled oospores of *Phytium ultimum* to fungicides, methyl bromide and heat. *Phytopathology* 78: 1094-1100.
- Thines, M. 2009.** Bridging the Gulf: *Phytophthora* and downy mildews are connected by rare grass parasites. *PLoS ONE* 4(3): e4790: 1-5.
- Tooley, P. W, Thierrien, C. D. et Ritch, D. L. 1989.** Mating type, race composition, nuclear DNA content, and isozyme analysis of Peruvian isolates of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 79: 478-481.
- Trout, C. L., Ristaino, J. B., Madritch, M. et Wangsomboondee, T. 1997.** Rapid Detection of *Phytophthora infestans* in Late Blight-Infected Potato and Tomato Using PCR. *Plant Disease* 81: 104-1048.
- Tumwine, J., Frinking, H. D. et Jeger, M. J. 2000.** Isolation techniques and cultural media for *Phytophthora infestans* from tomatoes. *Mycologist* 14: 137-139.

- Turkensteen, L. J., Flier, W. G., Wannings, R. et Mulder, A. 2000.** Production, survival and infectivity of oospores of *Phytophthora infestans*. *Plant Pathology* 49: 688-696.
- Weste, G. 1983.** Population dynamics and survival of *Phytophthora* (pp 237-257). In: Erwin, D. C., Bartnicki-Garcia, S., and Tsao, P. H.(eds); *Phytophthora, Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology*. *American Phytopathology Society*, St. Paul, MN. 392 p.
- Vargas, A. M., Quesada Ocampo, L. M., Céspedes, M. C., Carreño, N., González, A., Rojas, A., Zuluaga, A. P., Myers, K., Fry, W. E., Jiménez, P., Bernal, A. J. et Restrepo, S. 2009.** Characterization of *Phytophthora infestans* populations in Colombia: First report of the A2 mating type. *Phytopathology* 99: 82-88.
- Van Poppel, P. M. J. A., Huigen, D. J. et Govers, F. 2009.** Differential recognition of *Phytophthora infestans* races in potato R4 breeding lines. *Phytopathology* 99: 1150-1155.
- Widmer, L. T. 2010.** *Phytophthora kernoviae* oospore maturity, germination, and infection. *fungus biology* 114: 661-668.
- Yang, Y. L., Xiao, L. T. and HU, X. Q. 2011.** Study on the relationship between the toxin of *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary and resistance of potato. *Agricultural Sciences in China* 10: 238-245.

**Site internet :**

<http://www.faostat.fao.org>

<http://www.fao.org>

<http://www.eucablight.org>

<http://www.euroblight.net>

<http://www.inra.fr>

## **Annexe 1 :**

### **Préparation du milieu de culture gélosé à base de petit pois :**

Le milieu de culture à base de pois gélosé est préconisé pour l'isolement de *P. infestans* au laboratoire en additionnant des antibiotiques et aussi pour la purification avec ou sans antibiotiques (Corbière et Glais, 2005). La préparation du milieu petit pois s'effectue comme suit :

- Faire bouillir 125 g des petits pois congelés dans une casserole contenant 1 litre d'eau permutée (dans notre cas, nous avons utilisé de l'eau distillée), puis laisser mijoter pendant 30 à 45 minutes à petit bouillon ;
- Verser le jus de cuisson à travers une passoire dans un flacon contenant 15 g d'agar pour 1 litre de jus (tenir compte de l'évaporation, il faut ajouter 200 ml d'eau distillée) ;
- Autoclaver à 120°C pendant 20 minutes ;
- Couler le milieu dans des boîtes pétris.

**Annexe 2 :****Tableau 1 :** Test de Fisher (LSD) au seuil 5% : Classement et regroupements des groupes non significativement différents des facteurs variétés de pomme de terre et croisement.

Variétés	Moyenne	Regroupements
Spunta	620,729	A
Sarpomira	365,750	B

Confrontations	Moyenne	Regroupements
P-KURD-S X P-10 <sup>1</sup> -AR	542,500	A
P-ITGC-AR X P-SAR-AR	496,667	B
T-INA-S-TIGE X P-SAR-AR	490,750	B
T-INA-AR X P-10 <sup>1</sup> -AR	489,917	B
T-INA-AR X P-SAR-AR	489,500	B
P-KURD-S X P-SAR-AR	484,917	B
P-ITGC-AR X P-10 <sup>1</sup> -AR	477,083	B
T-INA-S-TIGE X P-10 <sup>1</sup> -AR	474,583	B

**Tableau 2 :** Test de Fisher (LSD) au seuil 5% : Classement et regroupements des groupes non significativement différents des facteurs variétés de tomate et croisement.

Variétés	Moyenne	Regroupements
Saint pierre	992,208	A
Marmande	732,083	B

Confrontations	Moyenne	Regroupements
P-KURD-S X P-10 <sup>1</sup> -AR	918,500	A
T-INA-S-TIGE X P-SAR-AR	907,000	A
T-INA-AR X P-SAR-AR	904,500	A
T-INA-AR X P-10 <sup>1</sup> -AR	900,833	A B
P-KURD-S X P-SAR-AR	876,833	B
P-ITGC-AR X P-10 <sup>1</sup> -AR	841,667	C
T-INA-S-TIGE X P-10 <sup>1</sup> -AR	795,333	D
P-ITGC-AR X P-SAR-AR	752,500	E

**Annexe 3 :**

**Tableau 3 :** Test de Fisher (LSD) au seuil 5% : Classement et regroupements des groupes non significativement différents des facteurs espèce (tomate et pomme de terre) et croisement.

<b>Espèces</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Regroupements</b>
Tomate	732,083	A
Pomme de terre	620,729	B

<b>Confrontations</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Regroupements</b>
P-KURD-S X P-10 <sup>1</sup> -AR	749,167	A
T-INA-S-TIGE X P-SAR-AR	707,750	B
T-INA-AR X P-10 <sup>1</sup> -AR	706,917	B
T-INA-AR X P-SAR-AR	703,167	B
P-KURD-S X P-SAR-AR	681,917	B C
P-ITGC-AR X P-10 <sup>1</sup> -AR	660,083	C
P-ITGC-AR X P-SAR-AR	620,333	D
T-INA-S-TIGE X P-10 <sup>1</sup> -AR	581,917	E

**Tableau 4 :** Test de Fisher (LSD) au seuil 5% : Classement et regroupements des groupes non significativement différents des facteurs espèce (tomate et pomme de terre), croisement et rapport.

<b>Espèces</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Regroupements</b>
Tomate	422,670	A
Pomme de terre	407,912	B

<b>Confrontations</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Regroupements</b>
T-INA-S-TIGE X P-10 <sup>1</sup> -AR	422,231	A
P-KURD-S X P-10 <sup>1</sup> -AR	408,352	B

<b>Rapport A1/A2</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Regroupements</b>								
<b>10/10</b>	611,200	A								
<b>5/15</b>	595,200		B							
<b>15/5</b>	569,525			C						
<b>2/18</b>	538,050				D					
<b>18/2</b>	517,800					E				
<b>1/19</b>	496,200						F			
<b>19/1</b>	451,175							G		
<b>20/0</b>	0,000								H	
<b>0/20</b>	0,000									H

**Annexe 4 :**

**Tableau 5 :** Test de Fisher (LSD) au seuil 5% : Classement et regroupements des groupes non significativement différents des facteurs croisement et période.

<b>Périodes</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Regroupements</b>
21 Jours	618,600	A
15 Jours	592,650	B
7 Jours	126,300	C

<b>Confrontations</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Regroupements</b>
T-INA-S-TIGE X P-SAR-AR	456,800	A
P-KURD-S X P-10 <sup>1</sup> -AR	449,100	B
T-INA-AR X P-10 <sup>1</sup> -AR	448,600	B
P-ITGC-AR X P-SAR-AR	428,900	C

**Résumé :**

Le mildiou causé par *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, est la maladie la plus destructrice de la pomme de terre dans le monde entier. Elle est devenue une maladie importante dans de nombreux pays. *Phytophthora infestans* peut attaquer tous les organes de la plantes. C'est un organisme hétérothalique possédant deux types de compatibilité sexuelle A1 et A2. Lorsque deux isolats de types sexuels différents se rencontrent, il peut y avoir une reproduction sexuée avec une production d'oospores. Dans notre expérimentation, quatre isolats de *Phytophthora infestans* de types A1 ont été confronté avec deux isolat de type A2 afin d'évaluer leur capacité à produire des oospores sur milieu de culture (*in vitro*) et sur des folioles de pomme de terre et de tomate (*in vivo*). Cette production dépend de plusieurs facteurs, le type de l'hôte (pomme de terre ou tomate), le niveau de sensibilité de l'hôte, le type de confrontation et la durée de la période d'incubation. Cependant, la variabilité des rapports de concentration des isolats de *Phytophthora infestans* n'influe pas sur la production d'oospores.

**Mots clés :** Mildiou, pomme de terre, tomate, *Phytophthora infestans*, compatibilité sexuelle, oospores.

**Abstracts:**

Late blight, caused by *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, is the most destructive disease of potato (*Solanum tuberosum* L.) worldwide. It became an important disease in many countries. *Phytophthora infestans* can attack all parts of the plants. It is a hétérothallic organism with two mating types A1 and A2. When two different mating types isolates meet, there can be propagated with production of oospores. In our experiment, four isolates A1 of *Phytophthora infestans* were confronted with two isolates A2 to assess their ability to produce oospores on culture medium (*in vitro*) and on leaflets of potato and tomato (*in vivo*). This production depends on several factors: the type of the host (potato or tomato), the level of host susceptibility, type of confrontation and duration of the incubation period. However, the variability of the concentration ratios of *Phytophthora infestans* isolates did not affect the production of oospores.

**Keywords:** Late blight, potato, tomato, *Phytophthora infestans*, mating type, oospors.

**ملخص:**

مرض البياض الزغبي الناجم عن فيتو فتورا انفيستنس منتي دوباري هو المرض الأشد ضررا بالبطاطا في جميع أنحاء العالم. ويعتبر من الأمراض الخطيرة في كثير من البلدان. فيتو فتورا انفيستنس باستطاعة إصابة جميع أعضاء النبتة و يتواجد على شكل نمطين جنسيين A1 و A2. عندما تلتقي عزلتان من نمطين جنسيين مختلفين ، يمكن أن يحدث تزاوج و إنتاج بويضات. في تجربتنا، تم إحداث تزاوج بين أربعة عزلات من فيتو فتورا انفيستنس نمط A1 و عزلتين نمط A2، من أجل تقييم قدرتها على إنتاج البويضات في وسط مخبري (في المختبر) و علي وريقات من نبات البطاطا و الطماطم (في نسيج حي). يعتمد هذا الإنتاج على عدة عوامل: نوع المضيف (البطاطا أو الطماطم)، مستوى قابلية المضيف، نوع التزاوج ومدة فترة الحضنة. ومع ذلك، فإن التقلبات في نسب تركيز عزلات فيتو فتورا انفيستنس لم تؤثر على إنتاج البويضات.

**الكلمات المفتاحية:** البياض الزغبي، البطاطا، الطماطم، فيتو فتورا انفيستنس، نمط جنسي، البويضات.