

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB - BLIDA**

**FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES**  
**DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES**

**MEMOIRE DE MAGISTER**

Spécialité : Phytopathologie

**MODELISATION EPIDEMIOLOGIQUE DU MILDIOU DE LA**  
**POMME DE TERRE DANS LA REGION D'AIN DEFLA**

Par

**ABDERRAHMANE Omar**

Devant le jury composé de :

H. BELKAHLA	Professeur, U.S.D. Blida	Président
M. BENCHABANE	M.C.A., U.S.D. Blida	Promoteur
S.A. SNOUSSI	Professeur, U.S.D. Blida	Examineur
A. GUENDOUZ-BENRIMA	Professeur, U.S.D. Blida	Examinatrice

Blida, Avril, 2012

## RESUME

La wilaya d'Ain Defla est une région potentielle en production de pomme de terre, assurant environ 40 % de la production nationale. Ces dernières années, cette wilaya a connu plusieurs cycles épidémiques de mildiou (2001, 2007 et 2010), engendrant de grandes pertes économiques sur cette culture. Les méthodes de lutte sont principalement d'ordre chimique. L'utilisation de diverses matières actives à effet fongicide avec différents modes d'action (contact, systémique et translaminaire) pour la lutte contre le mildiou n'a pas permis de réaliser des résultats satisfaisants en termes de lutte contre le mildiou. Cet état nécessite le recours ou l'intégration de systèmes de prévision pour mieux valoriser cette stratégie de lutte chimique.

Dans le but de développer un modèle spécifique pour la région d'Ain Defla, nous avons testé l'application de trois modèles de prévision de mildiou: Période de Smith, NEGFY et Prognose. Cette étude s'est déroulée dans deux régions potentielles de production de pomme de terre (Bir Ould khelifa, et El Amra), sur une période de trois années consécutives (2009, 2010 et 2011).

Globalement la gestion du mildiou est moins contrôlée dans cette région, même avec l'augmentation du nombre de traitements. Nous avons enregistré une sévérité de 90 % en 2011 à moins de 10 % en 2009. Les pertes en rendement ont été plus élevées en 2010, atteignant jusqu'à 85 %.

Les résultats obtenus des modèles sont variables et montrent une grande variabilité en leur capacité à prédire avec précision le déclenchement de la maladie. Donc, les avertissements conçus sont non fiables et loin d'être précis (un avertissement d'un jour avant l'occurrence de la maladie jusqu'à 50 jours). Parfois nous avons enregistré l'absence d'avertissement au moment où la maladie est déjà déclarée ou déclenchée.

En comparant l'historique d'attaque du mildiou et les conditions climatiques accompagnant ces épidémies, il apparaît clairement que la pluviométrie joue un rôle important. Ces conditions doivent être traitées et interprétées d'une manière précise et qui nécessite des relevés climatiques de haute précision. L'exploitation de ces données est considérée comme un prérequis devant la conception d'un modèle adapté aux conditions de cette région.

**Mots clés :** Pomme de terre, Mildiou, Conditions climatiques, Systèmes d'avertissement.

## Summary

The state of Ain Defla is a potential region in potato production, providing about 40 % of national production. In recent years, the state has seen several of late blight epidemic cycles (2001, 2007 and 2010), causing a large economic losses on this crop. Control methods are primarily chemical. The use of various active ingredients with a fungicidal effect and different mode of action (contact, systemic and translaminar) for control of late blight, failed to achieve satisfactory results. This situation required the use or integration of forecasting systems to better promote the strategy of chemical control.

In order to develop a specific model for the region of Ain Defla, we tested the application of three late blight forecasting models: Period of Smith, NEGFRY and Prognosis. The study was conducted in two potential areas of potato production (Bir Ould Khelifa, and El Amra), over a period of three consecutive years (2009, 2010 and 2011).

Overall management of late blight is less controlled in this region, even with the increase in the number of treatments. We recorded a severity of 90% in 2011 to less than 10% in 2009. Yield losses were higher in 2010, reaching up to 85%.

The results of models are variable and show great variability in their ability to accurately predict the occurrence of the disease. So the designed warnings are unreliable and far from accurate (a warning of one day before the occurrence of the disease up to 50 days). Sometimes we have had no warning when the disease is already declared or initiated.

Comparing the history of attack of late blight and weather conditions accompanying such outbreaks, it appears clear that rainfall plays an important role. These conditions must be processed and interpreted in a precise way which requires highly accurate climate records. The use of this data is considered a prerequisite to the development of a model adapted to the conditions of this region.

**Key words:** Potato, Late Blight, weather condition, warning systems.

## ملخص

ولاية عين الدفلة لديها إمكانيات كبيرة في إنتاج البطاطا، حيث تساهم بحوالي 40 % من الانتاج الوطني. شهدت الولاية عدة دورات أوبئة للبياض الزغبي (2001 ، 2007 و 2010)، مما تسبب في خسائر اقتصادية كبيرة على هذا المحصول. تعتمد طرق المكافحة أساسا على المعالجة الكيميائية. استخدام مختلف المواد الفعالة (مبيدات الفطريات) مع أنماط مختلفة من العمل (الملمسة، جهازية و translaminaire) لمكافحة العفن الفطري فشلت في تحقيق نتائج مرضية من حيث مكافحة المرض. تتطلب هذه الحالة استخدام أو إدراج نظم التنبؤ من أجل تحسين و تعزيز إستراتيجية المكافحة الكيميائية.

من أجل تطوير نموذج محدد لمنطقة عين الدفلة، قمنا بإختيار تطبيق ثلاثة نماذج تنبؤ للبياض الزغبي: مدة سميت، NEGFRY والتشخيص. أجريت الدراسة في منطقتين معروفتين بإنتاج البطاطا (بئر ولد خليفة و العامرة)، على مدى ثلاث سنوات متتالية (2009 ، 2010 و 2011).

بصفة عامة، الإدارة العامة للبياض الزغبي في هذه المنطقة غير ناجعة، حتى مع زيادة في عدد العلاجات. سجلنا نسبة المرض بـ: 90 % في عام 2011 إلى أقل من 10 % في عام 2009. كما سجلنا أكبر خسارة في مردود الإنتاج في عام 2010 بحيث وصل إلى 85 %.

نتائج النماذج المتحصل عليها متغيرة، وتظهر تقلبات كبيرة في قدرتها على التنبؤ بدقة ظهور المرض. بحيث أن التحذيرات المعدة لا يمكن الاعتماد عليها وبعيدة عن الدقة (تحذير ليوم واحد قبل حدوث المرض تصل إلى 50 يوما). أحيانا سجلنا انعدام أي إنذار في الوقت الذي يكون المرض موجود بالفعل أو بدأ بالظهور.

بمقارنة تاريخ وقوع و إنتشار أوبئة البياض الزغبي والظروف المناخية المصاحب لها، يبدو واضحا أن الأمطار تلعب دورا هاما في انتشارها، هاته الظروف المناخية يجب أن تتم معالجتها و تفسيرها بدقة وهذا يتطلب سجلات مناخية دقيقة للغاية. ويعتبر إستغلال هذه البيانات شرطا مسبقا لوضع نموذج يتكيف مع ظروف هذه المنطقة.

**كلمات مفتاحية:** بطاطس، البياض الزغبي، الطقس و نظم الإنذار.

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie Allah de nous avoir donné la santé, la patience et les moyens, à fin que nous puissions accomplir ce modeste travail.

Je voudrais adresser ma profonde reconnaissance et mon entière gratitude à mon promoteur Monsieur le Dr. Benchabane Messaoud, maître de conférence à l'université de Blida d'avoir accepté la direction de ce travail, je le remercie pour m'avoir fait profiter de ses connaissances et pour son soutien lors de la rédaction de ce travail, je le remercie de m'avoir offert cette grande liberté de travail et de m'avoir accordée sa confiance.

J'exprime mes vifs remerciements et mon profond respect aux honorables membres du jury, de m'avoir accordé leurs temps et la patience pour juger et aider à l'amélioration de ce travail :

- Pr. Hadjira Belkahla
- Pr. Sid Ahmed Snoussi
- Pr. Atika Benrima-Guendouz

Nos sincères remerciements à Fadil Djamila ingénieur du laboratoire de mycologie pour son aide, sa disponibilité et sa patience.

Un très grand merci pour Mr Boualem le directeur de la SRPV de Chlef, la famille Boujadi à El Amra, Fouad, Lakhdar, Belkacem, Abdelkader et ces amies à Bir Ould Khelifa et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

## TABLE DES MATIERES

RESUME

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION.....	8
1. MILDIOU DE LA POMME DE TERRE.....	11
1.1. Généralité sur la pomme de terre.....	11
1.2. Mildiou de la pomme de terre.....	16
2. LES PRÉVISIONS .....	36
2.1. Principaux systèmes de prévision.....	36
2.2. Système d'aide à la décision (DSS).....	43
3. MATERIEL ET METHODE.....	45
3.1. Région d'étude.....	45
3.2. Parcelles étudiées.....	47
3.3. Suivi sur terrain.....	50
3.4. Diagnostic au laboratoire.....	59
4. RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	60
4.1. Observation des foyers du mildiou.....	60
4.1.1. Description symptomatologique.....	60
4.1.2. Conditions climatiques.....	67
4.1.3. Traitements phytosanitaires.....	70
4.2. Sévérité de la maladie .....	71
4.3. Caractérisation au laboratoire.....	74
4.4. Validation des modèles de prévision.....	75
5. DISCUSSION GENERALE.....	87
CONCLUSION.....	93
APPENDICE	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	108

## LISTES DES ILLUSTRATIONS GRAPHIQUES

Figure 1.1	Production mondiale de la pomme de terre par zone 2008	14
Figure 1.2	Symptômes et signes sur feuillages	18
Figure 1.3	Lésions noires brunâtres sur feuilles	18
Figure 1.4	Symptômes sur tige et feuille	18
Figure 1.5	Attaque sévère de mildiou	19
Figure 1.6	Tâche brunâtre sur le tubercule	19
Figure 1.7	Classification des oomycètes	20
Figure 1.8	Sporanges et sporangiophores de <i>Phytophthora infestans</i>	21
Figure 1.9	Libération des zoospores	22
Figure 1.10	Germination directe des sporanges	22
Figure 1.11	Flagelles des zoospores	22
Figure 1.12	L'oospore	23
Figure 1.13	Germination des oospores	23
Figure 1.14	Cycle de vie de <i>Phytophthora infestans</i>	27
Figure 2.15	Stades du cycle de la maladie considéré dans les modèles de prévisions	44
Figure 3.16	Localisation géographique de la région d'étude	46
Figure 3.17	Bir ould khelifa	46
Figure 3.18	Al Amra (ex Kherba)	47
Figure 3.19	Clé d'évaluation du pourcentage d'infection du mildiou sur la pomme de terre	51
Figure 4.20	Tâches de mildiou sur feuilles	60
Figure 4.21	Feuillages sains des plantes	61
Figure 4.22	Attaque précoce et sévère du mildiou sur feuilles inférieure	62
Figure 4.23	Foyer en évolution	62
Figure 4.24	Symptôme du mildiou sur feuilles, tiges et bouquet terminaux	63
Figure 4.25	Phénomène de repousse	64

Figure 4.26	Premier tache du mildiou (19 Avril, 2011)	65
Figure 4.27	Premier foyer du mildiou (26 Avril, 2011)	65
Figure 4.28	Feuillage saine jusqu'à le troisième mois du cycle de la culture	66
Figure 4.29	Au bout de deux semaines une destruction rapide du feuillage	66
Figure 4.30	Attaque sévère de la maladie (2011)	66
Figure 4.31	Périodes de risques selon les relevés climatiques (2009)	67
Figure 4.32	Périodes de risques selon les relevés climatiques (2010)	69
Figure 4.33	Périodes de risques selon les relevés climatiques (2011)	70
Figure 4.34	Sévérité de la maladie durant la saison de la culture 2009, 2010,2011	73
Figure 4.35	Vue microscopique de <i>Phytophthora infestans</i>	75
Figure 4.36	Résultat des modèles de prévision du mildiou dans les trois ans	82

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Production et consommation de pommes de terre, par région en 2007	12
Tableau 1.2	principaux pays importateurs / exportateurs de pomme de terre	15
Tableau 1.3	Efficacité des fongicides / Co-formulations pour le contrôle de <i>P. infestans</i> basé sur le plus haut taux enregistré en Europe	33
Tableau 3.4	Caractéristiques des parcelles étudiées	47
Tableau 3.5	Fongicides appliquées (2009-2011)	49
Tableau 3.6	Clef descriptive pour l'évaluation de mildiou de pommes de terre	52
Tableau 3.7	Valeurs à risques du mildiou selon le modèle	54
Tableau 3.8	Unités de fongicide	56
Tableau 3.9	Unités de valeur à risque	57
Tableau 3.10	Règles de décision pour la simulation de prévision	58
Tableau 4.11	Evaluation du pourcentage d'infection du mildiou	74
Tableau 4.12	Nombre total des traitements recommandés par les modèles examinés.	80
Tableau 4.13	Date d'apparition des premier symptômes et de recommandation du premier traitement pour chaque model	80
Tableau 4.14	Performance des systèmes d'avertissement	82

## INTRODUCTION

Le mildiou, causé par *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, est une maladie agressive et dévastatrice des cultures de pomme de terre et de tomate dans le monde ; c'est l'une des maladies les plus coûteuses et préjudiciables [1]. Les pertes de rendement sont plus graves si les infections sont prématurées sur les feuillages et les tubercules [2]. Le mildiou reste un problème continu dans la gestion globale de la culture de pomme de terre [3], exigeant une attention particulière pour éviter des situations épidémiologiques incontrôlables. Les coûts de pertes de mildiou de pomme de terre, et de contrôle, sont énormes qui peuvent atteindre plusieurs millions de dollars annuellement dans la production globale de tomate et de pomme de terre [4, 5, 6].

Les fortes attaques épidémiologiques du mildiou trouvent leur raison dans les potentialités reproductives asexuées et d'un pouvoir propagatif atteignant plusieurs kilomètres des sources d'infections primaires [8, 9, 10, 11, 12, 13]. En plus ce champignon est doué d'une reproduction sexuée capable de conserver l'inoculum dans le sol pendant plusieurs années [14, 15]. Bien que de nombreuses études et de recherches se sont intéressées à l'obtention de cultivars résistants et au développement du contrôle chimique, néanmoins les méthodes de lutte n'ont pas permis d'éradiquer ce fléau redoutable sur pomme de terre. En majorité des cas, le contrôle chimique reste le moyen le plus sollicité, exigeant des applications répétées et fréquentes de fongicides diversifiés dans leurs matières actives et dans leurs modes d'actions. C'est une situation insoutenable qui est actuellement remise en cause, notamment avec le souci de protection de l'environnement et de la santé humaine, en plus des risques d'apparitions de souches de plus en plus résistantes aux fongicides [4, 5, 6].

Dans le sens de diminuer le nombre et le coût d'applications de fongicides tout en assurant un contrôle réussi et efficace de la maladie, le choix des conditions et le moment d'application restent les éléments clés dans la planification des techniques de protection. Selon Large [7] «Les prévisions servent pour indiquer le bon moment pour des applications qui devraient protéger l'ensemble du feuillage

quand l'attaque commence réellement». Plusieurs modèles, ou système d'aide à la décision (DSS : Decision Support System), sont aujourd'hui utilisés localement pour fournir des conseils pour la planification efficace de pulvérisations de fongicide en fonction des conditions météorologiques. Les DSS peut intégrer l'information sur le cycle de vie des oomycètes, l'historique et les prévisions du climat, la croissance des plantes, la résistance des cultivars, les caractéristiques des fongicides et le traduire en conseil de décision pour des applications chimiques. Exploiter la richesse des informations sur la maladie avec l'utilisation de modèles informatiques peut améliorer l'efficacité des stratégies de contrôle, réduire les coûts et réduire l'impact environnemental de l'intensité des systèmes de pulvérisation [16].

En raison de la plasticité de la culture de pomme de terre en Algérie, les conditions permettent de la cultiver dans différentes régions du littoral jusqu'au sud du pays. Vue l'importance de cette culture dans le régime alimentaire des algérienne, l'état a consacré d'énormes efforts et soutiens pour développer le secteur de la pomme de terre par l'installation de différents lieux du stockage et par l'extension des surfaces et régions de sa production. La grande partie de production de la pomme de terre se localise dans le littoral et sublittoral, caractérisés par un climat favorable au développement du mildiou qui constitue une réelle menace pour cette culture. En effet, en 2007 le mildiou a causé des pertes énorme suite à la situation épidémique qui a ravagé cette zone, surtout les régions ouest, dont Ain Defla a été sérieusement touchée. Cette épidémie a bouleversé la balance des échanges nationaux et a créé un vide dans la disponibilité de la pomme de terre sur le marché. Comme conséquence majeure, cette situation a créé de forte perturbations dans la disponibilité de pomme de terre de semences, car un pourcentage important des agriculteurs dépend de l'auto approvisionnement. En raison de cette épidémie, certains agriculteurs ont abandonné la filière avec des répercussions sociales, à cause de la faillite enregistrée. Ces pertes se poursuivent après l'épidémie dans chaque campagne agricole et surtout dans la culture d'arrière saison. Les risques liés aux pertes de production sont considérables, même avec l'augmentation des fréquences de traitement anti-mildiou après l'épidémie et le coût de protection qui s'est multiplié à trois fois plus, la situation ne semble pas contrôlable.

Le programme quinquennal (2010-2014) lancé par le Ministère de l'Agriculture qui vise à améliorer la production et a pour objectif d'atteindre une production de quatre millions de tonnes soit le double de la production actuelle ne peut être concrétisé sans tenir en compte les problèmes de la filière dont les plus importantes restent la semence importée des pays européens en plus de menaces du mildiou qui au bout d'une semaine ou quelques jours peut détruire la totalité de la culture.

La forte dépendance du mildiou de pomme de terre du climat a été employée comme une base pour différents types de modèles pour faire des prévisions, quand les mesures de protection de culture sont exigées. Il y a beaucoup d'exemples de modèles réussis, en rationalisant l'utilisation des fongicides [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]. Beaucoup d'auteurs ont développé des modèles épidémiologiques, afin d'expliquer et prévoir quand la maladie débute dans le but de déterminer la synchronisation appropriée pour le déclenchement des mesures de contrôle [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31].

Vue la difficulté de la lutte contre le mildiou (fréquences de traitements élevée et souvent jugée inefficace) et les pertes importantes enregistrées chaque année dans plusieurs régions de production, l'objectif de notre travail est d'expérimenter l'application de la modélisation épidémiologique dans les conditions de culture de pomme de terre dans la région de Ain Defla. Le choix de cette région est motivé d'une part par l'importance de cette culture qui assure entre 25 à 40 % de la production nationale. D'autre part cette région a subi des pertes considérables suite à l'épidémie de mildiou en 2007, sans omettre l'existence de conditions très favorables à cette maladie.

Dans ce contexte, notre étude consiste à valider l'application sur terrain de trois modèles prévisionnels souvent appliqués dans le monde pour des études épidémiologiques. Il s'agit des modèles Prognose, Période de Smith et NegFry. La validation s'est opérée dans deux zones de la wilaya d'Ain Defla la première à Bir Ould Khelifa, la deuxième à El Amra durant trois ans (2009 -2011). Il est à noter que ces deux régions assurent 10 % du potentiel productif de la wilaya.

# CHAPITRE 1

## MILDIU DE LA POMME DE TERRE

### 1. 1. Généralités sur la pomme de terre

#### 1.1.1. Historique

La pomme de terre (*Solanum tuberosum*) est une plante vivace herbacée cultivée depuis 8 000 ans, originaire des Andes (Pérou), elle a été introduite en Europe au milieu du XVIe siècle, en Chine au XVIIe siècle. Elle est arrivée tardivement en Afrique, environ au tournant du XXe siècle [32].

#### 1.1.2. Valeur nutritive et utilisations

La pomme de terre est un aliment polyvalent, riche en hydrates de carbone ; elle contient environ 80 % d'eau et 20 % de matière sèche, dont 60 à 80 % environ d'amidon. La teneur en protéines de la pomme de terre (en poids sec) est semblable à celle des céréales et très élevée par rapport aux autres racines et tubercules. En outre, la pomme de terre est pauvre en lipides. Les pommes de terre sont riches en micronutriments, en particulier en vitamine C – consommée avec sa peau. Une pomme de terre de taille moyenne, de 150 g, couvre près de la moitié des besoins quotidiens d'un adulte (100 mg). La pomme de terre est une source modérée de fer et sa forte teneur en vitamine C favorise l'absorption, comme elle est source de vitamines B1, B3 et B6 et de sels minéraux comme le potassium, le phosphore et le magnésium, et elle contient en outre des vitamines B9, B5 et B2. Les pommes de terre renferment par ailleurs des antioxydants, utiles dans la prévention des maladies liées au vieillissement, et des fibres alimentaires, essentielles au métabolisme [32].

La pomme de terre peut être utilisée de diverses manières, et pas seulement comme légume frais. En effet, moins de la moitié des tubercules produits dans le monde sont consommés frais. Le reste est transformé en produits dérivés à valeur ajoutée (la pomme de terre surgelées, chips...) et en ingrédients alimentaires pour nourrir les animaux d'élevage, en fécule destinée à l'industrie ou bien réutilisé

sous forme de tubercules pour la prochaine saison agricole. [32].

### 1.1.3. Importance dans le monde

Le secteur de la pomme de terre est en pleine évolution, selon les statistiques de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Jusqu'au début des années 90, la plupart des pommes de terre étaient cultivées et consommées en Europe, en Amérique du Nord et dans les pays de l'ex-Union soviétique. Depuis lors, la production et la demande en pommes de terre ont enregistré une forte croissance en Asie, en Afrique et en Amérique Latine. En 2005, pour la première fois, la production de la pomme de terre du monde en développement a dépassé celle du monde développé. La Chine est devenue le premier producteur mondial de pommes de terre. La production mondiale atteint 325 million de tonnes en 2007. L'Asie et l'Europe sont les deux principales régions productrices de pommes de terre, avec une production respectivement de 137 343 664 et 130 223 960 tonnes en assurant plus de 80 % de la production mondiale en 2007. L'Asie consomme près de la moitié des pommes de terre produites dans le monde, mais la consommation par habitant reste modeste, environ 24 kg/hab/an en 2005. Les Européens sont les plus gros consommateurs avec 87.8 kg/hab/an suivi par les américaines du nord avec un 60 kg/hab/an. [32].

**Tableau 1.1. : Production et consommation de pommes de terre, (FAO, 2007)**

	Surface récoltée	Quantité	Rendement	Consommation
	hectares	tonnes	tonnes/hectare	kg/habitant
Afrique	1 541 498	16 706 573	10,83	13,9
Asie et Océanie	8 732 961	137 343 664	15,72	23,9
Europe	7 473 628	130 223 960	17,42	87,8
Amérique latine	963 766	15 682 943	16,27	20,7
Amérique du Nord	615 878	25 345 305	41,15	60,0
<b>MONDE</b>	<b>19 327 731</b>	<b>325 302 445</b>	<b>16,8</b>	<b>31,3</b>

La pomme de terre est cultivée sur tous les continents, à travers 130 pays dans le monde et sous un climat très variable. Troisième culture vivrière la plus importante dans le monde après le riz et le blé. Plus d'un milliard de personnes la consomme dans le monde entier. Mais, en ce qui concerne le commerce, l'Europe mène les échanges des pommes de terre de table et semences dans le monde [33].

La pomme de terre constitue une activité commerciale précieuse pour des millions d'agriculteurs, elle est vivement recommandée pour atteindre la sécurité alimentaire. Pour faire face à la disponibilité alimentaire, certains pays comme le Pérou a décidé de réduire les importations onéreuses de blé en encourageant la population à manger du pain contenant de la farine de pomme de terre. En Chine, des spécialistes proposent que la pomme de terre devienne la principale culture vivrière sur la majeure partie de la surface agricole du pays. Quant à l'Inde, elle envisage de doubler sa production de pommes de terre [32].

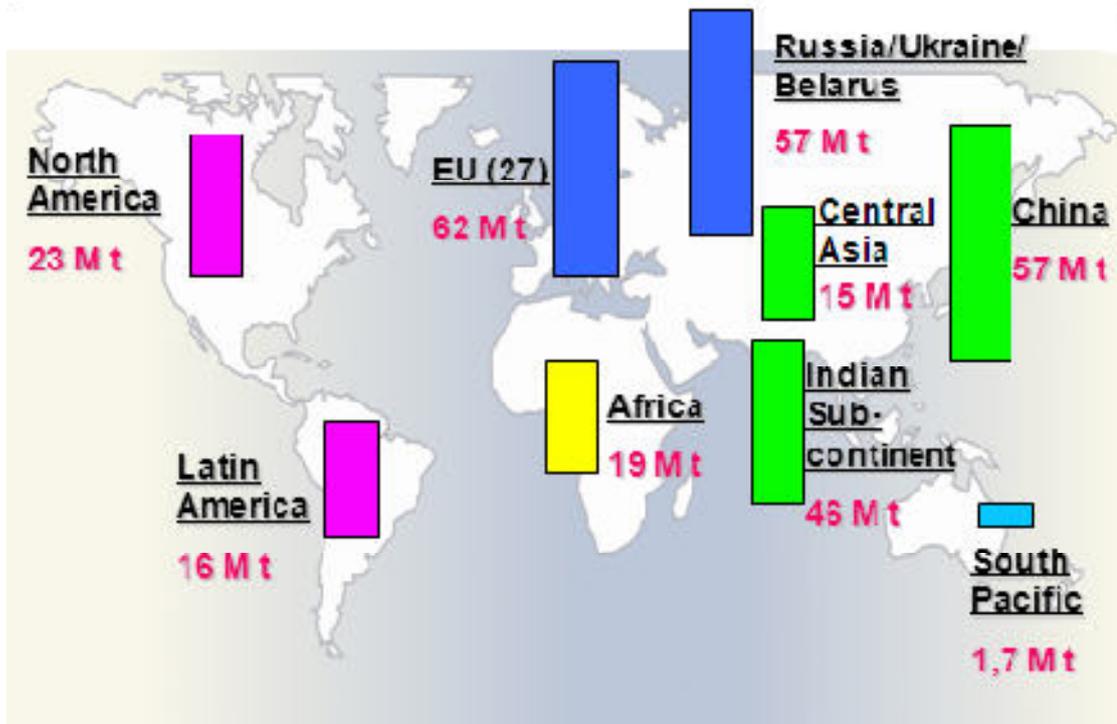
Selon la FAO (2008), la pomme de terre a été cultivée sur 18 millions d'hectares, avec une production globale de 314 millions de tonnes. L'Asie et l'Europe sont les deux principales régions productrices de pomme de terre (Figure 1.1) [32].

**1. Asie :** 8.5 millions d'ha, 131 millions de tonnes. La Chine, le subcontinent Indien (Pakistan, Népal et Bangladesh) et les pays de l'Asie centrale et occidentale (pays sud de la CEI, Moyen-orient) sont les zones de production principales.

**2. L'Europe :** sur plus de 6 millions d'ha, 122 millions de tonnes. Plus de 2 millions des hectares sont cultivé dans l'union européenne, alors que 4 millions de hectares sont cultivé dans la zone du nord-est comprenant la Russie, l'Ukraine et le Belarus. Tandis que l'EU représente seulement 34 % de surface et représente 51 % de culture européennes. Une contribution respectives du la zone de Russie/Ukraine/Belarus sont 62 % de surface et seuls 47 % de culture.

**3. Autres zones productrice de pomme de terre:** Nord et le Sud de l'Amérique (1.5 million d'ha, 40 millions de tonnes en 2008, principalement cultures d'industrie), et l'Afrique (2 millions d'ha, 19 millions de tonnes, + 58 %

depuis le début de siècle, essentiellement dans les pays subsaharien).



**Figure 1.1 : Production mondiale de la pomme de terre par zone 2008**

#### 1.1.4. Commerce international

Dans l'ensemble, le commerce international pour des pommes de terre de table (importations et exportations) concerne 16 millions de tonnes en 2008, soit une valeur de vente de 3.3 milliards d'Euro. L'Europe est le domaine principal de commerce, avec environ 75 % en termes de volume et de valeur ; l'Union Européenne faisant plus que 90 % de cette part. Mais nous devons également maintenir dans l'esprit, que la production le plus souvent est consommée localement.

##### 1.1.4.1. Pomme de terre de semence

Selon des chiffres de la FAO (2008), la production du monde des semences de pomme de terre est estimée à 31 millions de tonnes. Mais la plupart de agriculteurs plantent toujours la culture de la saison prochaine en utilisant une partie de la culture de la saison passée provoquant la propagation des parasites et des maladies et des rendements faibles. Pour améliorer la rentabilité de leur culture, les cultivateurs ont besoin des variétés avec un potentiel élevé de

rendement et de meilleure résistance à la maladie.

En 2008, le commerce international des semences de pomme de terre représente 2 millions de tonnes, en valeur 930 millions d'Euro. L'Europe prend 80 % du marché international.

#### 1.1.4.2. Principaux pays exportateurs et importateurs

Les Hollandais sont les chefs absolus (55 % de total de volume), exportant vers plus de cent pays, avec des variétés principales comme Spunta, Agata ou Désirée. Sa force est basée sur un approvisionnement suffisant (production + réexportation), une politique commerciale efficace et logistique fiable. La culture intensive et les rotations courtes mènent aux problèmes croissants des parasites et des maladies. La France prend la 2ème place, exportant un éventail de variétés, apportant la certification de qualité et d'appui technique. Les zones d'exportation de force sont le sud de l'Europe (Grèce, l'Espagne, le Portugal et l'Italie), l'Afrique du Nord (Tunisie, Algérie, Egypte, Maroc) et le Moyen-Orient (Tableau 1.2).

Les pays d'importation principaux sont situés autour du bassin méditerranéen : L'Algérie, l'Egypte, l'Espagne et l'Italie. Les marchés se développent en Europe de l'Est, là où il y a une volonté pour développer un secteur professionnel, mais également en Afrique du Nord, pour répondre au développement de l'industrie de transformation (Tableau 1.2).

**Tableau 1.2 : Principaux pays importateurs / exportateurs de pomme de terre**

<b>Pays importateurs (%)</b>		<b>Pays exportateurs (%)</b>	
Algérie	10	Pays bas	55
Espagne	7	France	12
Egypte	7	Grande Bretagne	8
Allemagne	6	Canada	6
Italie	6	Allemagne	5

### 1.1.5. En Algérie

La pomme de terre est cultivée depuis l'époque coloniale au milieu du XIXe siècle, elle est devenue l'une des principales cultures destinées à la consommation domestique. En 2006, la production a atteint le chiffre record de 2,18 millions de tonnes. La superficie cultivée était de 90 000 ha. Elle est cultivée selon trois types de culture : en saison, arrière saison et en primeur. La consommation annuelle est en évolution, elle est passée de 35 kg/hab/an en 1990 à 57 kg/hab/an en 2005. [32].

## 1.2. Mildiou de la pomme de terre

### 1.2.1. Historique

La maladie du mildiou de la pomme de terre a considérablement influencé l'histoire, en raison de la famine provoquée suite à la situation épidémique de 1845 en Irlande [34]. Au début de l'été de 1845, les jours étaient ensoleillés et la culture de pomme de terre se développait bien. Puis, le temps a tourné et les pluies tombaient pendant des semaines, les plantes de pomme de terre se sont pourries ; C'est l'épidémie du mildiou. Cette maladie a causé la misère, la souffrance et la mort dans plusieurs régions, mais de façon plus grave en Irlande, car la population dépendait de la pomme de terre pour sa nourriture. En effet, un et un demi- million de personnes sont morts de faim et un nombre semblable a émigré suite à la famine [35].

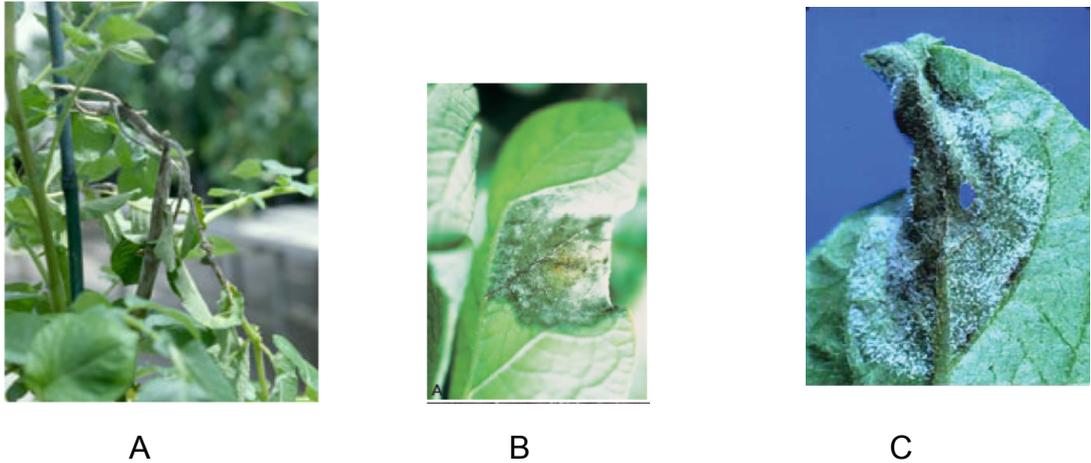
Une raison pour laquelle le début de l'histoire de mildiou est peu clair est que la théorie de germe de la maladie n'avait pas été encore acceptée. Beaucoup d'études préliminaires de diverses maladies des plantes avaient été conduit, mais les études concluantes d'Anton de Bary (le "père de la pathologie végétale") ont finalement convaincu la communauté scientifique que la sporulation blanche de l'agent fongique *Phytophthora infestans* sur les plantes infectées était l'agent causal de la maladie et pas le résultat de la génération spontanée de la végétation pourrie. Ainsi, le mildiou a fortement contribué dans le développement et l'évolution de la pathologie végétale [35].

### 1.2.2. Symptomatologie

Les symptômes du mildiou peuvent être observés sur l'ensemble des organes de la pomme de terre : jeunes pousses, feuilles et pétioles, bouquets terminaux, tiges et tubercules [36].

- ▶ Les jeunes pousses attaquées sont grêles et couvertes d'un duvet blanchâtre, généralement sont rapidement détruites et rarement détecté.
- ▶ Sur feuilles, les premiers symptômes sont des tâches décolorées (vert clair) d'aspect huileux ; qui brunissent rapidement et s'entourent d'un liseré vert-clair à la face supérieure des limbes (Figure 1.2). Sur la face inférieure, le pourtour de la zone nécrosée laisse apparaître en conditions de forte humidité, les fructifications du parasite (Figure 1.4). Les mêmes types de symptômes affectent les pétioles. Avec la persistance des conditions favorables, le feuillage peut être détruit pendant quelques semaines (Figure 1.5).
- ▶ Les attaques sur bouquets terminaux se manifestent par un brunissement et un léger recroquevillement des feuilles apicales, la zone nécrosée s'étend alors le long de la tige, provoquant un dessèchement progressif des folioles (Figure 1.3).
- ▶ Sur tiges, le symptôme typique est une nécrose brun-violacée (Figure 1.4), s'étendant sur quelques centimètres à partir d'un nœud. Par temps humide, cette nécrose se couvre d'un feutrage blanchâtre, constitué des organes de multiplication du parasite. La tige reste souvent rigide, contrairement aux symptômes de pourritures bactériennes (jambe noire), mais se casse très facilement. La répartition des nécroses sur la plante est variable. Les tâches (sauf au début de l'épidémie) apparaissent rarement de façon isolée.
- ▶ Les symptômes sur tubercules sont peu visibles de l'extérieur : tâches violacées, brunâtre, peu enfoncées (Figure 1.6). Par contre à l'intérieure du tubercule se manifestent des tâches de couleur rouille, de forme diffuse (pas nettement délimitées par rapport aux tissus indemnes). Les parties atteintes restent fermes (pourritures sèches) et il est très rare de voire des cavités se creuser.

Dans certaines situations où les symptômes ne sont pas très expressifs sur le feuillage, quelques confusions symptomatologiques peuvent avoir lieu avec d'autres maladies notamment la pourriture grise et l'alternariose.



**Figure 1.2 : Symptômes et signes sur feuillages [35].**

A : Recroquevillement des feuilles

B et C : Tâche vert pale apicale renfermant des sporangiophores et sporanges



**Figure 1.3 : Lésions noires brunâtres sur feuilles [35].**



Sur tige : Nécrose brun-violacée



Sur la face inférieure de la feuille :  
fructifications du parasite

**Figure 1.4 : Symptômes sur tige et feuille [35].**



**Figure 1.5 :** Attaque sévère de mildiou [35].



**Figure 1.6 :** Tâche brunâtre sur le tubercule [35].

### 1.2.3. Agent causal

#### 1.2.3.1. Taxinomie

La classification suivante est considérée comme étant la plus utilisée et acceptable de *Phytophthora infestans* aujourd'hui:

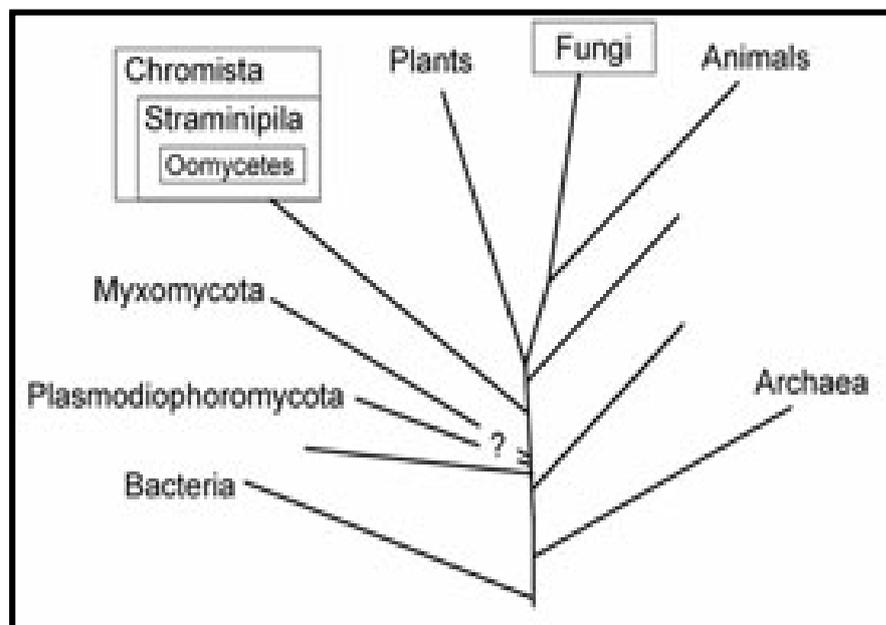
**Régne :** *Chromalveolata*, **Phylum :** *Heterokontophyta*, **Classe :** Oomycetes,  
**Ordre :** Peronosporales, **Famille** de *Pythiaceae*, **Genre** *Phytophthora*,  
**Espèce:** *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary.

Dénomination attribuée par Anton de Bary, qui dérive du Grec: Phyto = plant, phtora = destructeur et le nom d'espèce, infestans, suggère l'infestation dévastatrice. Les oomycètes sont traditionnellement classés dans la classe des

*Phycomycètes* ou «champignons inférieurs». Avec le développement des connaissances phylogénétiques, cette classe est maintenant classés comme un groupe distinct des champignons vrais ; dans la classe *Chromista* (Figure 1.7), sur la base d'un certain nombre de caractéristiques biologiques [37].

Les Oomycètes sont des organismes fongiformes, caractérisés par un thalle filamenteux coenocétique, constitué d'une masse plus au moins dense de filaments ramifiés non cloisonnés. Les *Oomycètes* se différencient des champignons vrais par la composition de leur paroi, la nature du stérole de leur membrane plasmique (le fucostérol au lieu de l'ergostérol) ainsi que par la nature de leur substance de réserve (les mycolaminarines au lieu de glycogène) [38].

Les *oomycètes* dans la classe *Chromista* (Figure 1.7) se distinguent avec le vrai Champignons (*Chytridiomycota*, *Glomeromycota*, *Zygomycota*, *Ascomycota*, *Basidiomycota*) par : la composition des parois cellulaires (bêta-glucans et la cellulose), la présence de deux genres de flagelle (postérieure et intérieure) et leurs cellules végétatives se composent généralement d'hyphes coenocétiques, qui contiennent des noyaux diploïdes. Ces organismes existent initialement en état diploïde.



**Figure 1.7** : Classification des oomycètes [37].

### 1.2.3.2. Caractéristiques morphologiques

*P. infestans* présente un mycélium coenocétique hyalin avec un développement endogène (intercellulaire et intracellulaire) via la formation d'haustoria. Les sporanges de *Phytophthora infestans* sont composés de branches avec un développement sympodiale [39].

Les sporangiophores émergent souvent à travers les stomates. Le caractère morphologique principal de ce pathogène est la présence de renflements au niveau des sites de ramification, en particulier aux points de la formation des sporocystes [39]. Les sporanges ont un petit pédicelle (3 µm) et sont semipapillate ayant un petit tip où les zoospores seront libérées. La forme des sporocystes est ovoïde citronnée, la longueur varie entre 21 et 38 µm et la largeur entre 12 et 23 µm, le ratio entre la longueur et largeur est de 1,6 [40].

Le champignon est hétérothallique, l'anthéridie est amphigine et entoure l'oogone (17 et 16 µm). Le diamètre de l'oogone est de 31-50 µm et l'épaisseur de la paroi est de 3,5 µm. Les oospores ne se forment pas facilement dans les tissus de l'hôte [40].

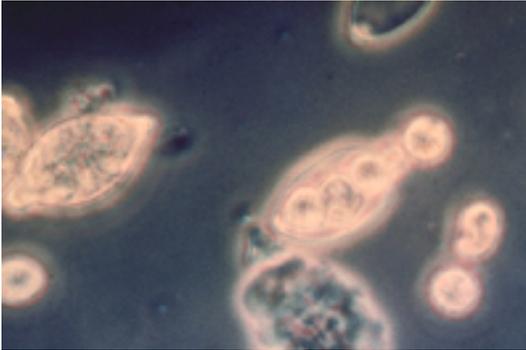
### 1.2.3.3. Reproduction asexuée

Comme les caractéristiques typiques des Oomycètes, *P. infestans* produit des sporanges sur des sporangiophores (Figure 1.8). Les sporangiophores sont indéterminés, ils accroissent et produisent des sporanges sans interruption. Cette structure qui ressemble à la tige aide à la dispersion aérienne des sporanges, mais elles ne survivent pas généralement à une longue distance en raison de la dessiccation et l'exposition au rayonnement solaire [35].



**Figure 1.8:** Sporangies et sporangiophores de *Phytophthora infestans* [35].

Dans des conditions fraîches et humides, les zoospores sont libérées à partir des sporanges après environ deux heures (Figure 1.9). En conditions plus chaudes, les sporanges peuvent fonctionner comme une spore simple et germent directement (Figure 1.10). Les zoospores sont biflagellées (Figure 1.11), un flagelle court dirigé antérieurement (tinsel) et un flagelle long dirigé postérieurement (whiplash). Les flagelles propulsent les zoospores à travers les films d'eau. Après avoir nagé sur la surface de la plante hôte, les zoospores s'enkystent et infectent la plante [35].



**Figure 1.9** : Libération des zoospores [35].



**Figure 1.10** : Germination directe des sporanges [35].

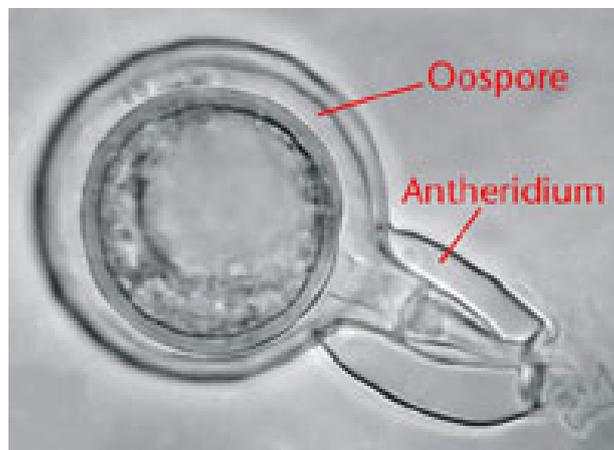


**Figure 1.11** : Flagelles des zoospores [35].

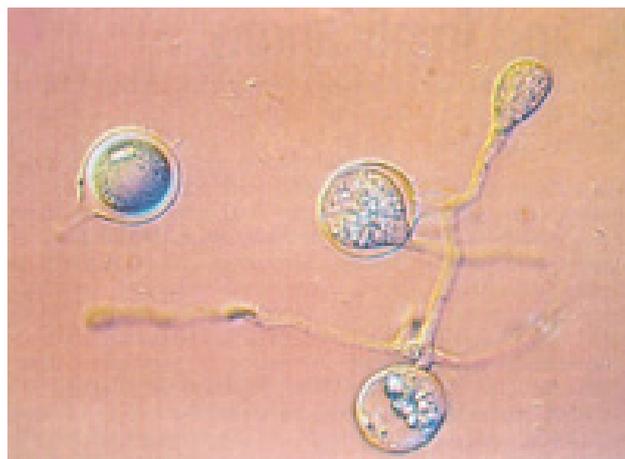
#### 1.2.3.4. Reproduction sexuée

Sexuellement, il a été défini chez ce pathogène deux types (A1 et A2) qui se distinguent morphologiquement [35]. Ceux-ci représentent des types de compatibilité différente dans la production et la réponse d'hormones plutôt que des formes sexuelles dimorphes [41]. La coexistence de ces deux types compatibles sont nécessaire pour la reproduction sexuelle, qui implique la formation des gamétanges femelles et masculins appelés l'oogone (♀) et anthéridie (♂). Quand les souches opposées du type sexuée se développent en adjacent, des hormones

spécifiques sont produit qui stimule la formation des gamétangies. Les noyaux des gamétangies subissent la méiose et l'antheridie fertilise l'oogone qui se développe dans une paroi épaisse et dure de l'oospore. Les oospores peuvent survivre dans des conditions défavorables mieux que n'importe quelle autre forme du pathogène; elles n'exigent pas du tissu vivant et peuvent rester infectieuses pendant plusieurs années [15]. Ils servent comme structures de survie et de source de variation génétique par l'intermédiaire de recombinaisons sexuelles bien que leur rôle en épidémiologie ne soit pas encore entièrement clarifié. Ils peuvent germer à l'aide d'un tube germinatif qui produit un sporange ou en produisant directement le mycélium et débute l'infection de la pomme de terre [42, 43].



**Figure 1.12 :L'oospore [35].**



**Figure 1.13: Germination des oospores [35].**

#### 1.2.4. Conditions favorables

##### 1.2.4.1. Pluviométrie et humidité

C'est le climat qui gouverne en grande partie les changements quantitatifs d'états aux niveaux du parasite, de la maladie, de l'épidémie mais aussi de la population hôte [44]. Les Paramètres environnementaux, tels que la température, l'humidité relative atmosphérique (HR) et l'humidité de la feuille affectent diverses étapes du cycle de l'agent causal du mildiou et le développement de la maladie [45].

L'eau sous forme de précipitations, condensation, ou l'humidité relative est importante pour le développement du mildiou. L'eau joue un rôle critique dans la dissémination et la germination des sporanges, comme la sporulation et la survie de l'inoculum. Le processus d'infection de pathogène exige également la disponibilité de l'humidité, et l'humidité de la feuille [46]. La quantité d'eau tombée en 24 heures présente un intérêt pour l'estimation du lessivage des traitements. Les hauteurs des pluies cumulés sur un nombre de jours déterminés sont indispensable à connaître les prévisions de risques de contamination des cultures par certaines champignons parasites (mildiou de la pomme de terre), de même, la durée et la fréquence des pluies en liaison avec les durée d'humectation sont nécessaires pour la surveillances de l'extension de foyers de maladie (mildiou) [47].

L'occurrence et la sévérité de beaucoup de maladies de pomme de terre incluant le mildiou sont affectées par l'humidité relative (HR); son niveau a une influence importante sur la croissance et la reproduction des espèces de *Phytophthora*. Une durée de 6 à 8 heures d'eau libre sur les feuilles de la plante permet l'infection et la pénétration de *Phytophthora infestans*, l'HR nécessaire pour la production des sporanges est entre 97 et 100 % [48]. Selon LAPWOOD [49], en général une faible humidité relative retarde ou empêche le développement des agents pathogènes par contre une HR élevée est nécessaire pour la germination de la plupart des spores et pour la croissance des autres formes d'inoculum. La dispersion et la formation des sporanges de *Phytophthora infestans* se produisent à une humidité relative très élevée.

#### 1.2.4.2. Température

La température affecte la germination des sporanges [45], l'infection et le taux d'expansion des lésions [50], la sporulation [51] et la survie de l'inoculum [52]. Selon WESTE [53], le potentiel de la maladie dépend de la proportion de temps quand la température est favorable pour la reproduction et l'infection. La température pour la croissance de *Phytophthora infestans* est entre 5 et 28 °C, pour la production des zoospores est entre 5 et 21 °C et des oospores est entre 5 et 28 °C, mais cette dernière est rare.

ROMERO et ERWIN [54], déterminent la température de prégermination qui stimule la germination des oospores de *Phytophthora infestans* à 4°C pendant une période de 45 jours et ils ont obtenu 64 % de germination. Une chute de température peut stimuler la sporulation du champignon responsable du mildiou de la pomme de terre [55].

#### 1.2.4.3. Lumière

La longueur du jour et le rayonnement solaire agissent sur la population hôte par l'acquisition plus ou moins rapide des stades sensibles et sur leur durée de vie [44]. Le rythme journalier de la lumière agit directement sur la périodicité de la libération des spores, il intervient également par les variations de la température, de l'humidité et des mouvements de l'air qui accompagnent les modifications de l'intensité lumineuse [55]. La lumière stimule la germination des oospores et la formation des sporanges de plusieurs espèces de *Phytophthora* [56].

#### 1.2.5. Épidémiologie

##### 1.2.5.1. Cycle de vie

Le cycle de la maladie est constitué de deux cycles: un cycle asexué très efficace et un cycle sexué (Figure 1.14). Les sporanges sont capables de fructifier rapidement sur feuilles et sur tiges [57]. En présence de l'eau et en températures plus fraîches, les sporanges germent indirectement par la production des zoospores. Aux températures plus chaudes, les sporanges germent directement par la production d'un tube germinatif. Plusieurs jours après l'infection, des nouveaux sporanges sont produits sur les sporangiophores qui émergent à partir

les stomates. Elles peuvent être dispersées par le vent ou l'eau à de nouvelles parties de la même plante ou à une autre plante [35]. La régénération de cycle est très rapide et peut durer entre 5 à 7 jours. La germination indirecte des sporanges peut produire de 6 à 12 zoospores qui sont mobiles par le biais de deux flagelles. Les zoospores se déplacent par l'humidité de feuillage cependant les sporanges se déplacent avec le vent et la pluie. Ces propagules sont principalement responsables de nouvelles infections sur feuilles et tiges. La face inférieure des feuilles semble être plus susceptible que la face supérieure, peut-être due au nombre de stomates. Les sporanges sont très éphémères, leur viabilité est de 10 à 14 jours seulement. Les infections des tubercules se font par les sporanges ou les zoospores, qui sont produits sur le feuillage infecté et sont ensuite lavés ou nager dans le sol [57].

La survie de l'inoculum asexué en l'absence de l'étape de l'oogenèse, *Phytophthora infestans* survit entre les cultures de pomme de terre comme mycélium dans les tubercules infectés [35]. Parmi les trois sources possibles d'inoculum asexué, les sporanges peuvent constituer la principale source de survie dans le sol [57]. Le mycélium hivernant dans les yeux et/ou les blessures des tubercules de semences constitue la source principale d'inoculum primaire [58, 59, 60]. Si les tubercules infectés sont laissés à la récolte ou jetés aux bords des champs, les sporanges peuvent être produits sur les tubercules infectés ou sur les nouvelles pousses la saison suivante, des sporanges peuvent également être lavés par le sol pour infecter des tubercules [35]. En effet, un tubercule infecté sur 100 000 sains est considéré comme une quantité d'inoculum suffisante pour déclencher une épidémie générale. Les sporanges restent infectieux de tubercules de pomme de terre de 15 à 77 jours [61, 62, 63, 64].

La survie de l'inoculum sexué après la confrontation entre les anthéridies et les oogones, les oospores sont formées selon les réactions de chacun des types sexuels vis à vis de l'hormone produite par le type sexuel opposé [65,67]. Les oospores résultant de la recombinaison génétique sont considérées comme la forme de conservation la plus importante de ce pathogène. THURSTON et SHULTZ[39], DRENTH *et al* [67], PITTIS et SHATTOCK [68] ont démontré que les oospores de plusieurs accouplements A1 et A2 de *P.infestans* ont produit des

isolats qui ont survécu pendant 8 mois dans le sol. Cependant, puisque la formation d'oospore est inconnue pour la plupart des secteurs de production de pomme de terre du monde, il y a eu seulement quelques études sur le cycle sexuel et les conditions qui favorisent la reproduction sexuelle de *P. infestans* dans la nature. Néanmoins, l'apparition récente du type sexuelle dans de nombreux pays, implique la possibilité de la reproduction sexuée [57].

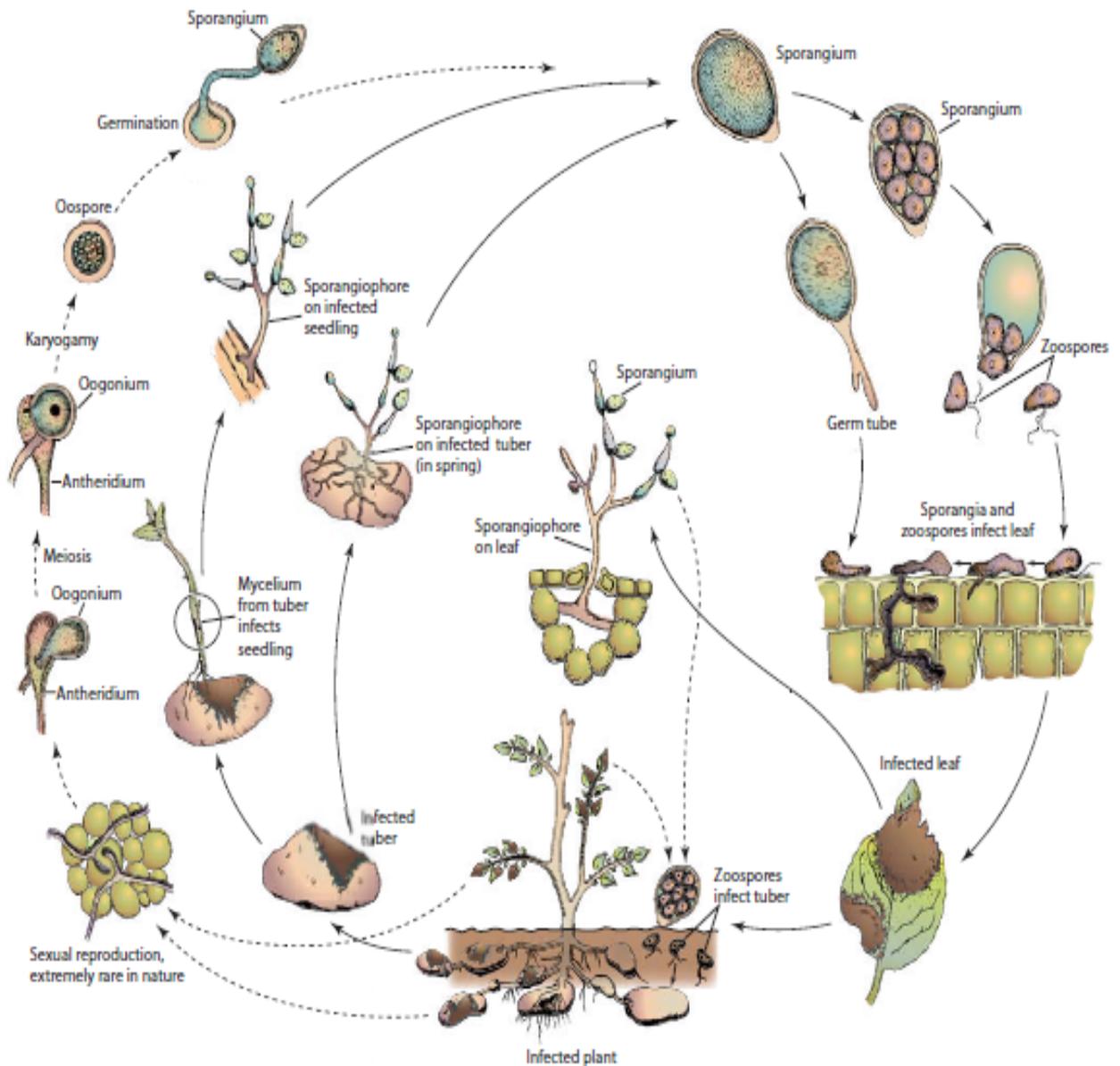


Figure 1.14 : Cycle de vie de *Phytophthora infestans*, [69].

### 1.2.6. Gestion

Depuis les épidémies dévastatrices suite à l'introduction de pathogène en Europe et en Amérique du Nord, plus de 150 années d'efforts intensifs harmonisés des chercheurs et de l'industrie sont chargés pour supprimer et réduire l'impact de la maladie. Les principaux composants dans ce combat contre le pathogène ont été la découverte de la première fongicide (à base de cuivre) ; bouillie bordelaise dans le monde, l'identification des cultivars résistants, le développement des systèmes de prévision (pour la première fois contre un agent pathogène des plantes) et la découverte de fongicides systémiques avec une efficacité curative [70].

La lutte chimique demeure la principale méthode utilisée pour lutter efficacement contre le mildiou depuis plusieurs années, néanmoins l'apparition récente de nouvelles souches plus agressives et avec l'intensification des agro systèmes, rend le contrôle du mildiou plus difficile et nécessite la combinaison de tous les moyens disponibles comme l'utilisation des différents types de fongicides, les avertissements phytosanitaires, l'utilisation des variétés résistantes, la lutte culturale [35].

#### 1.2.6.1 Mesures agronomiques

Les mesures agronomiques se concentrent dans une large mesure sur la réduction des sources d'inoculum primaire. L'utilisation de semences certifiées saines est la première étape. Malgré le fait que la certification ne garantit pas que les semences sont indemnes du mildiou mais les seuils de certification des semences assure un minimum de risque de développement de la maladie à partir du matériel de multiplication. Les mesures agronomiques [35], essentiellement préconisées sont :

- **Choix du site:** Bon drainage et bonne circulation de l'air permettra de réduire les niveaux d'humidité dans le couvert végétal. La forme du champ peut affecter la facilité et la fréquence des applications de fongicides.
- **Rotation de la culture:** deux à trois ans pour les cultures non-hôtes sont recommandées. Outre la pomme de terre et de tomate, quelques mauvaises

herbes et plantes ornementales dans la famille des solanacées sont connus pour être sensibles au mildiou. Si la production des oospores devient répandue, les plans de rotation doivent être modifiés pour tenir compte de cette nouvelle source d'inoculum.

- **Élimination de l'inoculum hivernant:** La plus importante source d'inoculum c'est les tubercules infectés jetés sur les bords des champs ou laissés à la récolte et les plantes spontanées, ces tubercules doivent être laissés sur la surface de sol au gel ou enterrés à au moins un mètre de profondeur. Elles peuvent être destinées à l'alimentation du bétail, des mesures doivent être prises pour le transport et le décharge dans des surfaces imperméables.
- **L'utilisation des tubercules sains :** La plantation des tubercules indemnes de toute maladie avec une tolérance de 1% de l'incidence de mildiou pour les semences certifiés.
- **Buttage:** Il aide au contrôle des mauvaises herbes et réduit les infections des tubercules par les sporanges qu'il a été lavé à partir des feuilles infectés.
- **Irrigation:** Il est important de réduire le temps d'humidité du feuillage, il doit être synchronisée de façon à ne pas prolongée la période de rosée de nuit toute en permettant le feuillage des plantes le temps de séchages.
- **Fertilisation:** L'excès d'azote augmente la couverture végétale, il retarde la maturité et comme conséquence directe plus de feuillage exposé à l'infection potentiel pour une période plus longue, augmentant le risque de mildiou.
- **Gestion à la récolte et dans le stockage :** Pour empêcher l'inoculation des tubercules lors de la récolte par le feuillage infecté, le feuillage doit être détruit afin qu'aucun tissu vert ne reste. Les tubercules infectés doivent être enlevés avant l'entrée dans le stockage, et être éliminés correctement. Les tubercules mildiousés ne sont pas généralement bien conservés dans des conditions typiques de stockage.

### 1.2.6.2. Cultivars résistantes

L'utilisation de cultivars résistants à la majorité des souches de *Phytophthora infestans*, la résistance peut être améliorée avec la plantation de la pomme de terre sous un climat sec et avec des pulvérisations opportunes de fongicides foliaires [35].

La résistance génétique aux parasites peut être classée en deux types, la résistance spécifique et la résistance non spécifique. La première, appelée aussi la résistance verticale, est basée sur le modèle gène pour gène. Dans ce cas, plusieurs études ont évoqué la notion d'interaction compatible et incompatible entre l'hôte et le pathogène [71]. Les mêmes gènes activés dans les interactions incompatibles sont souvent exprimés dans les interactions compatibles mais les différences résident dans le temps et le site d'expression [71, 72].

Les gènes R permettent à la plante de reconnaître les effecteurs protéiques produites par l'agent pathogène et sécrétée dans l'apoplaste ou le cytoplasme des cellules hôtes. Lors de la reconnaissance, les défenses de l'hôte sont stimulés et la croissance de l'agent pathogène est arrêté par une mort cellulaire programmée appelé la réaction d'hypersensibilité. Ainsi l'infection s'arrête à un stade précoce et ne pas devenir systémique. Ce type de résistance (à la verticale, quantitatives ou de race spécifiques) est régulée par d'un ou quelques gènes et est très efficace, rend la plante complètement à l'abri, mais seulement contre une race de l'agent pathogène [73].

Les tentatives visant à reproduire la résistance ont été lancés peu après les épidémies de famine en Irlande et ont abouti à des cultivars qui ont une résistance au champ (également appelée résistance horizontale ou partielle). La résistance non spécifique ou horizontale est sous le contrôle de plusieurs gènes. Ce type de résistance est, généralement, durable, plus stable et commercialement plus attractive vue que la résistance verticale est rapidement surmonté par les nouvelles races du pathogène [71, 74].

De nombreux gènes résistant au mildiou (gènes R) ont été identifiés à partir d'espèces sauvages de solanacée et incorporés seul ou ensemble dans les cultures de pommes de terre en utilisant les stratégies de sélection classiques. Il

s'est avéré être une question de temps, cependant, jusqu'à ce que l'agent pathogène construit une nouvelle population virulente et entraîne l'écroulement de ce type de résistance. La perte de l'enthousiasme initial n'a pas empêché la recherche de nouveaux gènes R de réussir comme le phénotype forte d'une plante avec une résistance verticale crée une attraction importante pour les chercheurs. Deux gènes R, les gènes *Rpi-blb1* et *Rpi-blb2* ont été décrits comme des gènes à large spectre de résistance comme ils sont si efficace contre toutes les races testé de l'agent pathogène et ont un potentiel d'atteindre à long terme la gestion du mildiou [73]. La recherche dans le domaine de l'analyse du mode d'action des gènes R est vaste et peut donner les informations nécessaires pour construire une résistance durable [75].

L'utilisation du génie génétique a permis de réduire le temps nécessaire pour l'introduction et l'évaluation des gènes de résistance aux plantes de pomme de terre, mais l'utilisation de cultures transgéniques n'a pas encore atteint l'acceptation sociale que la culture contient des gènes appartenant à des espèces exotiques et non reproductible. Un projet de "cis-génique", approche qui conduit à des plantes génétiquement modifiées qui contiennent des gènes seulement à partir des espèces de pommes de terre reproductible qui pourrait contribuer à l'acceptation par le public de la modification génétique et donc pour consolider la résistances durable des cultures de pommes de terre [75]. Comme la résistance se révèle être un phénomène complexe, une stratégie de gestion de la résistance dans l'espace et le temps est requis par toutes les participantes (agriculteurs, chercheurs, autorités) [43].

#### 1.2.6.3. Mesures chimiques

Les applications des fongicides reste la mesure de contrôle la plus importante pour la gestion du mildiou, en particulier dans les zones humides. Cultiver la pomme de terre sans fongicides est devenue impensable dans la plupart des régions du monde. Les fongicides de contact doivent être appliqués avant que les plantes soient exposées aux spores. Mais dans le cas où l'agent pathogène infecte les cultures, l'épidémie doit être arrêtée en utilisant des formulations plus puissantes. Les fongicides de contact couvrent la surface de la plante et sont régulièrement utilisés pour prévenir les infections. Les fongicides curatifs et

éradiquant pénétrer et entrer dans les tissus de la plante et sont utilisés pour éliminer l'infection [35].

Les fongicides jouent un rôle crucial dans la lutte intégrée contre le mildiou. Afin d'optimiser l'utilisation des fongicides, il est important de connaître l'efficacité et le type d'activité de la substance active (Tableau 3). Quelle est leur efficacité sur mildiou du feuillage, le mildiou des tiges et le mildiou des tubercules et s'il protège les nouvelles pousses ? Le fongicide est de type contact, curatif ou éradiquant ? Quelle est leur lavage par la pluie et sa mobilité [76].

La plupart des souches nouvellement introduites de *P. infestans* sont résistantes au métalaxyl / mefenoxam. Les producteurs doivent utiliser des nouveaux fongicides systémiques, comme Acrobat (diméthomorphe) et Curzate (cymoxanil), les producteurs doivent être encouragés sur l'utilisation prophylactique des fongicides de contact au début de la saison, mais s'appuyer sur des systèmes de prévision, après la maturité des plantes et l'établissement de la canopée. [35].

**Tableau 1.3** : Efficacité des fongicides / Co-formulations pour le contrôle de *P. infestans* basé sur le plus haut taux enregistré en Europe

Produit	Efficacité				Mode d'action			Propriété de lavage	Mobilité
	feuille <sup>2</sup>	Nouvelle pousse	tige	tubercule	Préventive	curative	Anti sporulant		
Cuivre		?	+	+	+	0	0	+	Contact
Dithiocarbamates <sup>3</sup>	2.0	?	+	0	++	0	0	+ (+)	Contact
chlorothalonil		?	(+)	0	++	0	0	++ (+)	Contact
Cyazofamid	3.8	++	+	+++	+++	0	0	+++	Contact
fluazinam	2.9	?	+	++	+++	0	0	++(+)	Contact
Zoxamide+ Mancozèb	2.8	?	+	++	+++	0	0	++(+)	Contact + Contact
Famoxadone + Cymoxanil		?	+ (+)	N/A	++	++	+	++(+)	Contact + Translaminaire
Mandipropamid	4.0	++	+ (+)	++	+++	+ <sup>6</sup>	+ (+)	+++	Translaminaire + Contact
Benthiavalicarb + Mancozèb	3.7	?	+ (+)	+(+)	+++	+ (+)	+	++(+)	Translaminaire + Contact
Cymoxanil + Mancozèb		?	+ (+)	0	++	++	+	++	Translaminaire + Contact
Cymoxanil + Metiram		?	+ (+)	0	++	++	+	++	Translaminaire + Contact

Tableau 1.3 : Suite

Produit	Efficacité				Mode d'action			Propriété de lavage	Mobilité
	feuille <sup>2</sup>	Nouvelle pousse	tige	tubercule	Préventive	curative	Anti sporulant		
Cymoxanil + Cuivre		?	+ (+)	0	++	++	+	++	Translaminaire + Contact
Dimethomorph + Mancozèb	3.0	?	+ (+)	++	++(+)	++	++	++(+)	Translaminaire + Contact
Fénamidone + Mancozèb	2.6	?	+ (+)	++	++(+)	0	+ (+)	++	Translaminaire + Contact
Benalaxyl + Mancozèb <sup>4</sup>		++	++	N/A	++(+)	++(+)	++(+)	+++	Systemique + contact
Metalaxyl-M + Mancozèb <sup>4</sup>		++	++	N/A	++(+)	++(+)	++(+)	+++	Systemique + contact
Metalaxyl-M + fluazinam <sup>4</sup>		++	++	N/A	++(+)	++(+)	++(+)	+++	Systemique + contact
propamocarb-HCl + Mancozèb		+ (+)	++	++	++(+)	++	++	+++	Systemique + contact
propamocarb-HCl + chlorothalonil	3.4	+ (+)	++	++	++(+)	++	++	+++	Systemique + contact
propamocarb-HCl + Fénamidone	2.5	+ (+)	++	++	++(+)	++	++	+++	Systemique + translaminaire
propamocarb-HCl + Fluopicolide	3.8	++	++	+++	+++	++	++(+)	++(+)	Systemique + translaminaire

**Légende :** <sup>1</sup> : Les scores des différents produits sont basés sur les recommandations de l'étiquette et ne sont pas additifs pour des mélanges d'ingrédients actifs. L'inclusion d'un produit dans la liste n'est pas indicative de son statut d'inscription, soit dans l'UE ou ailleurs en Europe. <sup>2</sup> : Basé sur des essais au champ Euroblight en 2006-2009. <sup>3</sup> : Comprend manèbe, mancozèbe, propinèbe et métirame .. <sup>4</sup> : Voir le texte pour des commentaires sur la résistance phénylamide. <sup>5</sup> : Basé sur des données limitées. <sup>6</sup> : Dans certains essais, il y avait des indications que la notation a été +(+) .

**Clé d'évaluations:** 0 = aucun effet; + = effet raisonnables, ++ = bon effet; +++ = très bon effet; N / A = non recommandé pour le contrôle de mildiou du tubercule; = Aucune expérience dans les essais et / ou dans les conditions de terrain. L'échelle de mildiou de feuille est une échelle de 2-5 (2 = le moins efficace, 5 = le plus efficace).

#### 1.2.6.4. Mesures biologiques

Plusieurs organismes ont été signalés à parasiter *P. infestans*. Le rôle des microbes dans la dynamique de la population et la survie de l'agent pathogène reste encore inconnu et l'opportunité reste encore inexploitée. Deux stratégies qui ont reçu plus l'attention sont l'utilisation d'organismes de phylloplan et la résistance induite par les microbes [42]. En outre, plusieurs parasites viraux des espèces de *Phytophthora* ont été découverts, mais jusqu'à présent aucun agent de lutte biologique n'a été démontré pour être efficace sur le terrain.

#### 1.2.6.5. Prévisions

Dans le cycle de production, le control et la bonne gestion des opérations culturales sont déterminants dans la réussite des procédures de lutte contre le mildiou. La surveillance des champs donne des alertes potentielles à l'existence d'une grave épidémie. La surveillance doit être dans les zones où l'humidité persiste et les applications des fongicides peut être difficile en raison des obstacles. Les systèmes de prévision pour le mildiou se basent sur la température, l'humidité relative et les précipitations pour lancer des avis des traitements préventifs. Ces systèmes incluent le système de Hyre, le système de WALLIN et BLITECAST qui intègre les deux systèmes. Quelques unités commerciales de micro-ordinateur sont disponibles pour fournir des prévisions [35].

## CHAPITRE 2

### LES PRÉVISIONS

#### 2.1. Principaux systèmes de prévision

Comme déjà décrit le mildiou de la pomme de terre est fortement dépendante des aléas climatiques. C'est la raison pour laquelle le pathosystème a été l'objet de nombreux efforts de prévision. Plusieurs modèles, ou système d'aide à la décision (DSS), sont aujourd'hui utilisés pour fournir des conseils pour la planification efficace de pulvérisation en fonction des conditions météorologiques. Les DSS peut intégrer l'information sur le cycle de vie des oomycètes, l'historiques et les prévisions du climat, la croissance des plantes, la résistance des cultivars, les caractéristiques des fongicides et le traduire en conseil de décision quant à la nécessité pour les applications chimiques. Exploiter la richesse des informations sur la maladie avec l'utilisation des modèles informatisées peut améliorer l'efficacité des stratégies de contrôle, réduire les coûts et réduire l'impact environnemental de l'intensité des systèmes de pulvérisation [16]. Bien qu'il y ait beaucoup de place à l'amélioration du DSS, les efforts devrait également se concentrer en convaincre les agriculteurs et les conseillers à accroître l'utilisation des DSS. Des systèmes sophistiqués d'aide à la décision sont développés dans de nombreux pays ou les anciennes sont mises à jour pour inclure les informations nouvellement acquises. Il est évident que toutes les stratégies englobant dans un système intégré de gestion fiable doit être abordée au niveau local pour être efficace [43].

Il existe de nombreux systèmes de prévision établis dans le monde sur un large éventail de cultures et des agents pathogènes. La pomme de terre est une culture en particulier très importante, car elle est régulièrement traitée contre une maladie particulier: le mildiou. Au Royaume Uni cette culture reçoit par hectare près de 3,5 fois le poids de fongicide appliqué au blé d'hiver [77]. Les systèmes de prévisions récents s'appuient fortement sur la modélisation informatique et du traitement des données qui n'est pas généralement le champ d'application du seul pathologiste de vulgarisation. Il s'agit de la sortie, la fiabilité et la robustesse de ces systèmes qui

sont des sources de préoccupation. Cependant, la difficulté majeure pour les prévisionnistes, comme avec tous les processus biologiques, est qu'ils tentent d'établir des repères ou des points sur un continuum d'une variabilité infinie et la combinaison des facteurs. L'utilisation des courbes de progression de la maladie est une composante essentielle de l'art des prévisionnistes et ils peuvent être également utilisés pour établir des relations de perte de la maladie / rendements et de justifier l'application de mesures de contrôle [78].

Le mildiou de la pomme est une maladie importante dans le monde entier et les principes clés de la prévision peuvent être mieux illustrés par voie prévisionnelle. Les prévisions ont été développées en particulier en Europe, après sa découverte sur l'île de Wight au Royaume-Uni le 16 août 1845 [79]. Il ya une histoire importante de la prévision du mildiou, ce qui peut être tracé en observant la sophistication croissante des systèmes élaborés au fil des ans que la technologie est améliorée [80].

#### 2.1.1. Réglementation néerlandaise

Le premier système national de prévision du mildiou était probablement celui mis au point par VAN EVERDINGEN [81] qui a analysé un certain nombre de paramètres météorologiques sur le développement de mildiou.

Quatre critères (connu sous le nom de règles néerlandaises), une fois satisfaits, ce système indiqué le temps d'application des mesures de contrôle:

- L'occurrence de la rosée pendant au moins quatre heures dans la nuit
- Une température minimale de 10 ° C.
- Un moyen d'opacité (couverture de ciel par les nuages) le lendemain de 0,8 ou plus.
- Au moins 0,1 mm de pluie dans les 24 h suivantes.

#### 2.1.2. Période de Beaumont

Les règles néerlandaises ont été initialement utilisées en Angleterre, mais il y avait une période inacceptable entre l'apparition prévue du mildiou et son occurrence réelle. BEAUMONT [82] reconnu l'importance de l'humidité élevée et de sa durée. Le règlement néerlandais se basé sur la rosée. Beaumont a signalé que la rosée ne se

forme pas facilement sur les feuilles de pomme de terre et qu'il y avait aussi des difficultés de mesure, comme le point de rosée calculé plutôt qu'observée. Donc, la longueur de la durée effective de la présente rosée sur la culture ne peut être déterminée avec n'importe quel degré de précision. Beaumont considère que l'humidité est plus importante, pendant une période de forte humidité, il n'y a pas de vent et la chute nocturne de la température était plus susceptible d'entraîner la formation de rosée et l'humidité des feuilles. Beaumont a combinée la rosée, la couverture nuageuse et les précipitations dans une période de forte humidité. Ses règles étaient qu'il devrait y avoir au moins deux jours consécutifs avec:

- Une température minimale n'est pas inférieure à 10 ° C;
- Une humidité relative d'au moins 75 %.

Lorsque ces conditions sont réunies, les producteurs dans les environs ont été invités à commencer leurs programmes de pulvérisation de routine. Ce fût le système d'alerte standard du mildiou en Royaume-Uni jusqu'au milieu des années 1970.

### 2.1.3. Règles irlandaises

La réglementation irlandaise [83] diffère avec les règles néerlandaises et avec la période de Beaumont en raison de l'importance relative de la durée de courtes périodes de temps humide qui doivent être aussi évaluées. Également une prévision des conditions météorologiques favorables au mildiou est incluse dans les prévisions.

Les travaux de CROSIER [84] sur l'étiologie de l'agent pathogène ont été utilisés dans la définition des critères suivants:

- Une période humide d'au moins 12 h avec une température d'au moins 10°C et l'humidité relative 90 % ou au-dessus (conditions favorables à la formation des sporanges).
- Eau libre sur les feuilles pour une durée d'au moins 4 h (conditions favorables à la germination et la réinfection). S'il n'ya pas de pluie l'alternative est une autre période de 4 h au-delà des 12 premiers avec une humidité relative d'au moins 90 %.

#### 2.1.4. Période de Smith

SMITH [85], un météorologue agricole, a révélé que sur un total de 220 prévisions de la période de Beaumont, 43 à partir de stations individuelles ne sont pas valables dans leurs régions. Toutefois, en raison de la façon dont doit être interprétée la période de Beaumont, LARGE [91] utilise le terme Bouffées "flushes" de périodes à partir d'un certain nombre de stations, (périodes rapporté par une seule station doit être ignorée et que si un certain nombre de stations dans une région enregistrent les conditions favorables au mildiou devrait être considérée).

SMITH a considéré qu'une période signalée par une seule station n'affecte pas la décision générale. Il a constaté que dans l'analyse des données météorologiques, les échecs étaient dus au critère d'humidité. Smith a retravaillé l'opération graphiques de 1950-1955 de Beaumont pour tester la validité de courte période de forte humidité et il a constaté que 29 des 43 échecs de Beaumont auraient été validés en utilisant le critère de l'humidité de 90 % pendant 11 h dans des tranches de deux jours au lieu des 75 % pendant 48 h. Cependant, neuf des avertissements de Beaumont n'auraient pas été déclenchés par les modifications de Smith, et malgré la réduction du taux d'échec potentiel de 20 % à 10 %, Smith a déclaré que les échecs spécifiques ne sont pas importants "comme l'occurrence de bouffées flushes régionale de période d'avertissement qui est importante dans notre méthode de travail et pas la performance de chaque station ». Smith enregistre également que «Les différences dans l'efficacité des deux systèmes, cependant, semble être faible dans la pratique et il y aurait peu d'intérêt à modifier un système établi sauf si les avantages sont susceptibles d'être considérables ». Ce n'est qu'en 1975 que la période de Smith est entrée en pleine opération et a formé la base de la prévision du mildiou au Royaume-Uni. Le Bureau météorologique fourni des données répondant aux critères de Smith de son réseau synoptique pour indiquer aux agriculteurs le temps de début de leurs programmes de pulvérisation de routine. La période de Smith est encore largement utilisées au Royaume-Uni et les données du réseau synoptique de Meteorological Office est maintenant interprétées spatialement et servent à la disposition de l'industrie via l'Internet [86]. La période de SMITH, comme la période de Beaumont, se compose de deux simples paramètres météorologiques

Au moins deux jours (se terminant à 09 : 00H) avec :

- Une température minimale de 10 °C ou plus
- la durée d'humidité de 90 % ou plus pendant au moins 11 h chaque jour.

#### 2.1.5. Modèle de Prognose (Negative pronostic)

Le modèle de Prognose a été développé à partir d'études de laboratoire sur la façon dont la température et l'humidité régulent le cycle de vie du mildiou. SCHRÖDTER et ULLRICH [87] ont démontré que les conditions météorologiques exercent une influence différente sur la probabilité d'infection, la sporulation et la croissance du mycélium. Ces données ont été quantifiées en vue de générer une figure de sévérité quotidienne. Les chiffres quotidiens ont été accumulés jusqu'ils atteignent un certain seuil spécifique, après quoi la pulvérisation de routine devrait commencer. L'ampleur exacte du seuil pourrait être modifiée selon la localité, mais une fois passé le chiffre de 180, le mildiou était plus susceptible d'être trouvé. Au cours de très bonnes conditions météorologiques, le chiffre quotidien pourrait être aussi élevé que 20, tandis que, dans les conditions chaudes et sèches, il pourrait y avoir une valeur à effet négatif. Ce système avait l'avantage pour le producteur qu'il peut avoir confiance que l'occurrence de mildiou est peu probable jusqu'à ce que le seuil est atteint et les pulvérisations ne doivent pas être appliquées [87].

#### 2.1.6. Blitecast

Contrairement aux systèmes précédents, BLITECAST [19] tente de ne pas conseiller uniquement la date de déclenchement des pulvérisations, mais aussi le calendrier des traitements ultérieurs. Les données requises pour le système ont été :

- Les températures quotidiennes maximales et minimales.
- Le nombre d'heures lorsque l'humidité relative est supérieure ou égale à 90 %.
- La température maximale et minimale pendant la période où l'humidité relative était de 90 % et au-dessus.
- Le chiffre des précipitations quotidiennes au plus proche de 1 mm.

Les capteurs d'humidité relative et la température devrait être placés entre les rangs de pommes de terre et les feuilles de la plante. Le système est essentiellement une combinaison de deux programmes utilisés aux Etats-Unis, un fondé sur les précipitations et les températures maximales et minimales [88], et le second en fonction de l'humidité relative et la température, et utilise une accumulation des valeurs de sévérité arbitraires sur la base des relations entre la durée relative de l'humidité et de température [89]. Blitecast est un programme piloté par ordinateur, comme le modèle de pronostic négatif, également fondée sur des valeurs de sévérité. Un avertissement du mildiou initiale est donnée 7-10 jours après, soit une accumulation de 10 jours de pluie [88] ou 18 valeurs de sévérité [90] suivie d'un programme de pulvérisation en fonction du nombre de jours favorable en pluie et des valeurs de sévérité accumulée au cours des sept derniers jours.

Les données sont fournies à un opérateur de l'ordinateur central par le producteur a partir des thermohygrographes en cultures. Quatre recommandations sont émises:

- pas de pulvérisation.
- avertissement du mildiou.
- un programme avec un intervalle de pulvérisation de 7 jours.
- un intervalle de pulvérisation de 5 jours (recommandé lors d'un climat du mildiou sévère).

Les recommandations sont fournies par téléphone et sont terminés dans les 3 minutes à partir des données fournis.

FOHNER [89], à l'aide d'un modèle de simulation par ordinateur a révélé que Blitecast n'était pas plus efficace dans les pulvérisations avec un programme d'un intervalle standard de 7 jours. Cependant, il est suggéré que des améliorations pourraient être apportées à l'efficacité de la planification avec des fongicides efficaces et des prévisions météorologiques précises.

### 2.1.7. Les critères de risque Sparks

Le modèle de SPARKS [91] a été développé en tant que résultat direct du mildiou sévère de l'année de 1983, lorsque la majorité des épidémies du mildiou développées dans les régions Est du Royaume-Uni malgré l'absence d'avertissements dans le cadre du système de Smith. Sparks a essayé de corriger les erreurs commises dans les systèmes de Bourke et Smith en tenant compte la baisse des températures et le développement des générations distinctes du mildiou. Le système de Sparks a été informatisé et les recommandations ont été émises par un seul chiffre allant de 0 (aucun risque) à 3 (de haut risque). Sparks a également tenu compte de couvert, ouvert ou fermé, de sorte que l'ajustement au risque en fonction de la croissance des cultures pourrait être fait au début de la saison. Le système n'a jamais été officiellement publié et il a été considéré comme trop complexe par les services du Développement Agricole (ADAS) (anciennement le service gouvernementale de vulgarisation de l'Angleterre et au Pays de Galles. Keane [92] a comparé le modèle de Sparks avec celui de BOURKE et a conclu que le modèle du canopée fermé a largement surestimé le risque du mildiou et donc n'était pratiquement pas utile sous des conditions irlandaises.

### 2.1.8. NEGFY

Le modèle de NEGFY a été développé par l'Institut Danois des plantes et de la science du sol. NEGFY est un combinaison du système de Prognose de SCHRÖDTER et ULLRICH [87] et de BLITECAST [19]. Le système tient en compte la sensibilité des cultivars, la date de levée et de l'irrigation pour fixer la date de la première application de fongicides et le temps des pulvérisations subséquentes. Il est distribué comme un programme d'ordinateur facile à utiliser où les producteurs peuvent personnaliser en fonction de leur localisation et le niveau d'infection qu'ils sont prêts à accepter. Afin de fonctionner efficacement, le programme exige des relevés météorologiques à des intervalles de trois heures, ou mieux, et de préférence de capteurs dans ou près de la culture. Dans les essais de validation, le nombre de pulvérisations a été réduit de 50 % en comparaison avec un traitement de routine. La réduction est due principalement au retard de début du programme de traitement et l'intervalle long entre pulvérisation que le système recommande [20].

## 2.2. Système d'aide a la décision (DSS)

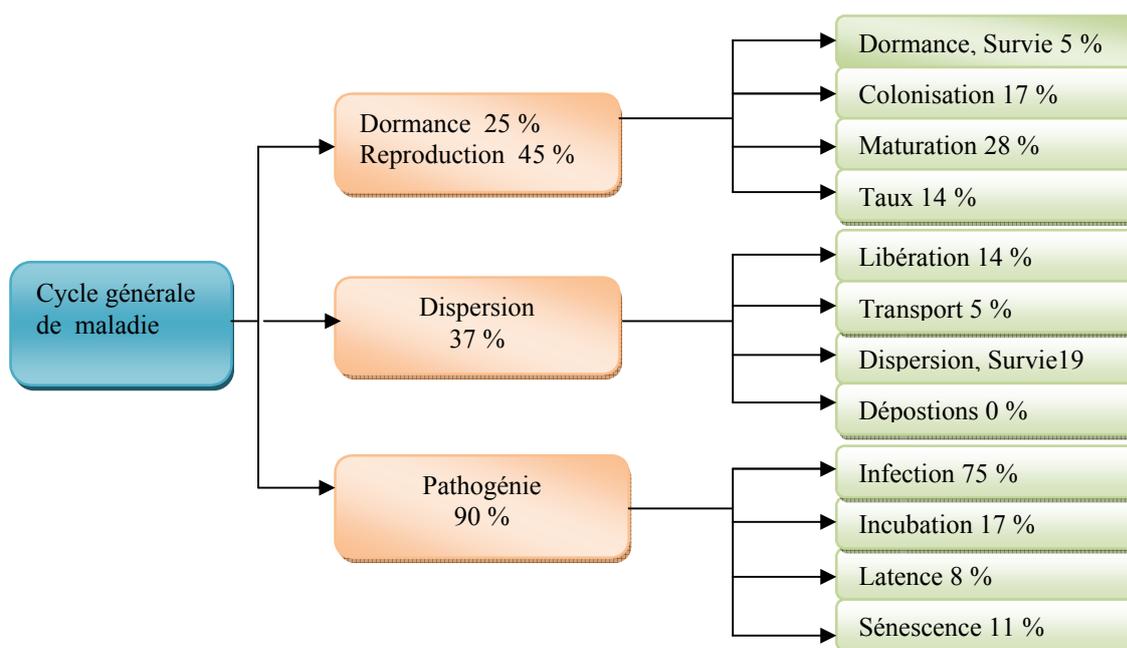
Les systèmes interactifs d'aide à la décision (DSS) ont un sens plus large. Le prévisionniste est l'un des outils utilisés pour produire un conseil spécifique et pour aider ainsi les cultivateurs, les conseillers ou les agents de gestion des maladies des plantes. Les DSS organisent et intègrent tous les types d'information exigés pour produire les décisions finales ou les suggestions spécifiques [93].

Les DSS intègrent et organisent toutes les informations disponibles sur le cycle de vie de *P. infestans*, les conditions météorologiques (historique et prévision), la croissance des plantes, caractéristiques de fongicide, résistance des cultivars et la pression de la maladie, nécessaire pour prendre des décisions concernant la gestion du mildiou.

DSS basés sur ordinateur qui nécessite des informations météorologiques et des entrées de surveillance régulière de mildiou ont été développées et validées dans un certain nombre de pays européens [94].

## 2.3. Stades du cycle de la maladie considéré dans les modèles de prévisions

DE WOLF et ISARD [95] ont passé en revue 36 modèles de prévision édités de 1996 jusqu'en 2006 qui emploient l'approche de cycle de la maladie et ont identifié quelles sont les étapes incorporées dans ces modèles. Figure (2.15) montre les résultats de leur analyse. Il est évident que presque tout incorpore de façon ou d'autre la pathogénie et le processus d'infection.



**Figure 2.15 :** Stades du cycle de la maladie considéré dans des modèles de prévisions édités de 1994-2006. Le pourcentage représente entre parenthèses le nombre de modèles qui incluent ce stade dans les simulations (adaptées [95]).

## **CHAPITRE 3**

### **MATERIEL ET METHODE**

#### 3.1. Région d'étude

Les conditions pédoclimatiques de la wilaya d'Ain Defla lui confère une place de choix dans la production de la pomme de terre ; en effet sa production représente 25 à 40 % de la production nationale. Les principales localités productrices sont : Ain Defla, Al Amra, Al Abadia, Al Attaf , Bir Ould Khelifa. Les localités qui se situent dans le nord ouest et l'ouest se caractérisent par des dates précoces de plantation (Figure 1.16). La non disponibilité des eaux aux moments des périodes d'irrigations (mi avril et Mai) impose ces dates à la plupart des agriculteurs. Souvent, selon les agriculteurs les premières attaques du mildiou dans la wilaya se déclarent dans ces régions.

Le choix de ces deux régions a été fait selon le potentiel productif de chacune et à cause de la situation épidémiologique qui se développe chaque année dans ces régions notamment la région de l'El Amra, où la culture de la pomme de terre est l'activité dominante et pratiqué presque par toutes les familles rurales.

Le suivi épidémiologique du mildiou de la pomme de terre a été conduit dans les champs de la localité de Bir Ould Khelifa (Figure 1.17) et El Amra (Figure 1.18) dont chacune assurent 10% de production globale de la wilaya d'Ain Defla. Bir Ould Khelifa est une zone de production relativement récente, elle se caractérise par des parcelles de grande surface contrairement à al Amra ou il y a beaucoup de parcelle de petites surfaces cultivées par des familles rurales.



Figure 3.16 : Localisation géographique de la région d'étude.



Figure 3.17: Bir Ould Khelifa (Google Earth, 2010) ( $36^{\circ} 9'44.12''N$   
 $2^{\circ}13'40.95''E$ ) 330 m



**Figure 3.18:** Al Amra (ex Kherba) , (Google Earth, 2004).36°18'7.64"N  
1°50'34.53"E

### 3.2. Parcelles étudiées

Notre étude expérimentale a été conduite pendant trois ans sur trois plantations de la culture de saison distantes de 1 à 3 Km. Souvent les variétés cultivées sont Spunta et Désirée qui sont importés principalement des pays européens ; Pays Bas, France, Scotland.

**Tableau 3.4 : Caractéristiques des parcelles étudiées :**

Années	régions	Parcelles	Superficie (Ha)	Variétés	Classes	Date de plantation
<b>2009</b>	B. O. K.	1	2	Désirée	SE3	08/02/2009
		2	8	Spunta	A	10-12/02/2009
		3	18	Spunta	Elite	14-20/01/2009
<b>2010</b>	El Amra	1	8	Spunta	A	1-2/01/2010
		2	1.5	Spunta	A	4-5/12/2009
		3	1	Spunta	A	1-2/12/2009
<b>2011</b>	El Amra	1	20	Spunta	A	10-12/01/2011
		2	1.5	Spunta	A	31/12/2010
		3	1	Spunta	A	31/12/2010

### 3.2.1. Pratiques culturales

D'une manière générale dans les deux régions la conduite adoptée est la suivante :

- Préparation du sol: Labour profond puis passage avec le covercroop.
- La Plantation : Se réalise par la planteuse de pomme de terre à raison de 22 à 25 qx par Ha, avec une densité de plantation de 20 - 25 x 75 cm.
- L'application d'un herbicide sélectif à la pomme de terre après la plantation et avant la levée.
- Buttage : Se fait après la levée (10 à 15 jours après la plantation) et se répète peu avant le stade de fermeture des rangs.
- Fertilisation :
  - Epandage d'engrais de NPK (15 15 15) à raison de 10 à 12 quintaux/ ha, avec la plantation ou après la levée.
  - L'urée 46 à raison de 2 à 4 qx/ha, après le buttage.
  - Pulvérisation d'un engrais foliaire ; la potasse, au début de la tubérisation.
- La récolte : Se fait manuellement.
- L'Irrigation : Les champs sont irrigués dès la levée à l'exception des périodes pluvieuses avec des fréquences d'une seul fois par semaine pendant quatre heures. Cette durée sera réduite en deux heures entre la maturité et la date de récolte. Le système d'irrigation utilisée est par aspersion. L'eau d'irrigations est assurée à partir d'Oued Der Der ou des forages.

### 3.2.2. Traitements phytosanitaires

La couverture phytosanitaire est généralement orientée vers la lutte contre le mildiou et rarement qu'il y a une application des insecticides en fin du cycle. Les fongicides antimildious pulvérisés sont de différents types (Tableau 5) : contact, systémique et translaminaire. La fréquence des traitements diffère d'un agriculteur à l'autre. En 2010 il a été enregistré sept traitements dans la parcelle 2, alors que dans la première parcelle seulement trois fongicide ont été pulvérisé en deux traitements.

La plupart des produits phytosanitaires contient du mancozèb et le métalaxyl. L'intervalle de traitement varie entre trois jours là ou il ya une grande pression de la maladie, et un mois où dans le cas inverse.

Tableau 3.5 : Fongicides appliquées (2009 - 2011).

An	Parcelle	Traitements	Dates	Fongicides	Matières actives	Modes d'action
2009	1 et 2	1	14/4	VAPCOTOP	/	Systémique
		2	25/4	Sereno	Fénamidone et mancozèbe	Contact, Translaminaire
		3	7/5	Ridomil GOLD MZ PEPITE	Métalaxyl-M, Mancozèbe	Contact, systémique
		4	16/05	CYCLO <sup>MANCOZEBE</sup> MÉTALAXYL	Métalaxyl, mancozèbe	Contact, systémique
	3	1	15/4	MELODY-DUO	Iprovalicabre, Propineb	Contact, Translaminaire
		2	25-26/4	Maphyto-plus 72	Métalaxyl et Mancozèbe	Contact, Systémique
3		7/5	CHAMPFLO	Hydroxyde de cuivre	Contact	
2010	1		15/03	Equation Pro	Famoxadone, cymoxanil	Contact, systémique
			04/04	Folio gold,	Metalaxyl M, Chlorothalonil	Contact, systémique
		Cadilac		non donnée	Contact	
	2	1	22/02	Magistine	Carbandazine	Contact, systémique
		2	01/03	Zilomil	/	/
		3	06/03	Victory	Metalaxyl, Mancozèbe	Contact, systémique
		4	11/03	Milor MZ 720 WP	Metalaxyl, Mancozèbe	Contact, systémique
		5	21/03	Ridomil	Metalaxyl M, mancozèbe	Contact, systémique
		6	06/04	Ridomil	Metalaxyl M, mancozèbe	Contact, systémique
		7	13/04	Galbène M	Benalaxyl, Mancozèbe	Contact, systémique
	3	1	16/02	PENNCOZEB 80pm	Mancozèbe	Contact
		2	22/02	Ridomil	Metalaxyl M, mancozèbe	Contact, systémique
		3	01/03	sonède	/	/
2011	1		23- 24/03	Propineb	Propineb	Contact
			14- 15/04	Prévicure	Fosétyl-Al, Propamocarb	Contact, translaminaires, systémique
			15/05	Prévicure	Fosétyl-Al, Propamocarb	Contact, translaminaires, systémique
	2 et 3	1	4-5/03	PENNCOZEB 80pm	Mancozèbe	Contact
		2	12/03	PENNCOZEB 80pm	Mancozèbe	Contact
		3	18/03	Ridomil	Metalaxyl M, mancozèbe	Contact, systémique
		4	29/03	Ridomil	Metalaxyl M, mancozèbe	Contact, systémique
		5	8-9/04	Curzate R	Cymoxanil, cuivre	Translaminaires, contact
		6	2/05	Mabène	/	Contact, systémique

### 3.3. Suivi sur terrain

#### 3.3.1. Paramètres étudiées

L'étude a été conduite pendant trois ans ; 2009 à Bir Ould Khelifa, 2010 et 2011 à El Amra afin de valider trois modèles de prévision du mildiou de la pomme de terre :

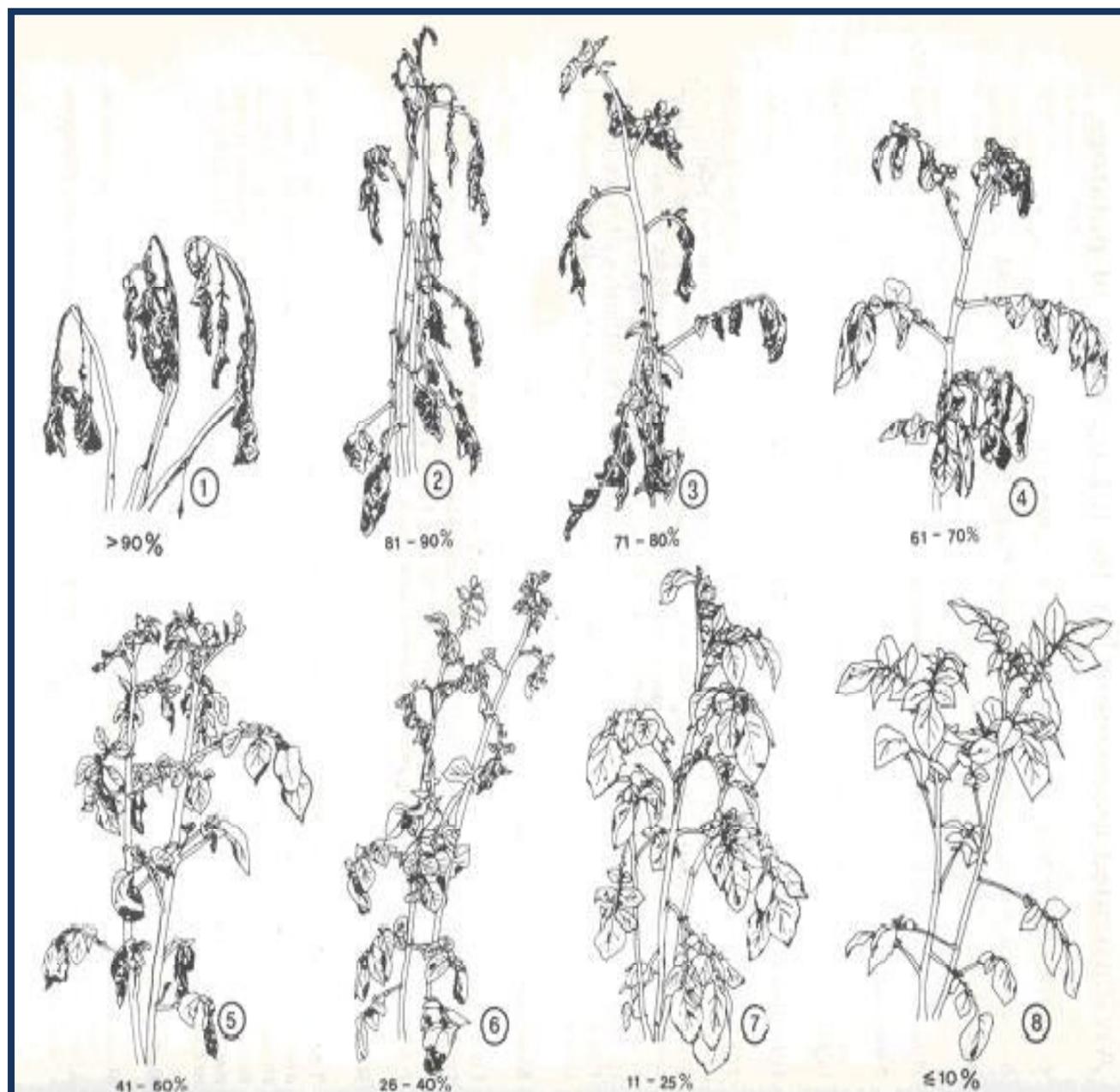
- Prognose
- NegFry
- Période de Smith (Smith Period)

Au niveau de chaque parcelle, des observations préliminaires sont effectuées hebdomadairement et dès qu'il y a l'apparition de symptômes, les prospections deviennent quotidiennes. Dans les parcelles où les symptômes se déclarent nous repérons aléatoirement 10 plantes affectés pour l'estimation du degré d'attaque.

Les champs de la variété Spunta ont été surveillés pendant plus de deux mois du 15 Mars jusqu'à la récolte. Les paramètres déterminés au cours de suivi sont :

- Observation de la date d'apparition des premiers symptômes sur le feuillage (en se basant sur les données climatiques).
- Mesure de la sévérité des attaques: le pourcentage des tissus infectés par plant qui représente une estimation du taux de la surface infectée par rapport à la surface totale de la plante, en se référant à la clé de Cruickshank et al [96] recommandée par le centre Internationale de la Pomme de terre (CIP), composé de huit niveaux d'infection (Figure 3.19).
- Type de fongicide et période d'applications.

Les données météorologiques ont été obtenues à partir de la station de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Khemis Miliana. La station météorologique est placée à une hauteur de 1,5 m, notant les températures minimale et maximale, l'humidité relative minimale et maximale et les précipitations.



Légende : 1: >90 %, 2: 81 - 90 %, 3: 71 - 80 %, 4: 61 - 70 %  
 5: 41 - 60 %, 6: 26 - 40 %, 7: 11 - 25 %, 8 : ≤ 10 %

**Figure 3.19:** Clé d'évaluation du pourcentage d'infection du mildiou sur la pomme de terre [96].

**Tableau 3.6 : Clef descriptive pour l'évaluation de mildiou de pommes de terre [97].**

Sévérité	Description
0.001%	1 lésion
0.01%	2 à 5 folioles affectées sur 10 plantes, environ 5 grandes lésions.
0.1%	Environ 5 à 10 folioles infectés/plante ou environ 2 feuilles affectées/plante
1.0 %	Infection légère générale. Environ 20 lésions/plante ou 10 feuilles affecté/plante ; 1 des 20 feuilles affectées sévèrement
5.0 %	Environ 100 lésions/plante ; 1 sur 10 folioles sont affectés (environ 50 folioles affectées)
25 %	Presque chaque foliole est infectée mais les plantes maintiennent la forme normale et peuvent sentir le mildiou. Le champ apparaît vert bien que chaque plante est affectée.
50 %	Chaque plante est affectée et environ 50 % de la surface foliaire est détruite. Le champ apparaît vert taché avec le brun.
75 %	Environ 75 % de la surface foliaire est détruite ; le champ semble ni vert ni brun.
95 %	Seulement quelques feuilles saines sur les plantes, mais les tiges sont vertes
100 %	Toutes les feuilles et tiges sont mortes.

### 3.3.2. Modèles à valider

Les modèles examinés pour la validation, permettent la prévision de l'infection et l'ajustement, pour l'application du premier traitement phytosanitaire pour la culture afin d'empêcher le développement du mildiou. Trois modèles prédictifs ont été appliqués: Période de Smith, Prognose et NegFry.

#### 3.3.2.1. Périodes de Smith (Smith Period) :

La température minimale et l'humidité sont prises en considération dans ce modèle. Les auteurs de ce modèle établissent les périodes selon les paramètres ci-dessous :

- Une période de Smith se produit quand la température minimum est supérieure à 10 ° C.
- l'humidité relative est supérieure à 90 % pendant 11 h, pour deux jours consécutifs.

Si les critères du premier jour sont accomplis et le deuxième jour atteint 10 heures d'humidité relative supérieur à 90%, pour indiquer 90% de la période de Smith ou un Near Smith [90, 98].

### 3.3.2.2. Modèle de Prognose (Negative Prognosis):

#### 3.3.2.2.1. Variables d'entrée

- Variables climatiques : Température horaire, humidité relative et précipitations.
- Variables calculées: Le nombre d'heures qui répondent aux conditions environnementales prédéfinies, valeurs de risques et le cumulé des valeurs à risque.

#### 3.3.2.2.2. Description

Ce modèle emploie des mesures de la température, d'humidité relative et des précipitations pour prévoir quand les épidémies du mildiou (*phytophthora infestans*) ne sont pas susceptibles de se produire. Il a été employé en Allemagne pour l'époque d'application. Les valeurs de risques quotidiens sont cumulées au cours d'une semaine et calculées dès l'émergence de la culture .

Pour le calcul des valeurs de risques, ce modèle se base sur les niveaux de températures correspondant aux heures consécutives avec l'humidité relative supérieure ou égale à 90 % ou inférieur à 70 %. Des valeurs de précipitations supérieures ou égales à 0.1 mm/h peuvent être comptées (Tableau 3.7) [87].

Pour calculer les valeurs de risque, compter le nombre d'heures (h) où la température moyenne se situe dans l'intervalle de température dans la deuxième colonne et les conditions de l'humidité relative ou les précipitations indiquées dans la troisième colonne. Puisqu'il y a 14 rangs dans la table, il devrait y avoir 14 valeurs de h, dont certaines peuvent être zéro. Puis, multiplier chacune de ces 14 valeurs par la valeur de r correspondante de la première colonne et faire la somme des 14 produits (r X h). La somme des produits est la valeur de risque.

**Exemple :**

- compter toutes les heures durant une semaine où la température horaire moyenne était entre 10.0 et 11.9 °C et l'humidité relative était supérieur ou égal à 90% ou la précipitation était 0.1 mm/heure ou plus grand.
- Multiplier alors ce nombre d'heures par la valeur correspondante de la première colonne (r=0.8990).
- Faire le même procédé pour les 13 rangs restants de la table et puis ajouter tous les produits pour obtenir la valeur de risque.

La maladie se produit quand le cumul des valeurs à risque dépasse le seuil de 150 unités. Ce seuil doit être ajusté selon les conditions locales.

**Tableau 3.7 : Valeurs à risques du mildiou selon le modèle [87].**

facteur de Multiplication (r)	Nombre d'heure de la température horaire moyenne qui sont dans cet intervalle, ou autre condition à être satisfaites	conditions de HR, précipitations ou autres conditions
0.899	10.0 - 11.9	Compter seulement les heures qui concordent avec 4 heures consécutifs ou plus à RH>=90% ou avec une précipitation >=0.1 mm/ hr
0.4118	14.0 - 15.9	
0.5336	16.0 - 17.9	
0.8816	18.0 - 19.9	
1.0498	20.0 - 21.9	
0.5858	22.0 - 23.9	
0.3924	10.0 - 11.9	Compter seulement les heures qui Co-se produisent avec 10 heures consécutifs ou plus à RH>=90% ou avec une précipitation >=0.1 mm/ hr
0.0702	14.0 - 15.9	
0.1278	16.0 - 17.9	
0.9108	18.0 - 19.9	
1.4706	20.0 - 21.9	
0.855	22.0 - 23.9	
0.1639	15.0 - 19.9	Ne pas considérer le l'HR ou la pluie, additionnent 7.5479 au produit de r x h
0.0468	Nombre d'heures avec une HR moyen < 70%	Soustraire 7.8624 du produit de r x h

### 3.3.2.3. Modèle de NEGFRY

#### 3.3.2.3.1. Variables d'entrée :

- Variables climatiques : Précipitations quotidiennes (millimètre), moyenne horaire de température et humidité relative.
- Variables calculés : Nombre d'heures consécutives avec l'humidité relative supérieur ou égal à 90%, à cinq intervalles de la température (< 3, 3-7, 8-12, 13-22, 23-27 et > 27 C) dans 24 périodes d'heure (du midi au midi le jour suivant).
- Plante hôte: Résistance de cultivar (susceptible, modérément susceptible ou modérément résistante).
- Fongicide : Temps (jours) depuis la dernière application de fongicide (note :ce modèle a été développé pour le chlorothalonil Tableau 3.8) .

#### 3.3.2.3.2. Description

Ce modèle de prévision a été dérivé de deux modèles de simulation : un modèle décrit les effets de climat sur la distribution et la quantité de fongicide. Le deuxième modèle décrit les effets de résistance de l'hôte et de climat sur le développement de *Phytophthora infestans* sur la pomme de terre.

Des unités du mildiou sont calculées ( Tableau 3.9), selon le nombre d'heures consécutives de l'humidité relative supérieur ou égal à 90 %, et la température moyenne répartie dans six intervalles (< 3, 3-7, 8-12, 13-22, 23-27 et > 27 °C). Le calcul des unités de fongicide sont basé sur les précipitations quotidiennes (millimètre) et le temps depuis la dernière application de fongicide (Tableau 3.8).

**Tableau 3.8 :** Unités de fongicide (pour le chlorothalonil) pour la simulation de prévision du mildiou décrivant la dégradation de fongicide déterminé par les précipitations et le nombre de jours depuis la dernière application de fongicide.

Temps (jours) depuis la dernière pulvérisation	Précipitation quotidienne (millimètre) qui résulte des unités de fongicide de :						
	1	2	3	4	5	6	7
1	<1	...	...	1-1,4	1,5-3,4	3,5-6	>6
2	<1	...	1-1,4	1,5-4,4	4,5-8	>8	...
3	<1	...	1-2,4	2,5-5	>5	...	...
4-5	<1	...	1-2,4	2,5-8	>8	...	...
6-9	<1	...	1-4	>4	...	...	...
10-14	<1	1-1,4	1,5-8	>8	...	...	...
>14	<1	1-8	>8	...	...	...	...

**Tableau 3.9** : Unités de valeur à risque [99].

Température moyenne ( °C)	Resistance de cultivar	Heures consécutives d'humidité relative > = 90% dont devrait avoir comme conséquence des unités de mildiou							
		0	1	2	3	4	5	6	7
>27	S /b	24							
	MS /c	24							
	MR /d	24							
23-27	S	6	07-09	10-12	13-15	16-18	19-24		
	MS	9	10-18	19-24					
	MR	15	16-24						
13-22	S	6					07-09	10-12	13-24
	MS	6	7	8	9	10	11-12	13-24	
	MR	6	7	8	9	10-12	13-24		
08-12	S	6	7	08-09	10	11-12	13-15	16-24	
	MS	6	07-09	10-12	13-15	16-18	19-24		
	MR	9	10-12	13-15	16-24				
03-7	S	9	10-12	13-15	16-18	19-24			
	MS	12	13-24						
	MR	18	19-24						
<3	S	24							
	MS	24							
	MR	24							
/a Humidité relative élevé >=90%. Période d'estimation des unités du mildiou 24 hr (de midi à midi).									
/b S = cultivars susceptible.									
/c MS = cultivars modérément susceptible.									
/d MR = cultivars modérément résistant									

La décision concernant l'époque d'application des fongicides se base sur les unités cumulatives du mildiou ou les unités de fongicide appliqués depuis le dernier traitement (Tableau 3.10).

**Tableau 3.10** : Règles de décision pour la simulation de prévision [99].

Le fongicide devrait être appliqué si le fongicide n'a pas été appliqué dans les 5 jours	Résistance des cultivars		
	Susceptible	Modérément susceptible	Modérément résistant
Et les unités cumulatives de mildiou depuis le dernier traitement excèdent :	30	35	40
Ou les unités cumulatives de fongicide depuis le dernier traitement excèdent :	15	20	25

En raison du manque de certains paramètres (température horaire moyenne, l'humidité horaire moyenne) nécessaires pour l'application des modèles en vue de leur validation, nous avons adopté la démarche suivante:

- Model de Prognose : il a été supposé que si
  - ✓ l'HR maximum est  $\geq 90\%$ , HR dure au moins quatre heures
  - ✓ Dans les jours pluvieux HR dure au moins 10 heures
  - ✓ Les températures moyens correspondant à cette HR est de 10 heures, au lieu d'avoir 14 valeur de  $r \times h$  nous avons seulement trois valeurs au maximum.
- Modèle de NEGFY : il a été supposé que si l'HR maximum est  $\geq 90\%$  les heures consécutives accompagnant cette valeur est d'au moins 10 heures.
- Modèle de Smith Période: Il a été considéré que si la température moyenne est supérieure à  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  pendant deux jours pluvieux successifs, la période de Smith est atteinte.

### 3.4. Diagnostic au laboratoire

Les échantillons contenant une seule lésion ont été mis dans des chambres humides et l'eau agar pour favoriser la fructification du champignon. Après le développement d'un feutrage blanc renfermant les fructifications observées directement sous le microscope optique. Nous avons tenté de cultiver *Phytophthora infestans* à partir des échantillons qui présentent des symptômes typiques de cette maladie sur le milieu Petit Pois (APPENDICE B).

#### 3.4.1. Identification

L'identification de *Phytophthora infestans* a été réalisée selon les caractéristiques macromorphologiques et micromorphologiques, en utilisant les caractéristiques générales des *Phytophthora* [100], précisant les caractéristiques du mycélium, l'organisation du thalle et les caractéristiques des organes de reproduction asexuée.

##### 3.4.1.1. Caractères macromorphologiques

La caractérisation se base sur : la couleur, l'aspect, les formes des colonies, la production de pigments.

##### 3.4.1.2. Caractère micromorphologique

A partir de feutrage blanc du champignon nous avons réalisé des montages entre lame et lamelle pour des observations microscopiques aux grossissements successifs (10x10) puis (40x10). Ces observations concernent le mycélium et les caractéristiques d'éventuelles fructifications. Les caractères observés sont photographiés et comparés à ceux décrits pour cette espèce [100].

## CHAPITRE 4

### RESULTATS ET INTERPRETATIONS

#### 4.1. Observation des foyers du mildiou

##### 4.1.1 Description symptomatologique

###### 4.1.1.1. Année 2009

La première attaque du mildiou a été enregistrée le 13 avril sous forme de quelques lésions brunâtres nécrotiques observées uniquement sur les feuilles médiane. Les surfaces nécrosées sont sèches, enroulées puis elles se cassent, indiquant leur inhibition (Figure 4.20). Aucun développement ou progression vers une situation épidémique n'a été observé (Figure 4.21).



**Figure 4.20** : Tâches de mildiou sur feuilles



**Figure 4.21** : Feuillages sains des plantes

#### 4.1.1.2. Année 2010

L'apparition des premiers symptômes a été notée le 16 Février, avant les périodes critiques habituelles. Les symptômes du mildiou étaient sous forme de grandes tâches peu nombreuse affectant les feuilles basales et les tiges (Figure 4.22). Durant cette période, beaucoup de plantes ont présenté des feuillages sains mais sur les tiges nous avons constaté des lésions mesurant jusqu'à 11 cm de longueur (Figure 4.24B). Ces lésions aggravent la maladie (en augmentant la sévérité) avec le temps, car elles provoquent des cassures des tiges (Figure 4.23). Il a été observé sur ces plantes, le phénomène de repousse de bourgeons latéraux de feuilles en formant une tige secondaire portant quelques petites feuilles (Figure 4.25). Après le 27 Avril, les symptômes évoluent et les lésions deviennent plus nombreuses avec des tailles plus petites.

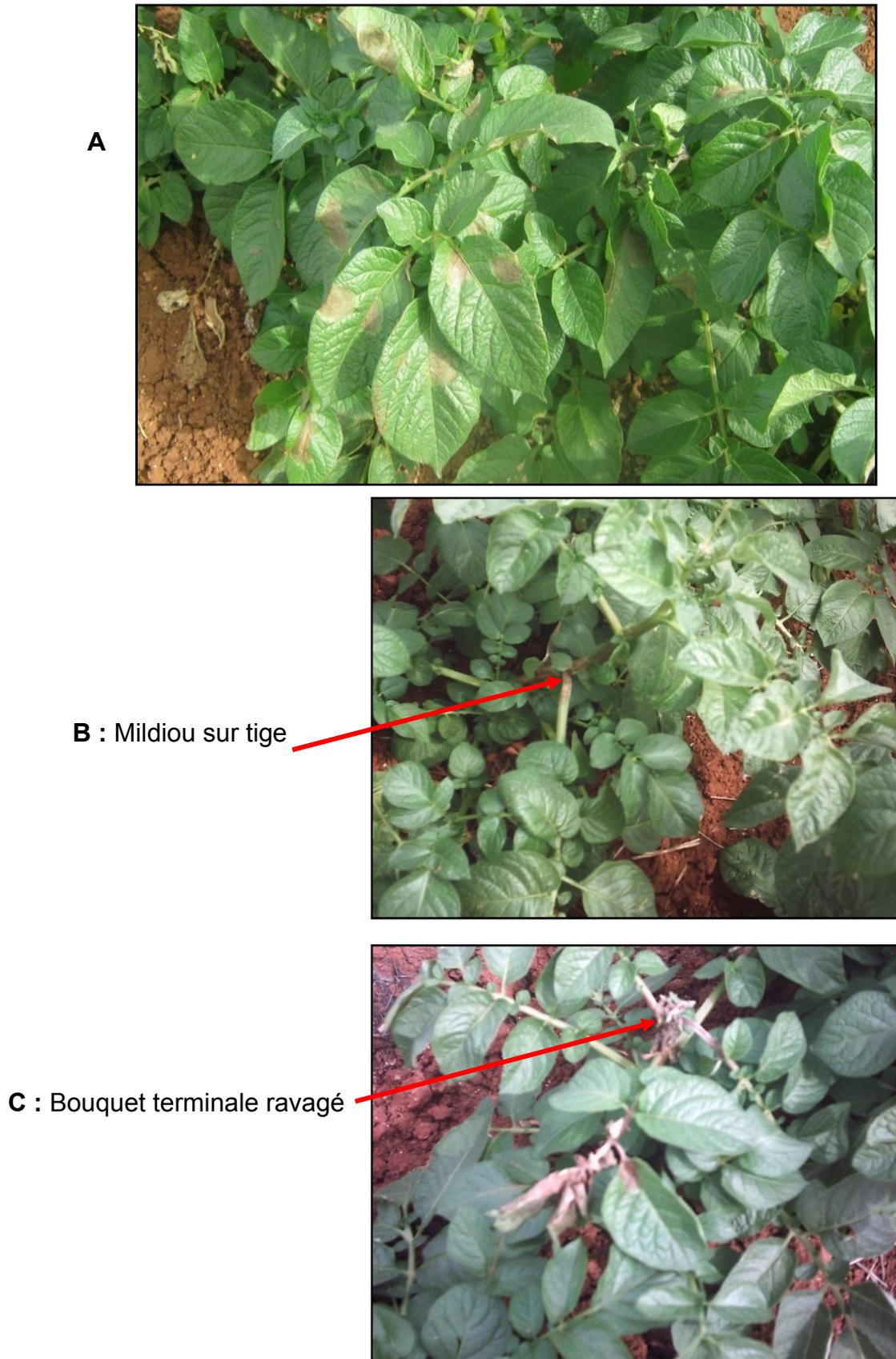
Les attaques sévères et précoces de la maladie dans toute la région ont induit des pertes allant jusqu'à 85 %, par rapport du rendement moyen habituelle dans les parcelles visitées. Les pertes sont dues principalement à la petite taille de tubercule qu'aux tubercules mildiousés.



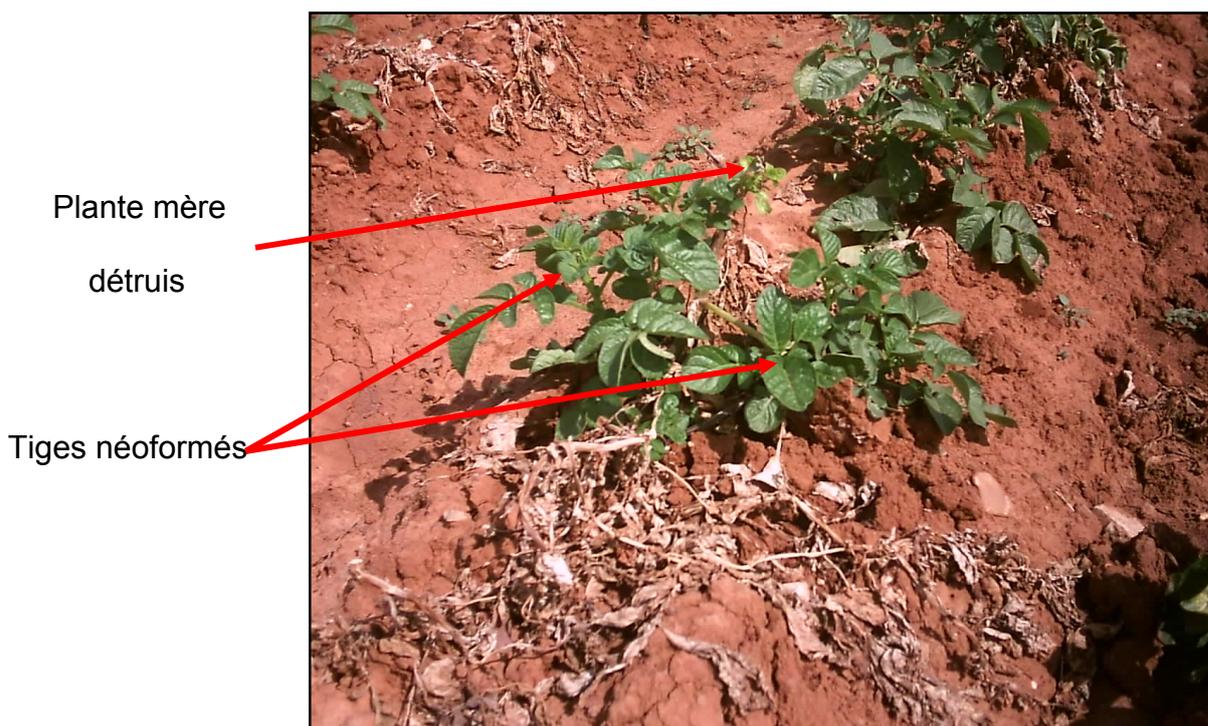
**Figure 4.22** : Attaque précoce et sévère du mildiou sur feuilles basales



**Figure 4.23** : Foyers en évolution



**Figure 4.24:** A, B, C Symptôme du mildiou sur feuilles, tiges et bouquets terminaux



**Figure 4.25:** Phénomène de repousse

#### 4.1.1.3. Année 2011

Au niveau de la région la première attaque du mildiou a été enregistrée le 1<sup>er</sup> Mars dans un champ voisin, à un stade végétatif précoce où la hauteur de la plante atteint seulement 25 cm. Ces attaques ont affecté seulement 3 à 4 plantes et ont touché les bouquets terminaux. A ce stade, les lésions n'ont pas évolué.

Dans les parcelles surveillées la première apparition des symptômes a été notée dans la 2<sup>ème</sup> parcelle le 19 Avril, sous forme de 2 à 3 lésions sur deux plantes. Ces deux plantes ont été immédiatement arrachées. La semaine suivante, le 26 Avril dans la même parcelle, nous avons observé deux petits foyers composés de quelques plantes, présentant des niveaux d'infection variables, allant d'une lésion à une trentaine de lésions, puis la maladie s'est propagée un peu partout dans la parcelle.

Durant la 3<sup>ème</sup> semaine, ces foyers s'agrandissent et l'infection a gagné plus d'espace. Il a été remarqué que ces deux foyers se sont développés au niveau d'une zone basse dont l'humidité est élevée. Il est à noter que même l'année précédente, c'est à partir de cette zone que l'infection a été signalée.

Le même cas a été noté pour le premier champ, distant à peu près de deux kilomètres des deux autres champs, dans lequel il a été observé l'apparition du premier symptôme le 19 Avril dans un seul foyer, composé de quelque plantes. Le niveau d'infection reste semblable du deuxième champ. En effet, en moyen nous avons comptabilisé 24 lésions par plante. Pour la troisième parcelle, voisine de la deuxième parcelle, le premier symptôme a été observé le 26 avril sur une plante présentant une seule lésion (Figures 4.26 et 4.27).



**Figure 4.26** : Première tâche du mildiou (19 avril, 2011)



**Figure 4.27** : Premier foyer du mildiou (26 avril, 2011)

Les taches ont été observées principalement sur les feuilles et plus précisément au niveau des feuilles basales.



**Figure 4.28:** Feuillage saine jusqu'au troisième mois du cycle de la culture.



**Figure 4.29 :** Au bout de deux semaines une destruction rapide du feuillage



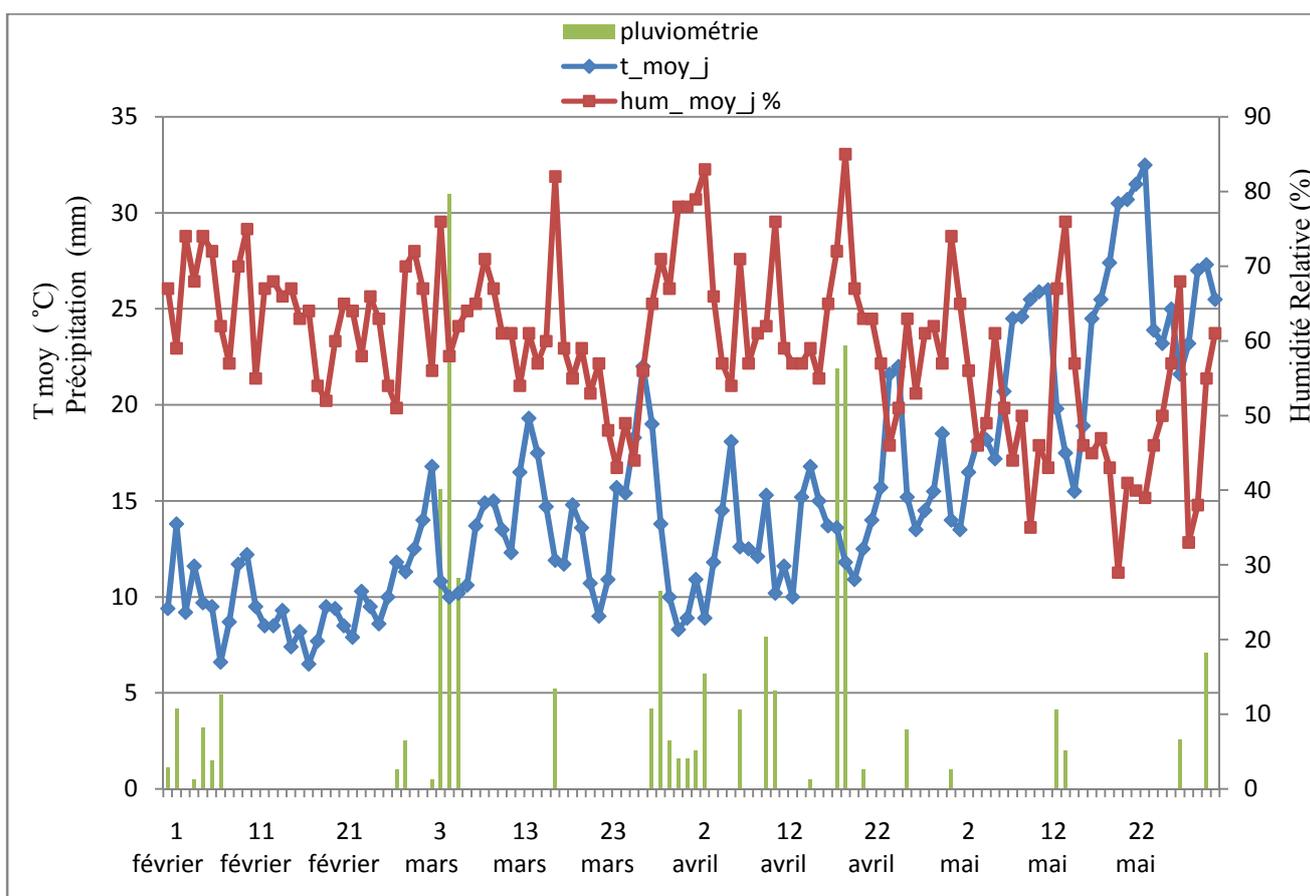
**Figure 4.30 :** Attaque sévère de la maladie (2011)

#### 4.1.2. Conditions climatiques

En raison de la liaison étroite des conditions climatiques avec le développement du mildiou, nous avons procédé à l'analyse des relevés thermiques et hydrométriques durant les périodes de surveillance et de suivis. Nous avons tenté de définir les périodes climatiques critiques qui précèdent l'apparition des symptômes pour chaque année:

##### 4.1.2.1. Année 2009

La première attaque du mildiou a été enregistrée le 13 avril, après trois périodes pluvieuses de six jours (28 Mars à 02 Avril,  $P = 22,2$  mm, HR max  $> 92$  %,  $T$  moy entre  $8,6$  et  $19$  °C), d'un jour (7 Avril,  $P = 4,1$ mm, HR =  $71$ %,  $T$  moy =  $12,6$  °C) et de deux jours (10 et 11 Avril,  $P = 13$  mm, HR =  $66,65$ %,  $T = 12,7$  °C) (Figure 4.31 et APPENDICE C).



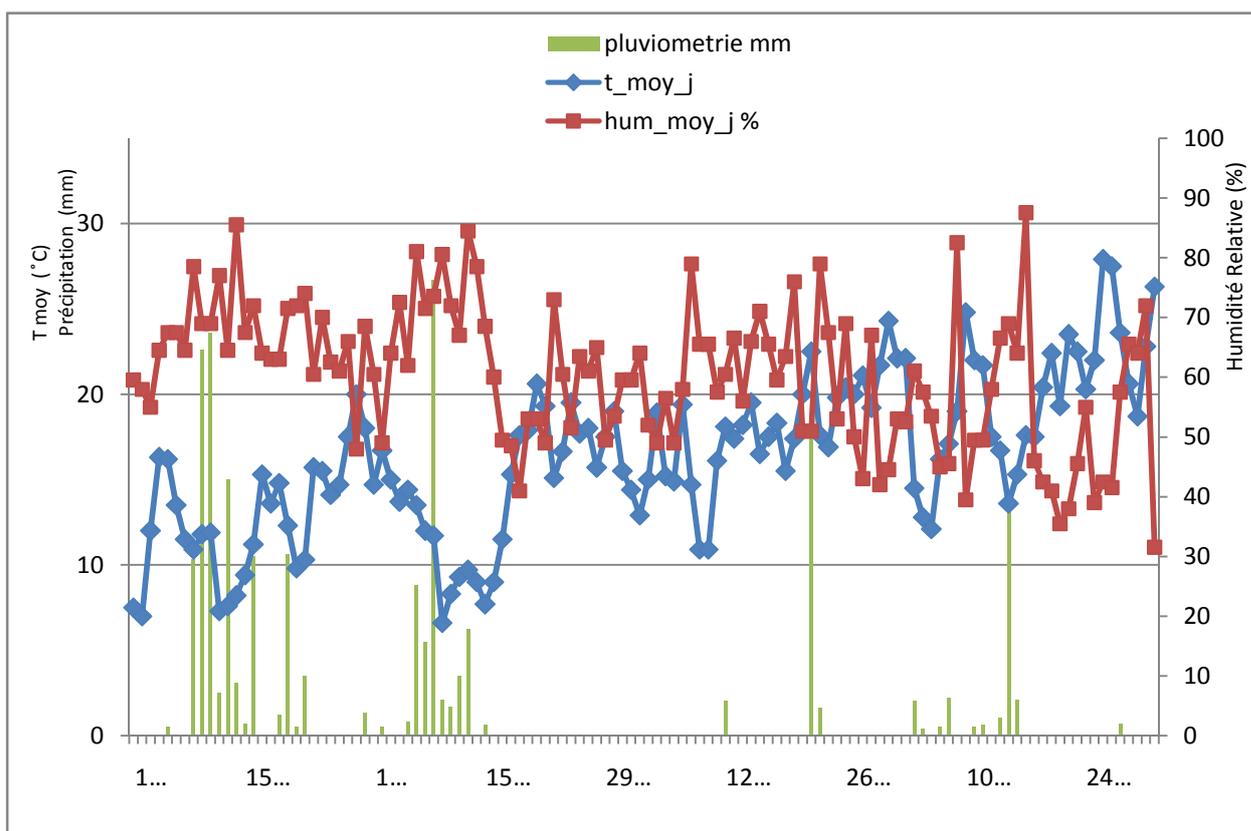
**Figure 4.31:** Périodes de risques selon les relevés climatiques (2009).

#### 4.1.2.2. Année 2010

La première apparition des symptômes du mildiou a été enregistrée le 16 Février, après une période de pluie de 8 jours (du 8 au 15 Février, P= 88,3 mm, T = 9,78 °C; les trois premiers jours et le dernier jour de cette période la T > 10,9 °C), avant cette période (du 5 au 7 Février), les températures moyennes étaient favorables au déclenchement du mildiou, allant de 11,5 à 16,2 °C et une HR maximale qui dépassait 90 %. Après deux jours, la première période pluvieuse a été prolongée du 18 au 21 Février, où il a été enregistré 15,8 mm, accompagnée de températures moyennes journalières variant entre 9.8 et 14.8 °C (Figure 4.32 et APPENDICE C).

Durant cette période, la région a cumulé une hauteur d'eau de 104.1 mm, rendant l'accès aux champs de pomme de terre impossible. Cette situation a empêché les agriculteurs d'exercer les pratiques culturales et de même les pratiques et l'exécution des traitements phytosanitaires. Même les matières actives chimiques appliquées à la veille de cette période ont été lessivées par ces pluies. Donc, la couverture chimique n'a pas été assurée durant toute cette phase.

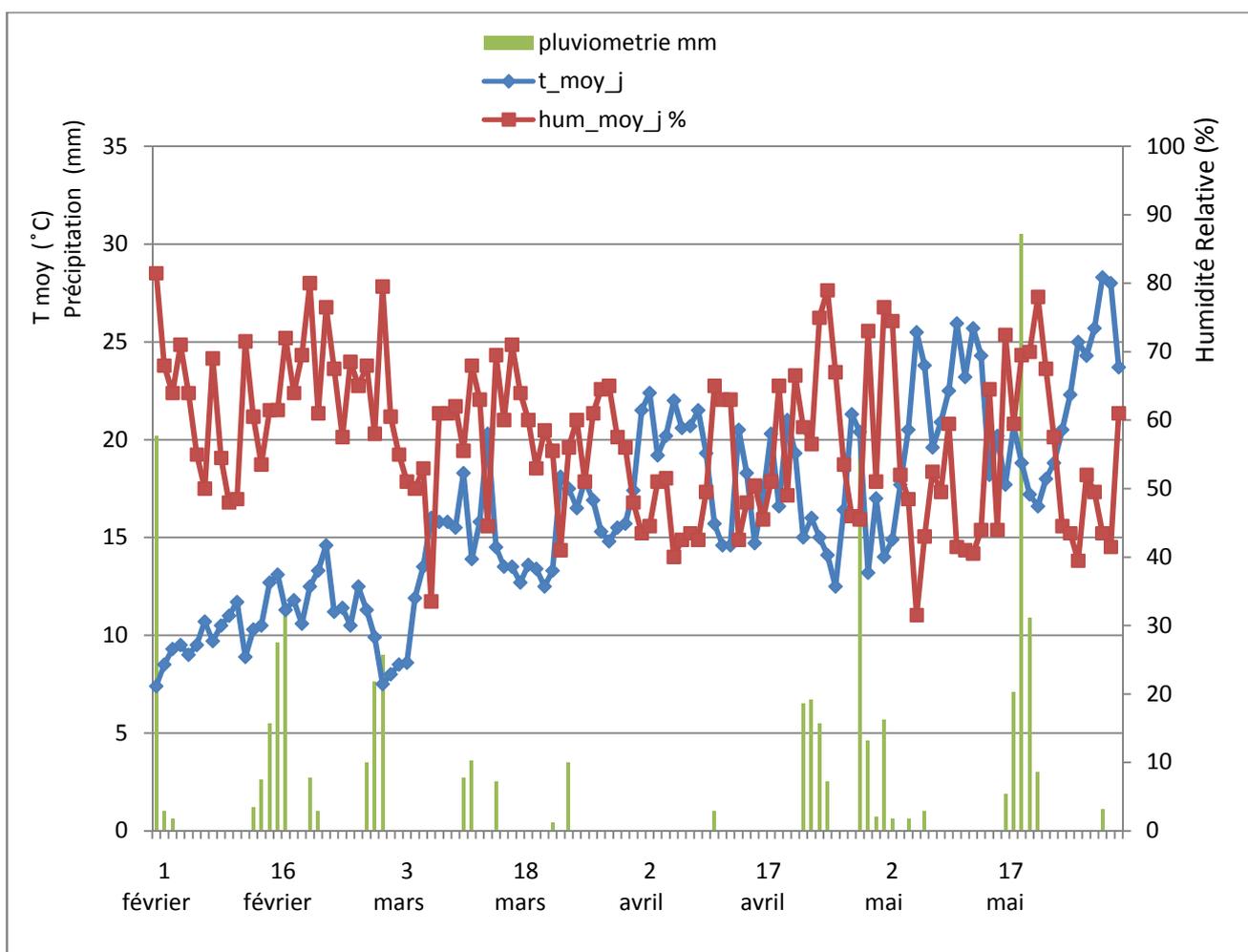
Il est à souligner que durant ces deux mois consécutifs (Février et mars), il a été cumulé encore une hauteur en eau de 105,9mm sur quatre périodes et 56,4 mm sur trois périodes. Cette situation a provoqué une situation où la pulvérisation des produits chimiques ne réussit pas sur le végétal



**Figure 4.32** : Périodes de risques selon les relevés climatiques (2010)

#### 4.1.2.3. Année 2011

Au niveau des parcelles surveillées la première apparition des symptômes a été notée le 19 Avril, précédée par une période climatique favorable au développement du mildiou ( $P = 1\text{mm}$ ,  $HR_{\text{max}} > 85\%$ ,  $T > 14.6\text{ °C}$  du 11 au 18 Avril). La semaine suivante soit le 26 avril nous avons enregistré une pluviométrie de 21.2 mm,  $HR_{\text{max}} > 85\%$ , accompagnée d'une température moyenne variant entre 14.1 et 21°C (Figure 4.33), cette deuxième période semble très favorable au mildiou, où plusieurs foyers ont été localisés.



**Figure 4.33 :** Périodes de risques selon les relevés climatiques (2011).

#### 4.1.3. Traitements phytosanitaires

4.1.3.1. Année 2009 : Contrairement à la culture de l'arrière saison où les symptômes étaient relativement sévères, allant jusqu'à 100 %, la culture de saison n'a présenté que quelques tâches isolées (13 Avril). Le programme du traitement a été entamé le 14 Avril avec intervalle de 10 jours.

4.1.3.2. Année 2010 : Cette saison a connu des fréquences de pluviométriques élevées et exceptionnelle, avec des périodes critiques favorables allongée notamment avec la plantation précoce. Aucun traitement préventif n'a été pulvérisé avant l'apparition des premiers foyers du mildiou (16 février). Le programme des traitements n'arrive pas à contrôler la progression de la maladie, même avec l'utilisation des différents fongicides pulvérisés dans des intervalles courts (5 jours).

4.1.3.3. Année 2011 : Le programme des traitements phytosanitaires a été entamé dès la première semaine du mois de Mars, environ deux mois après la plantation et juste avant le stade de fermeture des rangs, avec un intervalle régulier de 7 à 10 jours jusqu'à la période de 9 au 15 avril (5 traitements pulvérisés). Durant cette période, le contrôle phytosanitaire a été jugé efficace et aucun développement vers une situation épidémique n'a été soulevé. Après cette période nous avons constaté un vide phytosanitaire qui a duré à peu près un mois. Durant cette dernière période il a été détecté la présence des symptômes du mildiou le 19 avril, dans la deuxième parcelle.

## 4.2. Sévérité de la maladie

En comparant les trois ans années des suivis (2009, 2010 et 2011) d'étude, la sévérité de la maladie la plus élevée a été enregistrée en 2010 (90 %) dans la troisième parcelle suivie par l'année 2011 (60 %). La sévérité la plus faible a été enregistrée en 2009 (Figure 4.34).

En 2010, les pertes en rendement estimés par une simple enquête le jour de la récolte dans la troisième parcelle ont été de 85 % (environ 50 qx récoltés contre une production habituelle de 400 qx à l'hectare).

Dans la deuxième parcelle les pertes en rendement ont été de l'ordre de 65 %, mais le coût de traitement a été élevé (sept traitements). Les tubercules récoltés sont de petite taille à majorité mildioués impropres au stockage.

En 2011, malgré le pourcentage élevé de la sévérité (environ 60 %) les pertes en rendement enregistrées étaient faibles ou négligeables, car les attaques du mildiou étaient tardives (fin du cycle), ainsi les tubercules étaient plus au moins indemnes d'attaques.

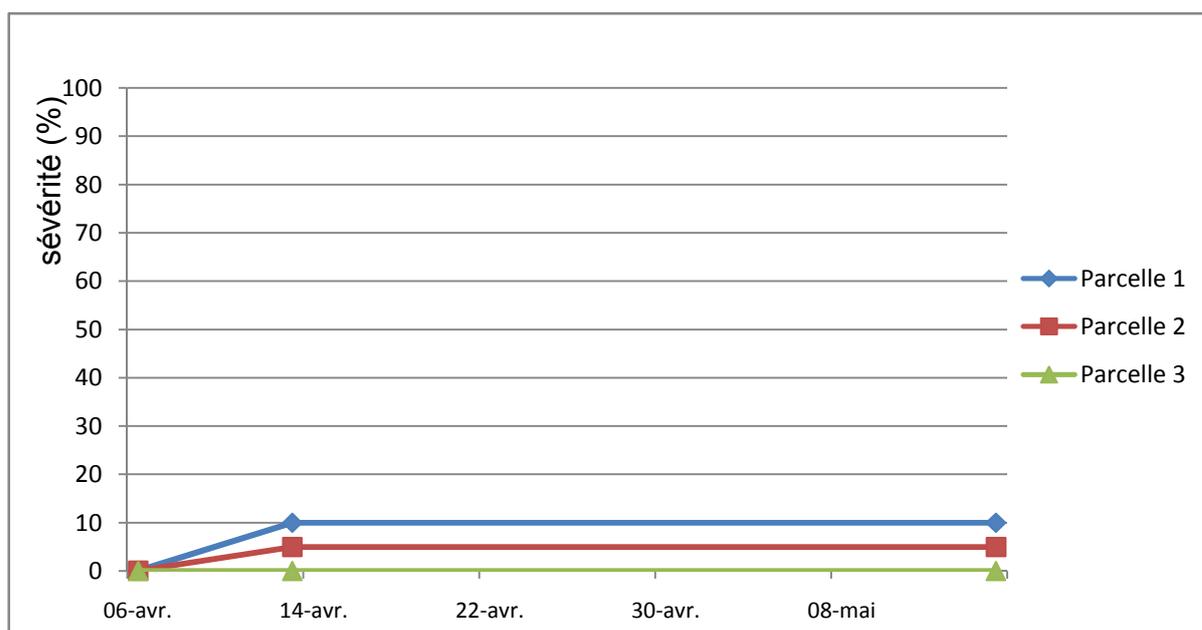
Les pertes engendrées par le mildiou sont dues principalement à une diminution de la production et le coût des traitements. En comparant le nombre de traitements appliqués ces dernières années, nous avons constaté une augmentation de plus de trois traitements passant de deux à trois traitements avant l'épidémie de 2007 à plus de six traitements ces dernières années, sans assurer une maîtrise de la maladie.

Notre suivi a révélé des différences dans les attaques du mildiou selon les variétés. La variété Spunta a été sévèrement touchée dans les années 2010 et 2011 et légèrement attaquée en 2009, sur la variété Désirée, qui occupe la deuxième position en matière de surface cultivée après la variété Spunta, nous avons relevé les remarques suivantes :

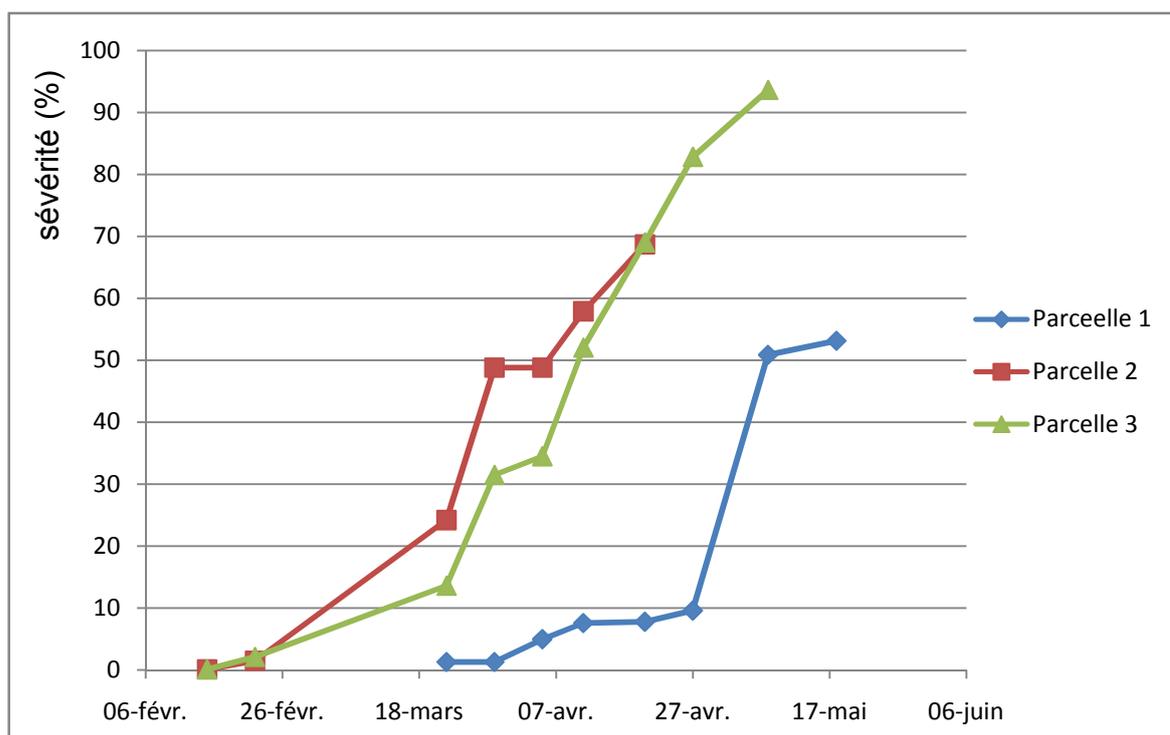
- Pas de symptôme sur la variété en 2009.
- En 2010 les premiers symptômes ont été observés le 27 avril soit plus d'un mois après l'apparition des symptômes sur la variété Spunta.
- En 2011 pas de symptômes sur la variété Désirée.

Selon les agriculteurs, cette variété reçoit la même charge en produits phytosanitaires que Spunta.

## 2009



2010



2011

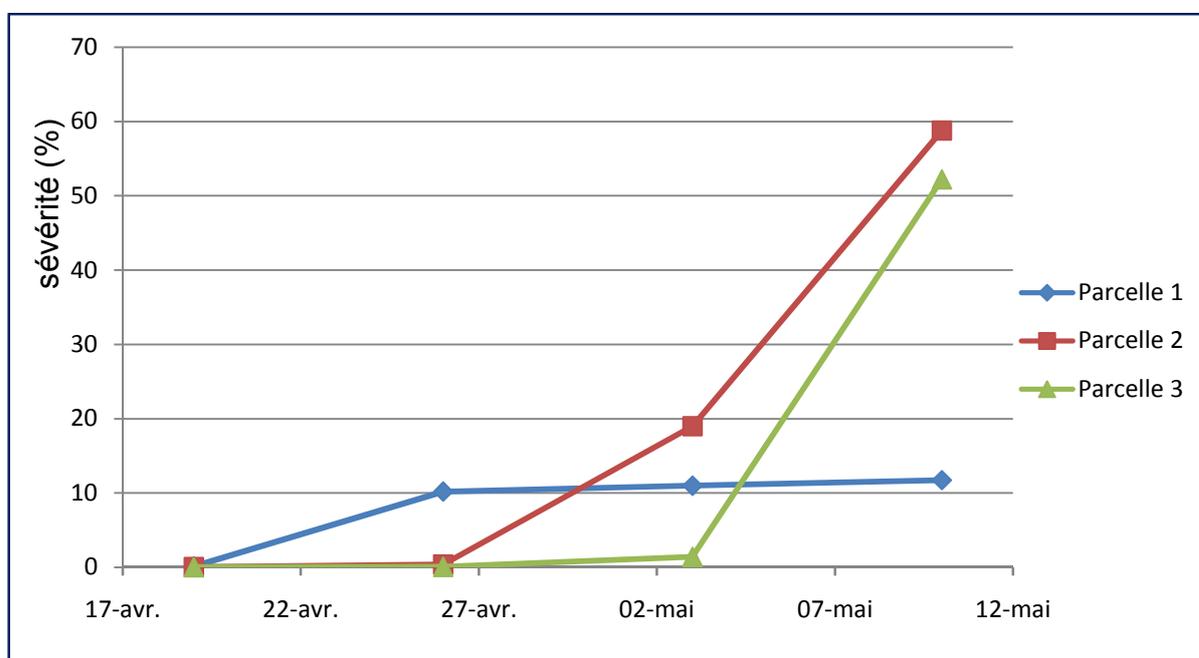


Figure 4.34 : Sévérité de la maladie durant la saison de la culture 2009, 2010,2011

**Tableau 4.11** : Evaluation du pourcentage d'infection du mildiou

an	Parcelles	Variétés	Incidence de maladie(%)	Sévérité de maladie(%)	Date des premiers symptômes	Observation
2009	1	Désirée	1,33	0	13 Avril	Mildiou uniquement sur feuille
	2	Spunta	12	≤10		
	3	Spunta	24	≤10		
2010	1	Spunta	100	53,14	16 février	Mildiou sur feuille, tige et tubercule
	2	Spunta	100	68,7		
	3	Spunta	100	93,65		
2011	1	Spunta	100	11,74	19 Avril	Mildiou sur feuille
	2	Spunta	100	58,8		
	3	Spunta	100	52,2		

#### 4.3. Caractérisation au laboratoire

A partir de feuilles mildiousées, fraîchement récoltées, nous avons tenté l'isolement du pathogène (*P. infestans*) sur des milieux solides (PDA, Petit pois) mais sans réussite (oomycète obligatoire). Devant cette situation, la caractérisation s'est réalisée directement par des observations microscopiques (Figure 4.35).

##### 4.3.1. Identification

Les observations ont été faites directement à partir du feutrage blanc du l'oomycète développé dans une chambre humide, les caractéristiques morphologiques observés sont typiques de cette agent fongiforme :

Macroscopiquement, le feutrage est de couleur blanchâtre, d'aspect duveteux, de forme irrégulier et sans pigmentation.

Microscopiquement, les sporanges de *P. infestans* sont caduques qui se traduit par le champignon ayant un court pédicelle ou cicatrice d'attachement à la base. Les sporanges sont semipapillate, ayant un petit bouchon ou un bouton à l'extrémité où les zoospores seront libérées. La forme des spores est ovoïde-limoniforme. Le mycélium est de couleur hyaline, non cloisonné (Figure 35).



**Figure 4.35 :** Vue microscopique de *Phytophthora infestans* (G : 10X40)

#### 4.4. Validation des modèles de prévision

Les éléments clés permettant un meilleur contrôle du mildiou de la pomme de terre, tout en soulignant la dépendance directe des fongicides potentiellement appliqués sont surtout :

- Le moment ou le nombre des jours qui constituent un avertissement idéal (pour fournir suffisamment de temps pour l'application de fongicides).
- L'ajustement du premier jour de traitement
- La détection des primo-infections (pour identifier le risque du mildiou)

En vue de prédire l'occurrence de la maladie nous avons testé l'application des modèles (Prognose, Période de Smith et NEGFRY) selon les suppositions décrites précédemment, les résultats de l'application de ces modèles sont illustrés dans les Tableaux (4.12 et 4.13) et la Figure (4.36).

#### 4.4.1. Modèle de Période de Smith:

La Période de Smith demeure le système le plus largement utilisé au Royaume-Uni et est définie par deux périodes consécutives de 24 h périodes où la température minimale est de 10 ° C ou plus et dans chacun desquels il y a au moins 11 h avec une humidité relative de 90 % ou plus. En pratique, l'occurrence d'une Période de Smith indique que les conditions favorables au mildiou ont été enregistrées dans une région. Au début de la saison, la Périodes de Smith pourrait indiquer que toute primo-infection a le potentiel de générer les spores de *P. infestans* et que les programmes de pulvérisation devraient commencer. À la mi-saison la Périodes de Smith indiquent la probabilité d'activité de mildiou et la nécessité de maintenir les intervalles étroits entre les applications chimiques [101].

Donc à l'heure actuelle il est considéré que la prévision basée sur des périodes de Smith n'offre pas la précision nécessaire pour les cultures individuelles, mais ils peuvent être de valeur en matière d'alerte du risque du mildiou sur une large zone géographique. L'amélioration de l'identification des périodes de risque élevé (à partir de travail actuel de réévaluer les critères de la température et l'humidité relative pour les nouveaux génotypes de *P. infestans*) et avec les informations existantes sur les foyers de mildiou en activité devrait améliorer considérablement la valeur de ce système de prévision [101].

En résumé la validation de ce modèle s'est opérée durant trois années de suivis :

4.4.1.1. Année 2009 : Durant cette année le modèle a recommandé quatre traitements, la première période full Smith a été atteinte le 29 mars soit le deuxième jour de la première période à risque indiquant la probabilité d'activité du mildiou dans toute la région avec un écart de 15 jours à la date de l'occurrence de la maladie.

4.4.1.2. Année 2010 : Un nombre total de dix traitements a été comptabilisé indiquant une exposition sur un long climat favorable durant cette saison. Cinq périodes au début de saison de 29 Janvier au 08 Mars et cinq autres à la fin de saison de 22 Avril au 14 Mai; le modèle a donné un avertissement en l'avance de l'occurrence de la maladie de 18 jours.

4.4.1.3. Année 2011 : Sept périodes de full Smith ont été notées durant cette saison, la première période a été enregistrée le 12 Mars soit un avertissement en retard de 11 jours après la première infection.

Ce modèle donne des informations générales qui manquent de précision indiquant que le climat est favorable pour le développement du mildiou dans une région. La totalité des premiers avertissements dans les trois ans coïncide avec la première période de risque de la saison.

#### 4.4.2. Modèle de Prognose :

Ce modèle utilise des mesures de températures, d'humidité relative, et de précipitations pour prévoir quand les épidémies du mildiou (*Phytophthora infestans*) ne sont pas susceptibles de se produire. Il a été utilisé en Allemagne pour prévoir le moment du premier traitement. Les valeurs de risque quotidien et accumulé de plus d'une semaine sont calculées à partir de la levée des cultures. Le système de Prognose ne peut pas être utilisé dans les zones de culture permanente de pommes de terre; les zones sans hiver [18].

La valeur de Prognose augmente avec le temps, la durée des périodes humides et des températures favorisant le développement de pathogène provoquent l'augmentation de la valeur de Prognose. Une période humide est définie par les heures avec une humidité relative supérieure à 90%, l'humidité des feuilles ou plus de 0,1 mm de pluie. Le modèle de différence entre les périodes humides de 4h et de 10 h [18].

Le modèle donne deux seuils:

- Une valeur de 150 unités de valeur à risque indique la date à laquelle nous pouvons soupçonner une incidence de 0,1 % de la maladie en une année avec une pression d'inoculum moyenne à élevé.
- Une valeur de 270 unités de valeur à risque indique la date à laquelle nous pouvons soupçonner une incidence de la maladie de 1% en une année avec une pression d'inoculum moyenne à faible.

Dans l'an avec une pression moyenne d'inoculum, 150 unités serait la valeur pour commencer à pulvériser. En une année avec une pression d'inoculum faible, 270 unités seraient la valeur de commencer à pulvériser. La pression d'inoculum est influencée par l'apparition de la maladie l'an dernier dans la zone de production de semence [18].

#### 4.4.2.1. Année 2009 :

- le seuil de 150 unités a été atteint le 22 février ; un avertissement en avance de 50 jours de la date d'occurrence de la maladie,
- le seuil de 270 unités a été atteint le 06 Mars soit un écart de 38 jours entre la date d'avertissement et l'occurrence de la maladie.

4.4.2.2. Année 2010 : le modèle recommande dix traitements, ainsi il a été prévu que la maladie se produit

- le 24 Janvier considérant le seuil de 150 unités résultant un écart de 23 jours avant l'occurrence de la maladie.
- le 15 Février considérant le seuil de 270, soit un jour avant l'occurrence de la maladie.

4.4.2.3. Année 2011 : six traitements a été recommandés par le modèle, il a été prévu que la maladie se produit :

- le 25 Février estimé par rapport au seuil de 150 unités soit trois jours avant l'occurrence de la maladie.
- Le 09 Mars considérant le seuil de 270 unités soit huit jours après l'occurrence de la maladie.

Nous remarquons que ce modèle donne des prévisions dans la class E (en 2009 et 2010) et un dans la classe O (Tableau 14). Ces dates sont beaucoup plus avancées par rapport aux dates de la première attaque du mildiou, ceci permettra de mieux protéger la culture mais les coûts de protection seront plus élevés.

#### 4.4.3. Modèle de NEGFY :

Ce système est une combinaison du système de Prognose et un modèle pour le calcul des intervalles de pulvérisation basée sur les quantités de pluie enregistrées.

Le modèle d'infection utilise une humidité relative supérieure à 90 % ou l'humidité des feuilles pour estimer les périodes humides. Selon la durée des périodes humides et de la température au cours de cette période, des unités de mildiou pour des cultivars sensibles, modérément sensibles et modérée résistants sont estimées. [24]

Le modèle d'estimation de l'intervalle entre les traitements utilise le résultat des calculs tous les jours de modèle d'infection, avec des seuils différents du modèle

pour les cultivars sensibles, modérément sensibles et modérément résistants permet de décider si une pulvérisation est nécessaire ou non. Une pulvérisation est indiquée si le dernier traitement est plus long que six jours et si les unités de mildiou accumulés excèdent [99]:

- 30 pour les variétés sensibles
- 35 pour les variétés modérément sensibles
- 40 pour les variétés modérément résistantes

En appliquant ce modèle dans un climat froid de production de pommes de terre, il est suggéré de le combiner avec le modèle de Prognose. La première pulvérisation est appliquée selon l'indication de la prognose. Les pulvérisations subséquentes sont appliquées selon les règles du NEGFRY.

4.4.3.1. Année 2009: Ce modèle recommande six traitements, la valeur de 30 unités du mildiou a été accumulée le 02 Avril.

4.4.3.2. Année 2010: Un total de douze traitements a été recommandé par le modèle indiquant que la saison a connu de plusieurs périodes humides nécessitant des applications à des intervalles courts et répétés.

4.4.3.3. Année 2011: Un seul traitement a été recommandé par le modèle le 20 Mars soit un avertissement tardif par 19 jours.

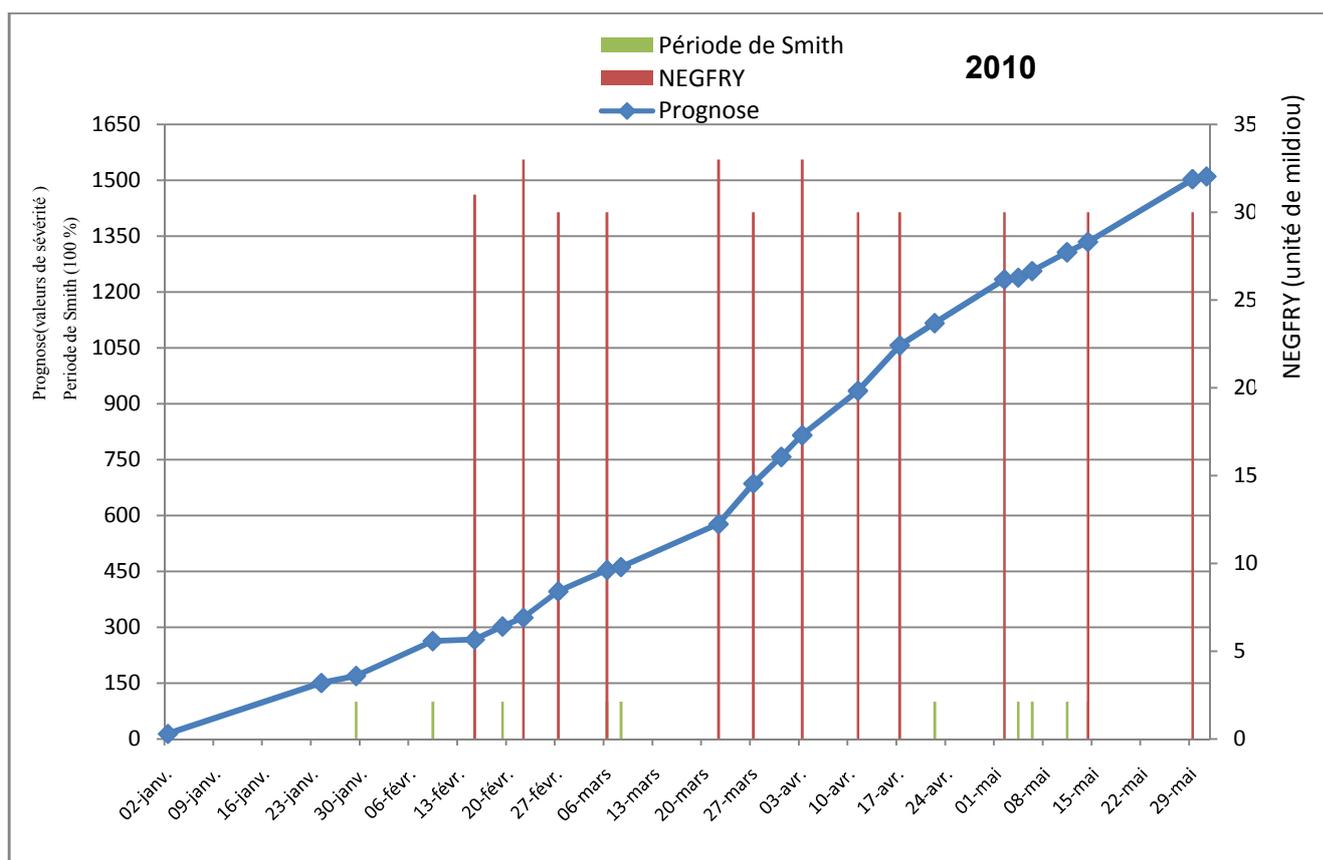
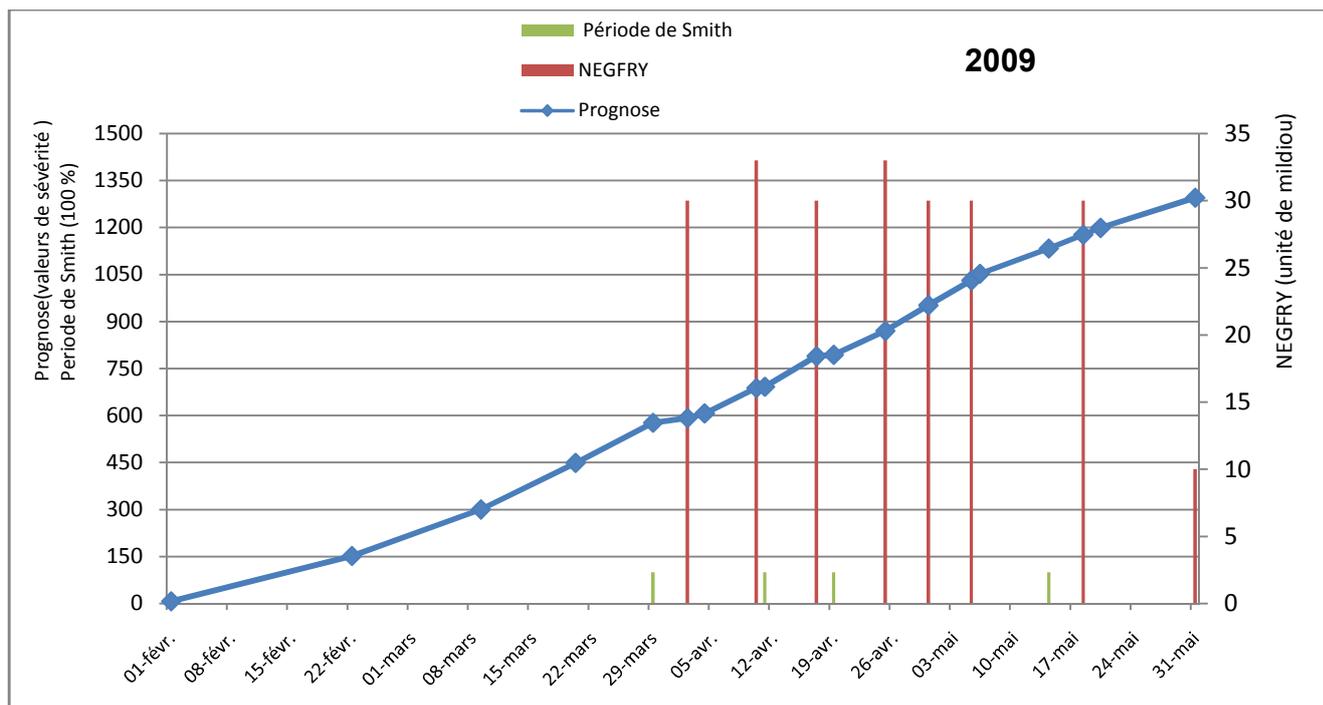
Au cours de deux premières années, ce modèle donne des résultats acceptables et précis par rapport aux deux autres modèles. Les avertissements générés sont classés dans la classe I et O (Tableau 4.14).

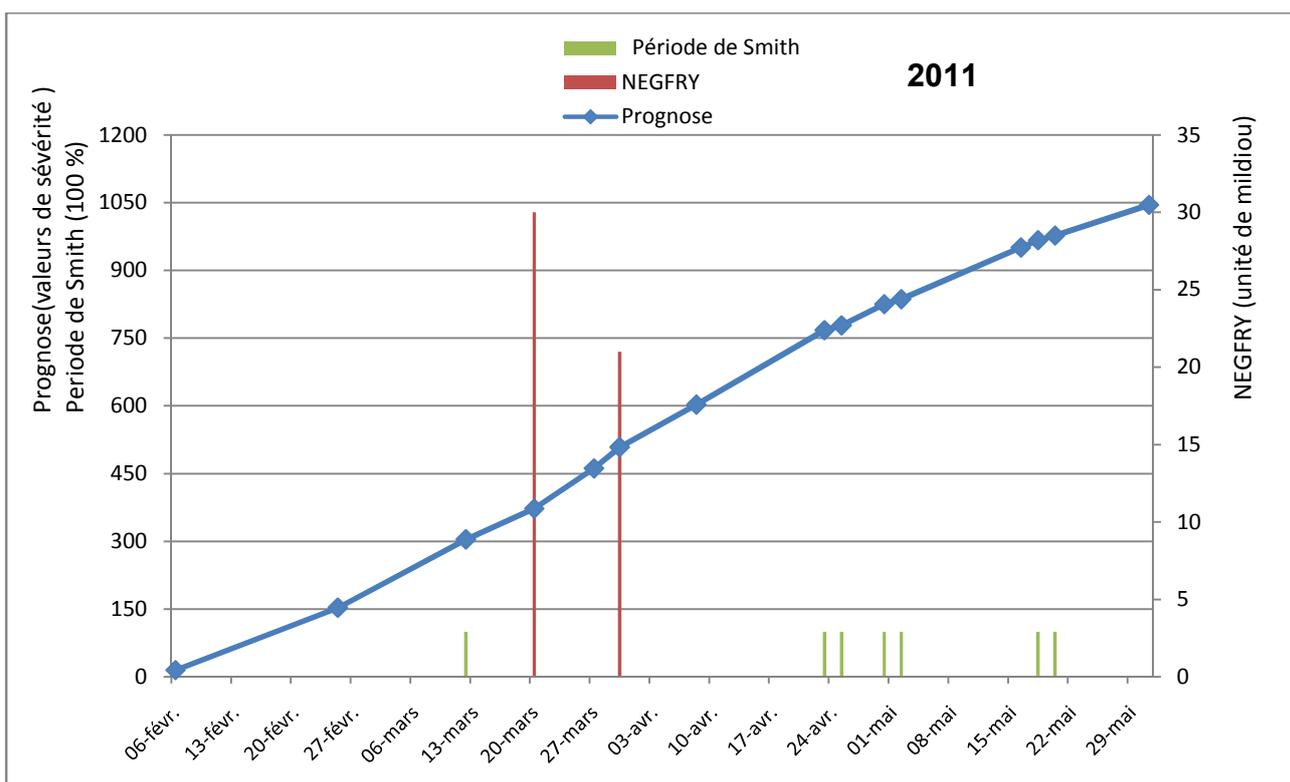
**Tableau 4.12** : Nombre total des traitements recommandés par les modèles examinés.

Années	Nombres de traitements recommandés			Nombres de traitements appliqués (observé)
	Période de Smith	NEGFY	Prognose	
2009	4	6	8	4
2010	10	12	10	7
2011	7	1	6	6

**Tableau 4.13** : Date d'apparition des premiers symptômes et le recommandation du premier traitement pour chaque model.

Année	Model	1 <sup>er</sup> traitement recommandé	Date d'apparition du premier symptôme
<b>2009</b>	Smith période	29-Mars	13-Avril
	NegFry	2-Avril	
	Prognose	22-Février	
<b>2010</b>	Smith période	29-Janvier	16-Février
	NegFry	15-Février	
	Prognose	24-Janvier	
<b>2011</b>	Smith période	12-Mars	01- Mars 19 - Avril
	NegFry	20-Mars	
	Prognose	25-Février	





**Figure 4.36:** Résultat des modèles de prévision du mildiou dans les trois ans

**Tableau 4.14.** Performance des systèmes d'avertissement

année	Smith Période	NEGFRY*	Négative Pronostic *
2009	<b>I (+15j)</b>	<b>I (+11j)</b>	<b>E (+50j)</b>
2010	<b>E (+18j)</b>	<b>O (+01j)</b>	<b>E (+23j)</b>
2011 <sup>1</sup>	<b>(-11j)</b>	<b>(- 19 j)</b>	<b>O (+03j)</b>

\* Estimation par rapport un seuil de 150 unités

<sup>1</sup> Estimée par rapport le 1<sup>er</sup> Mars et non pas le 19 Avril

Fiabilité des systèmes de prévision par rapport aux trois classes d'avertissements (**classe E > 15 jours** avant l'occurrence du mildiou, **classe I : 15 - 7 jours** avant l'occurrence du mildiou, **classe O < 7 jours** avant l'occurrence du mildiou).

Les systèmes de prévision sont évalués et jugés par le nombre du jour entre la date de l'avertissement et la date exacte d'occurrence de la maladie, donc de savoir

comment ils sont distribués dans les classes appropriées (Tableau 4.14).

L'évaluation de ces modèles a montré une grande variation de leurs performances indiquant le risque de mildiou trop en avance d'une infection ou indiquer un risque quand la maladie n'est pas encore survenue. Il y avait aussi des cas où certains systèmes n'ont pas donné un avertissement suffisant (un jour avant l'occurrence de la maladie) pour les producteurs à protéger leurs cultures de manière adéquate.

Le moment et le nombre de traitements recommandés par les trois modèles ne conviennent pas aux traitements appliqués par les agriculteurs. En effet, en 2010 les trois modèles recommandent entre dix à douze traitements observés contre sept traitements au maximum. La majorité des fongicides appliquée contient la matière active Métalaxyl qui s'est avéré depuis de nombreuses années en mesure de stopper une épidémie, mais aujourd'hui les populations du pathogène établies à travers le monde ne sont plus sensibles [101]. L'industrie offre cependant de nombreux fongicides spécifiques aux oomycètes chacun d'eux ayant des caractéristiques différentes. L'année passée a connu l'introduction d'un nouveau produit chimique (Préviculture) doté d'un mode d'action translaminaire, systémique et contact. Leur mode d'action peut contribuer à l'efficacité des traitements et la valorisation des avertissements des modèles, car un traitement de deux 48 heures à 72 heures avant une période critique peut protéger la culture. Le moment d'application, le choix de produits, et les doses sont les éléments importants pour lutter contre cette maladie avec succès.

La première étape dans le contrôle intégré est de réduire les sources d'inoculum primaire. La localisation via un système de surveillance des primo-infections est nécessaire pour gérer la maladie. Cette information est exploitée avec succès à travers de nombreux pays. Dans tous les pays nordiques, les attaques du mildiou sont suivies à l'aide d'un système de surveillance, des cartes et tableaux avec les informations sur les premiers foyers de la maladie dans toute la région sont disponibles dans le Web-Blight [101]. Au Royaume Unis, les renseignements sur les foyers identifiés faisant partie de la lutte contre le mildiou et sont également disponibles via une carte [101].

Avec l'utilisation de ces sources d'information, il est possible de construire une meilleure évaluation du risque local du mildiou. Ce système de détection des primo-infections reste irréalisable en l'absence d'un réseau de stations climatiques en Algérie, notamment dans ces régions qui assurent, à titre de rappel 40 % de la production nationale.

La wilaya d'Ain Defla a connu ces dernières années deux épidémies générales causant des pertes considérables :

La première épidémie a été enregistrée sur la culture d'arrière saison durant la campagne agricole 2000/2001, en touchant la plupart des communes productrices de la wilaya de Ain Defla comme : El Amra, El Abadia, Bir Ould Khelifa, Rouina, Ain Defla, Mekhatria. Le climat a connu une longue période de fortes précipitations (presque une semaine), ainsi les agriculteurs n'ont pas connu auparavant une telle situation où l'attaque de mildiou a entraîné pour la première fois des pertes considérables de la récolte.

La deuxième épidémie a été observée dans la saison 2007/2008, où l'attaque de mildiou a été généralisée sur toute la wilaya d'Ain Defla et même au niveau d'autres Wilaya voisines comme Mascara, où les pertes étaient presque totales dans certaines parcelles. Il a signalé que les conditions climatiques sont à l'origine de cette explosion épidémique.

- Une semaine pluvieuse de 12 au 19 Avril.
- Une température de plus de 16 °C.
- La vitesse de vent atteint 120 km par heures et qui joue un rôle majeur dans la dispersion de la maladie.

Selon l'historique d'attaque du mildiou de la pomme de terre dans la wilaya et l'analyse des conditions climatiques accompagnant l'apparition et le développement du mildiou durant les trois ans de suivis, nous pouvons ressortir les remarques suivantes :

Nous avons deux étapes distinctes du processus de la maladie ; l'étape d'infection et l'étape de la dispersion et que chacune de ces deux compartiments a des conditions climatiques propres à leur expression :

**Infection** : Elle se manifeste au milieu de la saison notamment avec les changements climatiques où nous avons des périodes fraîches accompagnées de températures dépassant la moyenne mensuelle durant les mois de Janvier et Février comme nous avons enregistré durant la saison 2010 des températures favorables à l'infection. En effet, nous avons comptabilisé trois périodes favorables à l'infection en Janvier et en Février 2010 (APPENDICE C):

- De 11 au 14 Janvier: T moy journalière entre 13,1 et 14,7 °C avec une pluviométrie de 41,1 mm,
- De 17 au 26 Janvier: T-moy-j de 11,9 à 14 °C et une Pluviométrie de 9,8 mm,
- De 3 au 10 Février: T-moy-j entre 10,9 et 16,3 °C avec une Pluviométrie de 57 mm.

Ces périodes sont supposé d'être l'origine des primo-infections engendrant l'épidémie de 2010. De même la première infection a été décelée le premier Mars 2011 et a été précédé par une période débutant le 13 au 27 Février où la température a été entre 10,3 et 14,6 °C accompagnée d'une cumule d'eau de 37,7 mm.

La détection du mildiou dans un stade végétatif avant le stade de fermeture des rangs et les températures supérieures à la moyenne mensuelle des années précédentes marquée par un changement climatique nous s'orientent à prendre en considération les points suivants :

- Installation de système de surveillance du mildiou dans ces périodes pour détecter les primo-infections.
- La nécessité de réévaluer la biologie du champignon, notamment les températures favorables à l'infection, car selon Crosier [84], la phase initiale de la maladie, la croissance du champignon dans une plante de pomme de terre infectée à partir d'un tubercule de semence planté est régie seulement par la température. Ce n'est que lorsque la sporulation se produit que l'humidité relative, l'humidité des feuilles et leur durée affecte la progression de la maladie.

**Dispersion** : Elle se manifeste au milieu jusqu'à la fin de saison où le stade végétatif de la plante est la fermeture des rangs, à partir de cette période, la température commence à augmenter. C'est à ce niveau que l'humidité intervienne en

engendrant des situations épidémiques. La pluviométrie joue un rôle important dans la dispersion des propagules du mildiou notamment les sporanges et les zoospores qui nécessitent l'eau pour leur mobilité. En effet, les épidémies de 2001 et de 2007, notamment en 2010 ont été accompagnées par environ une semaine de pluviométrie engendrant un vide phytosanitaire par le lessivage et l'impossibilité des applications chimiques et créant toutes les conditions favorables pour que la maladie puisse réaliser de nombreux cycles répétitifs, occasionnant des épidémies polycycliques.

Cette période doit être analysée et caractérisée en vue de développer un modèle spécifique de la région en se basant sur l'historique d'attaque du mildiou dans cette région. A cette effet, les étapes à entreprendre sont surtout:

- L'installation d'un réseau de stations climatiques de haute précision.
- L'enregistrement des dates d'apparition des épidémies et les conditions climatiques accompagnant .

## CHAPITRE 5

### DISCUSSION GENERALE

Plus de 160 ans, le mildiou continu à poser une menace majeure pour la production de pommes de terre, en particulier dans les régions fraîches et plus humide où des expériences de modélisations ont été entamées dans de nombreuses régions du monde. L'exactitude d'un système de prévisions dépend du point de réussite d'interprétation des rapports biologiques et météorologiques et leur traduction en programme de traitements. Campbell et Madden [102] rapportent sept attributs d'une prévision réussie : Fiabilité, simplicité, importance, utilité, disponibilité, applicabilité universelle et rentabilité. Selon ces auteurs, un système doit être évalué dans la région où il sera mis en œuvre. Par conséquent, les systèmes de prévision de mildiou ont été évalués de façon exhaustive dans le monde entier et n'ont pas été pleinement évalués dans des conditions de régions potentielles en culture de pomme de terre.

Les systèmes les plus simples emploient seulement la fréquence et l'intensité de précipitation, tandis que, comme la sophistication augmente, des facteurs comme l'humidité relative, humidité de feuille, la vitesse du vent et l'irradiation sont incorporés et l'intervalle de collecte de données nécessaires est diminué. Pour ce qui concerne l'hôte, l'occurrence et la nature de la résistance peuvent être incluses, alors que quelques systèmes prennent également en considération l'augmentation de la surface des feuilles ou la dégradation des produits chimiques précédemment appliqués [95]. Malgré que les symptômes sont typiques et facile à identifier dans les champs infestés, l'isolement et l'observation de cet oomycète reste difficile à réaliser au laboratoire

Durant les trois ans d'étude réalisée dans la wilaya d'Ain Defla, une zone potentielle de production de la pomme de terre, nous avons tenté de valider trois modèles de prévision du mildiou (la Période de Smith, NEGFY et Prognose), dans l'espoir de définir des prévisions d'une plus grande précision. Globalement, en pratique leur utilisation pour des évaluations épidémiologiques, reste étroitement liée

au concept régional même en Europe, il se trouve deux à trois modèles développés dans le même pays.

Le modèle de la Période de Smith est un modèle qui mesure le risque de déclenchement du mildiou, les deux autres modèles NEGFRY et Prognose donnent des conseils sur l'époque de première application de fongicides et les traitements subséquents. Pour cela, nous avons tenté de développer un modèle spécifique du mildiou, adapté à partir des paramètres définis dans ces modèles, pour une application locale.

Le modèle Période de Smith a été initialement développé comme un indicateur de risque de détérioration globale à travers une vaste zone géographique du Royaume-Uni [92, 98]. Cependant, il est important de noter que l'apparition d'une période de Smith ne conduit pas nécessairement à l'application d'un fongicide sur la culture [103]. Le modèle Période de Smith est indiqué pour les zones et les années avec une pression d'inoculum faible ou moyenne [85].

La période de Smith n'a pas été développée comme un système de prévision dans le champ mais comme un système régional d'alerte à distance en utilisant des stations météorologiques synoptiques [85]. Les critères pour la Périodes de Smith peuvent être trop généraux lorsqu'il est appliqué à une station dans le champ, mais l'inverse serait vrai pour les schémas consacré au champ (Prognose et NEGFRY) que leurs recommandations ne peuvent s'appliquer qu'aux plus courtes distances. Exactement à quelle distance dépend de la topographie locale et des circonstances propres à chaque région [104,105].

Les systèmes les plus complexes tels que NEGFRY et le pronostic négatif nécessitent des données météorologiques mesurées dans les champs car selon les auteurs de ces modèles, le microclimat au niveau du couvert végétal est susceptible de jouer un rôle important dans la performance des modèles. Le couvert végétal influence les conditions climatiques en champ et même celles mesurées à partir des sondes météorologiques installées sur le couvert végétal et ne pouvait pas tenir en compte cette variabilité. Donc les modèles qui nécessitent ces données de haute résolution que le simple système de Smith ne donne que des avertissements qui concerne le champ où ces données sont mesurées [105,106].

Les résultats de notre étude ont montré que les paramètres météorologiques qui ont un grand effet sur le développement du mildiou sont la pluviométrie et la température. En effet, durant chaque année la date d'apparition des premiers symptômes est précédée par des périodes pluvieuses variables d'un jour à quelques jours avec des températures supérieures ou égales à 10 °C. La température et l'humidité sont les facteurs environnementaux les plus importants affectant le développement du mildiou.

Des sporanges sont formés sur les surfaces inférieures de feuille et ils infectent les tiges quand l'humidité relative est > 90 %. La sporulation peut se produire entre 3 et 26 °C, mais l'optimum se situe entre 18 et 22 °C. Les sporanges germent directement par l'intermédiaire d'un tube germinatif entre 21 et 26 °C. En-dessous de 18 °C, les sporanges produisent 6 à 8 zoospores qui exigent l'eau pour la natation [35].

Chaque zoospore est capable d'initier une infection, qui explique pourquoi la maladie est plus grave en conditions fraîches et humides. Les nuits fraîches, les jours chauds, et les conditions humides prolongées de la pluie et du brouillard peuvent avoir comme conséquence les épidémies de mildiou dans lesquelles des champs entiers de pomme de terre sont détruits en moins de deux semaines [35].

Le développement des épidémies du mildiou dépend considérablement de l'humidité et de la température régnante pendant les différentes étapes du cycle de vie de l'oomycète. Ce pathogène se développe et sporule le plus abondamment à une humidité relative près de 100% et à des températures entre 15 et 25 °C. Au-dessus de 30 °C la croissance est lente ou arrêtée dans le champ mais sans perdre sa vitalité (conservation), et l'oomycète peut commencer à sporuler encore quand la température devient favorable et l'humidité relative est suffisamment élevée [69].

Les résultats des modèles de cette étude sont différents et montrent une grande variabilité dans leur capacité à prédire avec précision l'occurrence de la maladie. Les données ont montré que la prévision de l'occurrence de mildiou était imprécise (un avertissement d'un jour avant l'occurrence de la maladie jusqu'à 50 jours), peut être dû à la non disponibilité des données météorologiques précises. Les systèmes les plus complexes, tels que NEGFY et le Prognose nécessitent des données de haute

résolution que le système de Smith [105, 106].

La température et l'humidité relative, les variables de conduite principale des modèles sont influencés par l'irrigation. L'irrigation par aspersion est utilisée par la plupart des agriculteurs, une fois par semaine, en absence de l'eau de pluie pendant au moins trois heures. En outre l'irrigation par aspersion a un effet sur le lessivage des produits chimiques appliquée précédemment.

Il ya des inconvénients, cependant, que cette étude a démontré; aucun des systèmes évalués n'est totalement fiable en terme d'avertissement sur l'infection du mildiou. La cause de l'inexactitude peut être due à l'hypothèse dans le paramétrage environnemental du modèle des processus de l'infection de *P. infestans* ou le manque de connaissances concernant des facteurs importants, notamment le statut de l'inoculum dans les régions et au sein de différentes cultures [48]. Par ailleurs, les systèmes ont tendance à être borné dans la nature à partir d'expériences locales et les observations météorologiques. Les systèmes qui ont été importés d'autres pays pour l'évaluation dans l'espoir d'une plus grande précision ont souvent des résultats médiocres que les climats régionaux sont différents [98, 107].

Même si un système peut donner un avertissement avancé il ya une question sur le nombre de jour qui constitue un avertissement idéal, qui lui-même dépendra des fongicides potentiellement appliqués. Dans les années 1950, une période de 14 jours a été suggéré suffisante pour donner aux producteurs le temps de faire deux applications d'un fongicide à base de cuivre afin de protéger adéquatement toute les nouvelles pousses [108]. Ces données ne semblent plus valables en raison de la grande diversité des matières actives utilisées actuellement, en plus de leurs modes d'action qui sont totalement différents des précédents.

Avec la disponibilité de composés modernes systémiques, bien que limitée à la première quelques applications pour réduire le risque de développement de la résistance, l'avertissement idéal est de moins de 7 jours seulement [109]. Pour cette raison, les systèmes qui avertissent trop tôt en avance sur une éventuelle occurrence de la maladie peuvent être plus sûr, mais plus coûteux. Un avertissement idéal de 10 jours représente simplement un compromis qui peut convenir à la plupart des producteurs dans la plupart des situations.

Le système de NEGFY a été le plus précis (il a comme résultat les class I O E respectivement au cours de trois ans) par rapport aux autres systèmes (les modèles de période de Smith et de Prognose) donnant un avertissement trop en avance de l'occurrence réelle de la maladie (Tableau.13). Le système de Prognose est utilisé dans cette étude dans laquelle il peut y avoir une certaine marge en ajustant le seuil d'action pour augmenter ou diminuer l'ampleur d'un avertissement. À l'exception du modèle NEGFY, une telle modification ne fait pas partie de la conception de système de prévision, mais serait basée uniquement sur l'expérience de l'utilisation des modèles sur un certain nombre de saisons [30].

Tous les systèmes évalués utilisent des seuils distincts pour différencier les conditions favorables ou défavorables de sorte qu'une différence de température de 0.1 °C peut être suffisante pour déclencher ou non un avertissement. Le cycle de vie de l'agent pathogène ne répond pas à ces limites distinctes [50]. En plus il y a la possibilité de variation dans la réponse de la population du pathogène à son environnement. La migration de génotypes exotiques de *P. infestans* dans une grande partie du globe dans les 15 dernières années [110] soulève le potentiel de réactions différentielles à la température et l'humidité. Mizubuti et Fry [45] ont démontré que certaines lignées clonales importé aux États-Unis avaient des périodes d'incubation plus courtes et que leur lésions produites plus grand nombre de sporanges que les génotypes ancienne dominante de US-1.

Les souches de pathogène qui ont régné jusqu'aux années 80 aient appartenu au type sexuel A1 et sa reproduction se fait en l'absence de son type sexuée compatible A2. La migration du type sexué compatible A2 du Mexique au reste du monde a rendu la reproduction sexuelle possible de ce pathogène, qui a comme conséquence la production des oospores et également la production possible de nouvelles souches plus virulentes par la recombinaison génétique [69].

L'agressivité de *P. infestans* dans les Pays-Bas (l'un des principaux pays qui approvisionne notre pays en matière de semence) a augmenté au cours des 20 dernières années, résultant en des cycles de vie plus courte (de 30%), plus de tâches sur les feuilles / cycle de vie, période d'infection plus courte (6 h au lieu de 8 h), un rang de température plus grande (entre 5 °C et 27 °C au lieu de 10-25 °C) et l'occurrence de lésions sur tiges [111]. En raison du changement spectaculaire de la

biologie du pathogène du mildiou, il a été décidé de lancer des études biologiques de base permettant la mise à jour de modèles et de règles de décision plus élaborées et plus efficaces. [112, 113].

L'avenir des systèmes de prévision pour le mildiou est de visualiser l'émergence de plusieurs DSS (système d'aide à la décision) autonomes ou organisés par des applications Internet [114]. Le système DSS peut offrir des informations générales ou spécifiques au site à des utilisateurs par l'intermédiaire des agents de vulgarisation, téléphone, fax, e-mail, SMS, PC et sites Web sur Internet. L'Utilisation de l'Internet, bases de données et des outils Web sont devenus la plus importante plateforme de diffusion. L'information est livrée directement aux agriculteurs via des pages web. SMS ou e-mail, via les agents de vulgarisation qui utilisent le DSS et ensuite donner des conseils sur les mesures de contrôle spécifiques aux agriculteurs par fax, téléphone ou e-mail, est également courante [102].

Avec les preuves expérimentales concernant l'augmentation de l'agressivité et la reproduction sexuée de l'agent pathogène [115, 116, 117], les producteurs sont en face d'un défi difficile à maintenir, et le contrôle des maladies ne peut réussir sans tenir compte les directives environnementales. Les systèmes de prévision doivent relever ce défi s'ils veulent être utiles aux producteurs et aux chercheurs.

La nécessité d'installer d'un réseau des stations climatiques pour avoir un cumul de données climatiques notamment thermique et hygrométrique pour fonder une base des données et de structurer les paramètres de flux. Ces informations vont être utilisées pour conceptualiser un modèle spécifique à la région afin d'assurer une meilleur gestion de la maladie.

## CONCLUSION

Malgré que les études et les recherches consacrées au mildiou de la pomme de terre ne datent pas d'aujourd'hui, le contrôle efficace de cette maladie reste toujours posé. Les pertes engendrées sont de plus en plus considérables surtout dans les régions disposant d'un climat humide et frais, en plus de l'augmentation des surfaces cultivées en pomme de terre.

Le mildiou de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla semble généralement moins contrôlé. En effet, nous avons enregistré une sévérité de 90 % en 2011 à moins de 10 % en 2009. Même avec l'augmentation du nombre des traitements, qui a un coût économique élevé en plus de son impact sur l'environnement, la situation reste incontrôlable. Le développement d'une situation épidémiologique dépend surtout des conditions climatiques locales. Les traitements fongicides appliqués sont en générale de routine et qui varient d'un agriculteur à l'autre, dans l'époque et en nombre de traitements. Globalement, nous avons constaté que les agriculteurs de la wilaya d'Ain Defla ont augmenté le nombre de traitements, pulvérisant moins de trois traitements avant l'épidémie de 2007 à plus de six traitements actuellement.

Dans notre étude et afin de rationaliser l'application des fongicides et d'assurer leur efficacité, nous avons essayé de valider sur terrain l'application de modèles de prévision épidémiologique du mildiou. L'application de trois modèles de prévision (la Période de Smith, NEGFRY et Prognose) dans la région d'Ain Defla a révélé que ces systèmes montrent une grande variation de prévision de cette maladie. Les avertissements résultant demeurent non fiables et loin d'être précis (un avertissement d'un jour avant l'occurrence de la maladie jusqu'à 50 jour). Parfois nous avons enregistré l'absence d'avertissement où le mildiou a été détecté (-11 à -19 jours). L'incohérence des résultats des modèles testés peut être due à la quantité et la qualité d'inoculum qui reste inconnu et nécessite d'être étudié et aussi à la non disponibilité de données météorologiques précises à partir d'une proximité immédiate.

La pluviométrie, est l'un des paramètres de flux les plus importants dans le déclenchement des épidémies du mildiou dans la région d'Ain Defla. En effet, l'épidémie générale de 2007 a été accompagnée par une semaine pluvieuse, la même situation a été enregistrée durant l'épidémie de 2001. Nous avons constaté les mêmes résultats durant les trois ans d'étude. Ces conditions climatiques particulières doivent être mesurées, analysées et traitées d'une manière précise, car elles nous aident à déterminer et développer un modèle de prévision du mildiou adapté à cette région.

L'installation de stations météorologiques est une priorité pour conceptualiser un modèle de prévision du mildiou de pomme de terre en définissant les périodes climatiques favorables au développement du mildiou, notamment les périodes pluvieuses. Le développement d'un modèle spécifique pour la région d'Ain Defla, peut améliorer l'efficacité des stratégies de contrôle, notamment avec l'apparition dans le monde entier de souches plus agressives et virulentes, et l'accroissement des importations de tubercule de semences de l'étranger.

**APPENDICE A**  
**LISTE DES ABREVIATIONS ET DES SYMBOLES**

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources hydrauliques

**DSS**: decision support system

**FAO** : Food and Agriculture Organization of the United Nations

**h** : heure

**Ha** : Hectare

**HR** : Humidité Relative

**P** : Précipitations

***P.infestans*** : *Phytophthora infestans*

**T** : Température

**T- moy - j** : Température moyenne journalière

## **APPENDICE B**

### **MILIEU DE CULTURE**

#### **Milieu de Petits pois:**

- Autoclave (15 minutes 120 ° C) 120 g de petits pois surgelés dans 1 litre d'eau distillée.
- Filtré le bouillon de pois pour enlever tous les excès de liquide à partir de pois.
- Remplir le volume de bouillon à 1 litre.
- Pour agar agar pois ajouter 15 g à 1 bouillon de litre.
- Autoclave pendant 20 minutes 120 ° C.

#### **Eau agar**

- 15g agar / 1 litre d'eau distillée
- autoclave pendant 15 min 120 ° C.

#### **Milieu PDA (Potato Dextrose Agar)**

- Faire bouillir 200 g de pomme de terre
- Filtrer et récupérer le jus
- Mettre 20 g d'agar et 20 g de Glucose.
- Ajuster jusqu'à 1000 ml avec de l'eau distillée
- Stériliser 20 mn à 120°C

## APPENDICE C

### RELEVES CLIMATIQUES

Relèves climatiques de 2009 (ANRH, Khemis Miliana)

année	mois	jour	t_moy_j	hum_max_j	hum_min_j	pluviométrie
2009	1	1	103,00	92%	80%	1,1
2009	1	2	112,00	93%	75%	2,7
2009	1	3	110,00	94%	73%	10,8
2009	1	4	88,00	94%	73%	4,8
2009	1	5	82,00	94%	38%	1,4
2009	1	6	68,00	95%	78%	3,3
2009	1	7	73,00	94%	63%	2,1
2009	1	8	65,00	95%	43%	0
2009	1	9	54,00	96%	58%	2,4
2009	1	10	57,00	97%	33%	0
2009	1	11	75,00	93%	51%	0
2009	1	12	90,00	94%	63%	0
2009	1	13	96,00	92%	39%	11,1
2009	1	14	63,00	94%	70%	0
2009	1	15	77,00	92%	49%	1,2
2009	1	16	86,00	94%	40%	0
2009	1	17	82,00	96%	39%	0
2009	1	18	76,00	98%	57%	0
2009	1	19	86,00	97%	41%	0,9
2009	1	20	88,00	94%	66%	14,4
2009	1	21	45,00	94%	61%	4,1
2009	1	22	80,00	92%	57%	3,3
2009	1	23	102,00	93%	68%	3,5
2009	1	24	118,00	89%	53%	0
2009	1	25	108,00	89%	61%	5,2
2009	1	26	86,00	87%	42%	2,6
2009	1	27	92,00	91%	38%	1,8
2009	1	28	92,00	91%	78%	0
2009	1	29	103,00	94%	65%	0
2009	1	30	120,00	95%	41%	0
2009	1	31	88,00	91%	42%	2,4
2009	2	1	94,00	90%	43%	1,1
2009	2	2	138,00	91%	27%	4,2
2009	2	3	92,00	95%	52%	0
2009	2	4	116,00	94%	41%	0,5
2009	2	5	97,00	91%	57%	3,2
2009	2	6	95,00	92%	52%	1,5
2009	2	7	66,00	86%	37%	4,9

2009	2	8	87,00	89%	25%	0
2009	2	9	117,00	93%	47%	0
2009	2	10	122,00	95%	55%	0
2009	2	11	95,00	82%	28%	0
2009	2	12	94,00	95%	39%	0
2009	2	13	85,00	95%	41%	0
2009	2	14	93,00	97%	35%	0
2009	2	15	74,00	96%	38%	0
2009	2	16	82,00	95%	30%	0
2009	2	17	65,00	96%	31%	0
2009	2	18	77,00	97%	10%	0
2009	2	19	95,00	95%	8%	0
2009	2	20	94,00	96%	23%	0
2009	2	21	85,00	95%	35%	0
2009	2	22	79,00	95%	32%	0
2009	2	23	103,00	95%	21%	0
2009	2	24	95,00	96%	36%	0
2009	2	25	86,00	95%	30%	0
2009	2	26	100,00	96%	12%	0
2009	2	27	118,00	90%	12%	1
2009	2	28	113,00	95%	45%	2,5
2009	3	1	125,00	95%	48%	0
2009	3	2	140,00	93%	40%	0
2009	3	3	168,00	91%	20%	0,5
2009	3	4	108,00	94%	57%	15,6
2009	3	5	100,00	94%	22%	31
2009	3	6	102,00	94%	29%	11
2009	3	7	106,00	93%	35%	0
2009	3	8	137,00	95%	35%	0
2009	3	9	149,00	94%	47%	0
2009	3	10	150,00	93%	40%	0
2009	3	11	135,00	94%	28%	0
2009	3	12	123,00	93%	29%	0
2009	3	13	165,00	92%	15%	0
2009	3	14	193,00	91%	30%	0
2009	3	15	175,00	94%	20%	0
2009	3	16	147,00	95%	24%	0
2009	3	17	119,00	95%	68%	5,2
2009	3	18	117,00	94%	24%	0
2009	3	19	148,00	94%	16%	0
2009	3	20	136,00	93%	24%	0
2009	3	21	107,00	88%	18%	0
2009	3	22	90,00	95%	19%	0
2009	3	23	109,00	95%	0%	0
2009	3	24	157,00	85%	0%	0

2009	3	25	154,00	92%	6%	0
2009	3	26	183,00	88%	0%	0
2009	3	27	220,00	90%	22%	0
2009	3	28	190,00	92%	38%	4,2
2009	3	29	138,00	93%	48%	10,3
2009	3	30	100,00	93%	41%	2,5
2009	3	31	83,00	93%	62%	1,6
2009	4	1	89,00	93%	63%	1,6
2009	4	2	109,00	94%	64%	2
2009	4	3	89,00	94%	71%	6
2009	4	4	118,00	93%	39%	0
2009	4	5	145,00	92%	22%	0
2009	4	6	181,00	92%	16%	0
2009	4	7	126,00	94%	48%	4,1
2009	4	8	125,00	91%	22%	0
2009	4	9	121,00	94%	28%	0
2009	4	10	153,00	93%	30%	7,9
2009	4	11	102,00	94%	57%	5,1
2009	4	12	116,00	93%	24%	0
2009	4	13	100,00	93%	20%	0
2009	4	14	152,00	92%	21%	0
2009	4	15	168,00	93%	25%	0,5
2009	4	16	150,00	90%	20%	0
2009	4	17	137,00	90%	39%	0
2009	4	18	136,00	93%	51%	21,9
2009	4	19	118,00	93%	77%	23,1
2009	4	20	109,00	92%	41%	0
2009	4	21	125,00	93%	32%	1
2009	4	22	140,00	92%	33%	0
2009	4	23	157,00	92%	22%	0
2009	4	24	216,00	88%	4%	0
2009	4	25	220,00	91%	11%	0
2009	4	26	152,00	94%	31%	3,1
2009	4	27	135,00	90%	15%	0
2009	4	28	145,00	91%	30%	0
2009	4	29	155,00	94%	30%	0
2009	4	30	185,00	90%	23%	0
2009	5	1	140,00	94%	54%	1
2009	5	2	135,00	94%	36%	0
2009	5	3	165,00	94%	17%	0
2009	5	4	181,00	91%	0%	0
2009	5	5	182,00	91%	7%	0
2009	5	6	172,00	91%	31%	0
2009	5	7	207,00	84%	17%	0
2009	5	8	245,00	87%	0%	0

2009	5	9	246,00	91%	8%	0
2009	5	10	255,00	69%	0%	0
2009	5	11	259,00	92%	0%	0
2009	5	12	260,00	85%	0%	0
2009	5	13	198,00	92%	42%	4,1
2009	5	14	175,00	92%	60%	2
2009	5	15	155,00	90%	24%	0
2009	5	16	189,00	84%	7%	0
2009	5	17	245,00	90%	0%	0
2009	5	18	255,00	91%	3%	0
2009	5	19	274,00	85%	0%	0
2009	5	20	305,00	58%	0%	0
2009	5	21	307,00	81%	0%	0
2009	5	22	315,00	80%	0%	0
2009	5	23	325,00	78%	0%	0
2009	5	24	239,00	79%	13%	0
2009	5	25	232,00	82%	18%	0
2009	5	26	250,00	92%	22%	0
2009	5	27	216,00	94%	41%	2,6
2009	5	28	232,00	66%	0%	0
2009	5	29	270,00	75%	0%	0
2009	5	30	273,00	93%	16%	7,1
2009	5	31	255,50	91%	31%	0

### Relèves climatiques de 2010 (ANRH, Khemis Miliana)

année	mois	jour	t_moy_j	hum_max_j	hum_min_j	Pluviométrie (mm)
2010	1	1	130,00	88%	62%	0
2010	1	2	121,00	91%	37%	0
2010	1	3	12,50	90%	28%	0
2010	1	4	14,50	91%	35%	0,5
2010	1	5	137,00	89%	44%	1,9
2010	1	6	116,00	93%	59%	0
2010	1	7	128,00	88%	27%	0,4
2010	1	8	61,00	94%	52%	7,6
2010	1	9	55,00	92%	29%	3
2010	1	10	83,00	94%	34%	0,5
2010	1	11	131,00	91%	57%	13,5
2010	1	12	147,00	90%	41%	13,2
2010	1	13	147,00	90%	50%	13,6
2010	1	14	139,00	79%	45%	0,9
2010	1	15	98,00	91%	39%	0
2010	1	16	93,00	93%	42%	0
2010	1	17	119,00	92%	29%	0

2010	1	18	127,00	91%	29%	0
2010	1	19	140,00	89%	40%	0
2010	1	20	140,00	89%	40%	0
2010	1	21	124,00	92%	43%	0
2010	1	22	121,00	93%	31%	0
2010	1	23	119,00	91%	41%	0
2010	1	24	115,00	89%	58%	2
2010	1	25	136,00	88%	37%	0
2010	1	26	126,00	90%	57%	7,8
2010	1	27	89,00	90%	52%	0
2010	1	28	103,00	92%	69%	0,6
2010	1	29	108,00	100	58%	1,1
2010	1	30	125,00	84%	37%	1
2010	1	31	11,50	90%	66%	0
2010	2	1	75,00	94%	25%	0
2010	2	2	70,00	94%	22%	0
2010	2	3	120,00	82%	28%	0
2010	2	4	163,00	88%	41%	0
2010	2	5	162,00	89%	46%	0,5
2010	2	6	135,00	92%	43%	0
2010	2	7	115,00	93%	36%	0
2010	2	8	109,00	91%	66%	10,3
2010	2	9	118,00	92%	46%	22,6
2010	2	10	119,00	91%	47%	23,6
2010	2	11	73,00	90%	64%	2,5
2010	2	12	76,00	91%	38%	15
2010	2	13	82,00	90%	81%	3,1
2010	2	14	94,00	90%	45%	0,7
2010	2	15	112,00	91%	53%	10,5
2010	2	16	153,00	90%	38%	0
2010	2	17	136,00	90%	36%	0
2010	2	18	148,00	90%	36%	1,2
2010	2	19	123,00	91%	52%	10,6
2010	2	20	98,00	93%	51%	0,5
2010	2	21	103,00	91%	57%	3,5
2010	2	22	157,00	92%	29%	0
2010	2	23	155,00	90%	50%	0
2010	2	24	141,00	90%	35%	0
2010	2	25	147,00	91%	31%	0
2010	2	26	175,00	91%	41%	0
2010	2	27	200,00	90%	6%	0
2010	2	28	180,00	91%	46%	1,3
2010	3	1	147,00	87%	34%	0
2010	3	2	167,00	91%	7%	0,5

2010	3	3	150,00	89%	39%	0
2010	3	4	137,00	92%	53%	0
2010	3	5	144,00	92%	32%	0,8
2010	3	6	135,00	91%	71%	8,8
2010	3	7	120,00	90%	53%	5,5
2010	3	8	117,00	89%	58%	26,7
2010	3	9	66,00	90%	71%	2,1
2010	3	10	83,00	93%	51%	1,7
2010	3	11	93,00	92%	42%	3,5
2010	3	12	97,00	92%	77%	6,2
2010	3	13	90,00	91%	66%	0
2010	3	14	77,00	92%	45%	0,6
2010	3	15	90,00	92%	28%	0
2010	3	16	115,00	91%	8%	0
2010	3	17	153,00	88%	9%	0
2010	3	18	176,00	80%	2%	0
2010	3	19	179,00	86%	20%	0
2010	3	20	206,00	87%	19%	0
2010	3	21	193,00	91%	7%	0
2010	3	22	151,00	90%	56%	0
2010	3	23	166,50	93%	28%	0
2010	3	24	195,00	90%	13%	0
2010	3	25	177,00	90%	37%	0
2010	3	26	180,00	90%	32%	0
2010	3	27	157,00	92%	38%	0
2010	3	28	175,00	93%	6%	0
2010	3	29	190,00	91%	16%	0
2010	3	30	155,00	84%	35%	0
2010	3	31	144,00	92%	27%	0
2010	4	1	129,00	93%	35%	0
2010	4	2	150,00	92%	12%	0
2010	4	3	189,00	90%	8%	0
2010	4	4	152,00	88%	25%	0
2010	4	5	149,00	77%	21%	0
2010	4	6	194,00	91%	25%	0
2010	4	7	147,00	91%	67%	0
2010	4	8	109,00	92%	39%	0
2010	4	9	109,00	92%	39%	0
2010	4	10	161,00	90%	25%	0
2010	4	11	181,00	91%	30%	2
2010	4	12	174,00	90%	43%	0
2010	4	13	182,00	90%	22%	0
2010	4	14	195,00	90%	42%	0
2010	4	15	165,00	89%	53%	0
2010	4	16	175,00	90%	41%	0

2010	4	17	183,00	90%	29%	0
2010	4	18	155,00	90%	37%	0
2010	4	19	174,00	90%	62%	0
2010	4	20	200,00	89%	13%	0
2010	4	21	225,00	88%	14%	18,2
2010	4	22	176,00	88%	70%	1,6
2010	4	23	169,00	90%	45%	0
2010	4	24	198,00	90%	16%	0
2010	4	25	204,00	88%	50%	0
2010	4	26	200,00	87%	13%	0
2010	4	27	211,00	86%	0%	0
2010	4	28	192,00	84%	50%	0
2010	4	29	217,00	84%	0%	0
2010	4	30	243,00	89%	0%	0
2010	5	1	221,00	89%	17%	0
2010	5	2	221,00	90%	15%	0
2010	5	3	145,00	90%	32%	2
2010	5	4	128,00	87%	28%	0,4
2010	5	5	121,00	89%	18%	0
2010	5	6	162,00	90%	0%	0,5
2010	5	7	171,00	91%	0%	2,2
2010	5	8	190,00	85%	80%	0
2010	5	9	248,00	79%	0%	0
2010	5	10	220,00	89%	10%	0,5
2010	5	11	217,00	84%	15%	0,6
2010	5	12	175,00	89%	27%	0
2010	5	13	167,00	92%	41%	1
2010	5	14	136,00	91%	47%	13,3
2010	5	15	153,00	90%	38%	2,1
2010	5	16	176,00	91%	84%	0
2010	5	17	175,00	88%	4%	0
2010	5	18	204,00	85%	0%	0
2010	5	19	224,00	82%	0%	0
2010	5	20	193,00	71%	0%	0
2010	5	21	235,00	76%	0%	0
2010	5	22	225,00	91%	0%	0
2010	5	23	203,00	90%	20%	0
2010	5	24	220,00	78%	0%	0
2010	5	25	279,00	85%	0%	0
2010	5	26	275,00	83%	0%	0
2010	5	27	236,00	83%	32%	0,7
2010	5	28	206,00	88%	43%	0
2010	5	29	187,00	90%	38%	0
2010	5	30	228,00	74%	70%	0
2010	5	31	263,00	63%	0%	0

### Relèves climatiques de 2011(ANRH, Khemis Miliana)

année	mois	jour	t moy j	hum_max j	hum_min j	pluviométrie
2011	1	1	101,00	90%	83%	16,6
2011	1	2	105,00	89%	69%	0,5
2011	1	3	101,00	89%	48%	0,0
2011	1	4	83,00	90%	62%	0,0
2011	1	5	96,00	89%	44%	0,0
2011	1	6	126,00	87%	38%	0,0
2011	1	7	120,00	84%	31%	0,0
2011	1	8	125,00	80%	31%	0,0
2011	1	9	139,00	88%	29%	0,0
2011	1	10	102,00	90%	52%	0,0
2011	1	11	100,00	89%	73%	0,0
2011	1	12	119,00	89%	48%	0,0
2011	1	13	97,00	91%	48%	0,0
2011	1	14	123,00	91%	30%	0,6
2011	1	15	140,00	90%	30%	0,0
2011	1	16	153,00	89%	24%	0,0
2011	1	17	121,00	91%	81%	0,0
2011	1	18	111,00	89%	70%	0,0
2011	1	19	126,00	90%	56%	0,0
2011	1	20	93,00	89%	73%	2,5
2011	1	21	41,00	90%	76%	1,0
2011	1	22	53,00	90%	42%	0,5
2011	1	23	72,00	91%	66%	2,6
2011	1	24	93,00	88%	44%	0,0
2011	1	25	93,00	93%	59%	0,0
2011	1	26	105,00	87%	53%	20,7
2011	1	27	99,00	87%	58%	0,0
2011	1	28	110,00	87%	42%	0,0
2011	1	29	96,00	85%	47%	0,6
2011	1	30	118,00	91%	46%	2,7
2011	1	31	82,00	89%	70%	7,2
2011	2	1	74,00	90%	73%	20,2
2011	2	2	85,00	89%	47%	1,0
2011	2	3	93,00	90%	38%	0,6
2011	2	4	95,00	91%	51%	0,0
2011	2	5	90,00	90%	38%	0,0
2011	2	6	95,00	91%	19%	0,0
2011	2	7	107,00	90%	10%	0,0
2011	2	8	97,00	90%	48%	0,0
2011	2	9	105,00	90%	19%	0,0
2011	2	10	110,00	89%	7%	0,0
2011	2	11	117,00	89%	8%	0,0

2011	2	12	89,00	90%	53%	0,0
2011	2	13	103,00	91%	30%	1,2
2011	2	14	105,00	88%	19%	2,6
2011	2	15	127,00	88%	35%	5,5
2011	2	16	131,00	86%	37%	9,6
2011	2	17	113,00	87%	57%	11,6
2011	2	18	118,00	90%	38%	0,0
2011	2	19	106,00	89%	50%	0,0
2011	2	20	125,00	88%	72%	2,7
2011	2	21	133,00	84%	38%	1,0
2011	2	22	146,00	88%	65%	0,0
2011	2	23	112,00	90%	45%	0,0
2011	2	24	114,00	90%	25%	0,0
2011	2	25	105,00	90%	47%	0,0
2011	2	26	125,00	90%	40%	0,0
2011	2	27	113,00	90%	46%	3,5
2011	2	28	99,00	90%	26%	7,6
2011	3	1	75,00	89%	70%	9,0
2011	3	2	80,00	89%	32%	0,0
2011	3	3	85,00	90%	20%	0,0
2011	3	4	86,00	91%	11%	0,0
2011	3	5	119,00	90%	10%	0,0
2011	3	6	135,00	79%	27%	0,0
2011	3	7	160,00	67%	0%	0,0
2011	3	8	158,00	81%	41%	0,0
2011	3	9	158,00	81%	41%	0,0
2011	3	10	155,00	89%	35%	0,0
2011	3	11	183,00	90%	21%	2,7
2011	3	12	139,00	88%	48%	3,6
2011	3	13	158,00	86%	40%	0,0
2011	3	14	203,00	83%	6%	0,0
2011	3	15	145,00	88%	51%	2,5
2011	3	16	135,00	79%	41%	0,0
2011	3	17	135,00	88%	54%	0,0
2011	3	18	127,00	90%	38%	0,0
2011	3	19	136,00	91%	29%	0,0
2011	3	20	134,00	90%	16%	0,0
2011	3	21	125,00	87%	30%	0,0
2011	3	22	133,00	84%	27%	0,4
2011	3	23	181,00	66%	16%	0,0
2011	3	24	175,00	89%	23%	3,5
2011	3	25	165,00	88%	32%	0,0
2011	3	26	179,00	90%	12%	0,0
2011	3	27	169,00	89%	33%	0,0
2011	3	28	153,00	90%	39%	0,0

2011	3	29	148,00	88%	42%	0,0
2011	3	30	155,00	90%	25%	0,0
2011	3	31	157,00	88%	24%	0,0
2011	4	1	174,00	86%	10%	
2011	4	2	215,00	85%	2%	
2011	4	3	224,00	89%	0%	
2011	4	4	192,00	86%	16%	
2011	4	5	202,00	86%	17%	
2011	4	6	220,00	80%	0%	
2011	4	7	206,00	85%	0%	0
2011	4	8	207,00	87%	0%	0
2011	4	9	215,00	85%	0%	0
2011	4	10	193,00	88%	11%	0
2011	4	11	157,00	88%	42%	1
2011	4	12	146,00	88%	38%	0
2011	4	13	146,00	88%	38%	0
2011	4	14	205,00	85%	0%	0
2011	4	15	183,00	87%	9%	0
2011	4	16	147,00	86%	15%	0
2011	4	17	171,00	87%	4%	0
2011	4	18	203,00	88%	14%	0
2011	4	19	166,00	88%	42%	0
2011	4	20	210,00	86%	12%	0
2011	4	21	193,00	85%	48%	0
2011	4	22	150,00	88%	30%	6,5
2011	4	23	160,00	86%	27%	6,7
2011	4	24	150,00	88%	62%	5,5
2011	4	25	141,00	87%	71%	2,5
2011	4	26	125,00	87%	47%	0
2011	4	27	164,00	87%	20%	0
2011	4	28	213,00	84%	8%	0
2011	4	29	204,00	88%	3%	20,1
2011	4	30	132,00	87%	59%	4,6
2011	5	1	170,00	87%	15%	0,7
2011	5	2	140,00	88%	65%	5,7
2011	5	3	149,00	87%	62%	0,6
2011	5	4	177,00	85%	19%	0,0
2011	5	5	205,00	87%	10%	0,6
2011	5	6	255,00	63%	0%	0
2011	5	7	238,00	86%	0%	1
2011	5	8	196,00	88%	17%	0
2011	5	9	209,00	87%	12%	0
2011	5	10	225,00	87%	32%	0
2011	5	11	259,50	83%	0%	0
2011	5	12	232,00	82%	0%	0

2011	5	13	257,00	81%	0%	0
2011	5	14	243,00	88%	0%	0
2011	5	15	182,00	87%	42%	0
2011	5	16	202,00	77%	11%	0
2011	5	17	177,00	89%	56%	1,9
2011	5	18	207,00	88%	31%	7,1
2011	5	19	188,00	86%	53%	30,5
2011	5	20	172,00	87%	53%	10,9
2011	5	21	166,00	86%	70%	3
2011	5	22	180,00	88%	47%	0
2011	5	23	188,00	86%	29%	0
2011	5	24	205,00	85%	4%	0
2011	5	25	223,00	87%	0%	0
2011	5	26	250,00	79%	0%	0
2011	5	27	243,00	88%	16%	0
2011	5	28	257,00	89%	10%	0
2011	5	29	283,00	87%	0%	1,1
2011	5	30	280,00	83%	0%	0
2011	5	31	237,00	89%	33%	0

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Johnson, D. A., Cummings, T. F. & Hamm, P. B. 2000. Cost of fungicides used to manage potato late blight in the Columbia Basin: 1996 to 1998. *Plant Disease*, 84, 399-402.
2. Hermansen A, Amundsen T, 1996. Late blight warning in Norway. In: Bouma E, Schepers H, eds. *Proceedings of the Workshop on the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight*. PAV-Special Report No. 1, January 1997. 79–84.
3. Hijmans RJ, Forbes GA, Walker TS, 2000. Estimating the global severity of potato late blight with GIS-linked disease forecast models. *Plant Pathology* 49, 697–705.
4. Duncan, J. M. 1999. Phytophthora – an abiding threat to our crops. *Microbiology Today*, 26, 114-116.
5. Birch PRJ, Whisson S. 2001. *Phytophthora infestans* enters the genomics era. *Molecular Plant Pathology* 2: 257–263.
6. Haverkort, A. J., Boonekamp, P. M., Hutten, R., Jacobsen, E., Lotz, L. A. P., Kessel, G. J. T., Visser, R. G. F. & Van Der Vossen, E. A. G. 2008. Societal costs of late blight in potato and prospects of durable resistance through cisgenic modification. *Potato Research*, 51, 47-57.
7. Large, E.C. (1959a) The battle against blight. *Agriculture*, 65, 603-608.
8. Minogue, K.P., Fry, W.E., 1981. Effect of temperature, relative humidity and rehydration rate on germination of dried sporangia of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 71, 1181–1184.
9. Mizubuti, E. S. G., Aylor, D. E. & Fry, W. E. 2000. Survival of *Phytophthora infestans* Sporangia Exposed to Solar Radiation. *Phytopathology*, 90, 78-84.
10. Sunseri, M.A., Johnson, D.A., Dasgupta, N., 2002. Survival of detached sporangia of *Phytophthora infestans* exposed to ambient, relatively dry atmospheric conditions. *Am. J. Potato Res.* 79, 443–450.
11. Hyre, R. A. 1950. Spore traps as an aid in forecasting several downy mildew type diseases. *Plant Dis. Rep. (Suppl.)* 190:14-18.

12. Van Der Zaag, D.E. 1956 Overwintering en epidemiologie van *Phytophthora infestans*, tevens enigenieuwe bestrijdingsmogelijkheden. *Tijdschrift Over Plantenziekten*, 62, 89-156.
13. Zwankhuizen, M. J. 1998. Potato late blight epidemics and population structure of *Phytophthora infestans*. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Netherlands. 147 pp.
14. Drenth, A., Janssen, E.M. and Govers, F. (1995) Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. *Plant Pathology*, 44, 86-94.
15. Turkensteen, L. J., Flier, W. G., Wannings, R. & Mulder, A. 2000. Production, survival and infectivity of oospores of *Phytophthora infestans*. *Plant Pathology*, 49, 688-696.
16. Bouma, E. 2007. Computer aids for plant protection, historical perspective and future developments. *EPPO Bulletin*, 37, 247-254.
17. Smith, L. P. 1956. Potato blight forecasting by 90% humidity criteria. *Plant Pathology*, 5, 83-87.
18. Ullrich J. and Schrodter H., 1966. Das problem der vorhersage des aufretens der kartoffelkrautfaulen ((*Phytophthora infestans*) und die möglichkeit seiner losung durch eine negativprognose. Nachrichtenblatt Dt. Pflanzenschutzdienst (Braunschweig) 18:33-40.
19. Krause, R. A., Massie, L. B. & Hyre, R. A. 1975. Blitecast: a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease*, 59, 95-98.
20. Hansen, J. G., Andersson, B. & Hermansen, A. 1995. NEGFY – A system for scheduling chemical control of late blight in potatoes, in *In: Dowley, L. J., Bannon, E., Cooke, L. R., Keane, T. & O'sullivan, E. (eds.) Phytophthora infestans 150*. Dublin: EAPR.
21. Hansen J. G., Andersson, B., and Hermansen, A. 1995. NEGFY—A system for scheduling chemical control of late blight in potatoes. Pages 201-208 in: *Phytophthora 150*. L. J. Donley, ed. Boole Press, Ltd. Dublin..
22. Hadders, J., 1999. Experiences with Plant-Plus in 1998. In: Schepers, H., Bouma, E. (Eds.), *Proceedings of the Workshop on the European Network for*

Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight, Uppsala, Sweden. PAV Special Report no. 5, pp. 94–200.

23. Nugteren, W., 2004. ProPhy advice in the Netherlands: what's new? In: Westerdijk, C.E., Schepers, H.T.A.M. (Eds.), Proceedings of the Eighth Workshop of an European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight, Jersey, England-France. PAV Special Report no. 10, pp. 27–34.
24. Bruhn, J. A. and Fry, W. E. 1981. Analysis of potato late blight epidemiology by simulation modelling. *Phytopathology* 71: 597-601
25. Shtienberg, D., M. Doster, J. Pelletier, and W. Fry. 1989. Use simulation models to develop a low-risk strategy to suppress early and late blight in potato foliage. *Phytopathology* 79(5): 590–595.
26. Wiik, L. 2002. Fungicide strategies against late blight in Sweden. GILB'02 CONFERENCE: late blight managing the global threat. ABSTRACT. 11–13 July. Hamburg, Germany.
27. Bugiani, R., T. Govini, T. Cavanni, and P. Ponti. 1996. Aerobiological network as a part of Warning systems for plants protection in Emilia-Romagna, Italy. 1<sup>o</sup> Simposio Europeo de Aerobiologia (pp. 154–155). Santiago de Compostela.
28. Fry, W.E. 1998. Late blight of potatoes and tomatoes. Ithaca: Department of Plant Pathology, NYS College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University.
29. Díaz, M.R., I. Iglesias, and V. Jato. 1998. Seasonal variation of airborne fungal spore concentrations in a vineyard of North–West Spain. *Aerobiologia* 14: 221–227.
30. Johnson, D., R. Alldredge, and P. Hamm. 1998. Expansion of potato late blight forecasting models for the Columbia basin of Washington and Oregon. *Plant Disease* 82(6): 642–645
31. Gudmestad, N. 2003. Forecasting late blight and fungicide application technology. Potato Late Blight Workshop. APS net- The American Phytopathological Society.

<http://www.apsnet.org/online/feature/lateblit/workshop/papers/lb005.htm>.

Accessed 2 February 2009.

32. Anonyme, 2008. Année internationale de la pomme de terre [www.Potatoe2008.org/fr/index.html](http://www.Potatoe2008.org/fr/index.html).
33. Schwartzmann, M, 2010; Potato – a world production, a European business. Proceedings of the Twelfth Workshop of an European Network for development of an Integrated Control Strategy of potato late blight. Arras France, 3-6 May 2010. *PPO-Special Report no. 14 (2010), 11 - 16.*
34. Alexopoulos, C.J., Mims, C.W and Blackwell, M 1997. Introductory Mycology. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA. pp154.
35. Schumann, G.L. and C. J. D'Arcy. 2005.. Late blight of potato and tomato. <http://www.apsnet.org/Education/lessonsPlantPath/lateblight/text.htm>.
36. Gaucher, D .1998. Maladie de la pomme de terre. Collection ITCF-ITPT. 48p.
37. Rossman, A.Y. and Palm, M.E. 2006. Why are Phytophthora and other Oomycota not true Fungi. <http://www.apsnet.org/Education/lessonsPlantPath/lateblight/text.htm>.
38. Lepoivre, P. 2003. Phytopathologie. 119 p. De Boeck, Bruxelles.
39. Thurston, H. D., Schltz, O. 1981. Late blight in compendium of potato disease. Hooker Eds. APS Press Michigan (USA). pp 40-42.
40. Weingartner, P. 1997. Identification of Late Blight and *Phytophthora infestans*. <http://www.apsnet.org/online/proceedings/lateblite.htm>.
41. Judelson, H. S. 1997. The genetics and biology of *Phytophthora infestans*: Modern approaches to a historical challenge. *Fungal Genetics and Biology*, 22, 65-76.
42. Fry, W. 2008. *Phytophthora infestans*: The plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology*, 9, 385-402.
43. Mizubuti, E. S. G. & Fry, W. E. 2006. Potato late blight. In: COOKE, B. M., GARETH JONES, D. & KAYE, B. (eds.) *The Epidemiology of Plant Diseases*. Springer Netherlands.

44. Rappily, F. 1991. l'épidémiologie en pathologie végétal. Mycoses aériennes. I.N.R.A., Versailles 317p.
45. Mizubuti, E.S.G., Fry, W.E., 1998. Temperature effects on the developmental stages of isolates from three clonal lineages of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 88, 837–843.
46. Harisson, J.G. 1992. Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage—a review. *Plant Pathol.* 41, 384–416.
47. Gennetas, J. 1984. Agrométéorologie et protection des végétaux. *Phytoma*. Défense des végétaux. Dec.1984.17-19.
48. Rotem, J., Cohen, Y. et Putter, J. 1971. Relativity of limiting and optimum inoculum loads, Wetting durations and temperatures for infection by *Phytophthora infestans*. *Phytopathologie* 61 : 275-278.
49. Lapwood, D.H. 1968. Observation on the infection of potato leaves by *Phytophthora infestans*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 51 :233-240.
50. Hartill, W.F.T., Young, K., Allan, D.J., Henshall, W.R., 1990. Effects of temperature and leaf wetness on the potato late blight. *N. Z. J. Crop Hort. Sci.* 18, 181–184.
51. Sato, N., 1994. Effect of sporulating temperature on the limit temperature in indirect germination of the sporangia of *Phytophthora infestans*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 60, 60–65.
52. Minogue, K.P., Fry, W.E., 1981. Effect of temperature, relative humidity and rehydration rate on germination of dried sporangia of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 71, 1181–1184.
53. 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.
54. Romero, S. et Erwin, D.C. 1969. Variation in pathogenicity among single oospore culture of *Phytophthora infestans*. *Phytopathologie* 59 : 1310-1317.

55. Louvet, J. 1971. Les maladies des plants. Mode de development et method de lute. I.N.R.A.
56. Schwinn, F. J. 1983. Ergosterol biosynthesis inhibitors. An overview of their history and contribution to medicine and agriculture. *Pestic. Sci* 15:40–47.
57. Deahl, K. 1997. Life History of the Fungus <http://www.apsnet.org/online/proceedings/lateblite.htm>.
58. Paitier, G. 1980. Le mildiou de la pomme de terre. *Phytoma*, Avril 1980, p: 23-27.
59. Gregory, D. S. 1983. Some major epidemics caused by *Phytophthora*. 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. p. 9-40.
60. Davidse, L. C., Daniel, D. L., and Van Westen, C. J. 1983. Resistance to metalaxyl in *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 89 : 1-20.
61. Olanya et al., 2009 O.M. Olanya, P.S. Ojiambo, R.O. Nyankanga, C.W. Honeycutt and W.W. Kirk, Recent developments in managing tuber blight (*Solanum tuberosum*) caused by *Phytophthora infestans*. *Can. J. Plant Pathol.*, **31** (2009), pp. 280–289.
62. Andrivon, D. 1994. Dynamics of the survival and infectivity to potato tubers of sporangia of *Phytophthora infestans* in three different soils. *Soil Biol. Biochem.* 26:945-952.
63. Bogulavskaya, N. V., and Fillipov, A. 1977. Survival rates of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in different soils. (In Russian) *Mikol. Fitopatol.* 11:239-241.
64. Sato, N. 1980. Sources of inoculum and sites of infection of potato tubers by *Phytophthora infestans* in soil. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 46:231-240.
65. Ko, W. H. 1988. Hormonal heterothallism and homothallism in *Phytophthora*. *Annual Review of Phytopathology* 26 : 57-73.

66. Shaw, D. S. 1987. The breeding system of *Phytophthora infestans* : the role of the A2 mating type. In Genetics and Plant Pathogenesis. Day, P. R., and Jellis, G. J. Eds, Boston, Blackwell Scientific Publications, 161-174.
67. Drenth, A., Turkensteen, L. J. and Govers, F. 1993. The Occurrence of the A2 Mating Type of *Phytophthora infestans* in the Netherlands; Significance and consequences. Netherlands Journal of Plant Pathology 99: 57-67.
68. Pittis, J. E., and Shattock, R. C. 1994. Viability, germination and infection potential of oospores of *Phytophthora infestans*. Plant Pathol. 43:387-396.
69. Agrios, G. N. 2006. *Plant pathology*, pp. 421-426. Amsterdam [etc.], Elsevier Academic Press.
70. Fry, W. E. & Smart, C. D. 1999. The return of *Phytophthora infestans*, a potato pathogen that just won't quit. *Potato Research*, 42, 279-282.
71. Pieterse, C. M. J., Dewit, P. J. G. M., and Govers, F. P. M. 1992. Molecular aspects of the potato - *Phytophthora infestans* interaction. Netherlands Journal of Plant Pathology 98 :85-92.
72. Schôber, B., and Turkensteen, L. J. 1992. Recent and future developments in potato fungal pathology. Netherlands Journal of Plant Pathology 98 : 73-83.
73. Damme, M. V., Schornack, S., Cano, L. M., Huitema, E. & Kamoun, S. 2009. Interactions between *Phytophthora infestans* and *Solanum*. In: LAMOUR, K. & KAMOUN, S. (eds.) *Oomycete Genetics and Genomics*. Oxford [etc.]: Wiley-Blackwell.
74. Van Oigen, M. 1991. Identification of the major characteristics of potato cultivars which affect yield loss caused by late blight. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University. pp116.
75. Haverkort, A., Struik, P., Visser, R. & Jacobsen, E. 2009. Applied Biotechnology to Combat Late Blight in Potato Caused by *Phytophthora Infestans*. *Potato Research*, 52, 249-264.
76. Bain RA (2010) Report of the fungicide subgroup meeting on 5 May 2010: discussion of potato blight fungicides, their properties and ratings. In: Schepers HTAM (ed) Proceedings of the twelfth EuroBlight workshop. PPO special report no 14, pp 117–123.

77. Garthwaite, D.G., Thomas, M.R., Dawson, A. and Stoddart, H. (2002) Arable farm crops in Great Britain. *Pesticide usage survey report*, 187. UK: Defra & SEERAD.
78. Large, E.C. (1952) The interpretation of progress curves for potato blight and other plant diseases. *Plant Pathology*, 1, 109-117.
79. Nelson, E.C. (1995) The cause of the calamity: the discovery of the potato blight in Ireland, 1845-1847, and the role of the National Botanic Gardens, Glasnevin, Dublin, in *Phytophthora infestans 150* (eds L.J. Dowley, E. Bannon, L.R Cooke, T. Keane and E. O'Sullivan). EAPR, Dublin, pp. 1-11.
80. Hardwick, N. V. 2006. Disease forecasting. In: COOKE B. M., GARETH JONES D. & B. KAYE (eds.) *The Epidemiology of Plant Diseases* Springer Netherlands.
81. Everdingen, E. van. (1926) Het verband tusschen de weersgesteldheid en de aardappelziekte (*P. infestans*). *Tijdschr. Plantenziekten*. 32, 129-140.
82. Bourke, P.M.A. (1953) *Potato blight and the weather, a fresh approach*. Department of Industry and Commerce Meteorological Service, Dublin. Technical Note No. 12.
83. Beaumont, A. (1947) The dependence on the weather of the dates of potato blight epidemics. *Transactions of the British Mycological Society*, 31, 45-53.
84. Crosier, W. 1934. *Studies in the biology of Phytophthora infestans (Mont.) de Bary*, Ithaca, Cornell University.
85. Smith, L.P. (1956) Potato blight forecasting by 90% humidity criteria. *Plant Pathology*, 5, 83-87.
86. Barrie, I.A. and Bradshaw, N.J. (2001) Blight watch – a spatially interpolated system for the calculation of Smith-periods in the UK, in *Proceedings of the workshop on the European network for development of an integrated control strategy of potato late blight, 2001* (eds. Schepers H.T.A.M., Westerdijk, C.E.). Edinburgh, Scotland. PAV Report No. 8, 169-181.
87. **Schrödter, H. and Ullrich, J. (1967)** Eine mathematisch-statistische Lösung des Problems der Prognose von Epidemien mit Hilfe meteorologischer Parameter, dargestellt am Beispiel der Kartoffelkrautfäule (*Phytophthora infestans*). *Agricultural Meteorology*, 4, 119-135.

88. Hyre, R.A. (1954) Progress in forecasting late blight of potato and tomato. *Plant Disease Reporter*, 38, 245-253.
89. Fohner, G.R., Fry, W.E. and White, G.B. (1984) Computer simulation raises question about timing protectant fungicide application frequency according to a potato late blight forecast. *Phytopathology*, 74, 1145-1147.
90. Wallin, J.R. (1962) Summary of recent progress in predicting late blight epidemics in the United States and Canada. *American Potato Journal*, 39, 306-312.
91. Sparks, W.R. (1984) The use of 'critical' weather periods in the prediction of potato blight outbreaks. *Agricultural Memorandum* No. 1020, Meteorological Office, Bracknell, UK.
92. Keane, T. (1995) Potato blight warning practice in Ireland, in *Phytophthora infestans 150* (eds L.J. Dowley, E. Bannon, L.R Cooke, T. Keane and E. O'Sullivan). EAPR, Dublin., pp. 191-200.
93. Magarey, R. D., Travis, J. W., Russo, J. M., Seem, R. C. & Magarey, P. A. 2002. Decision Support Systems: Quenching the thirst. *Plant Disease*, 86, 4-14.
94. Hansen JG, Kleinhenz B, Jörg E, Wander JGN, Spits HG, Dowley LJ, Rauscher E, Michelante D, Dubois L, Steenblock T (2002) Results of validation trials of Phytophthora DSSs in Europe 2001. In: Schepers HTAM, Westerdijk CE (eds) Proceedings of the sixth workshop on the European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. PPO special report no 8, pp 231–242
95. De Wolf, E. D. & Isard, S. A. 2007. Disease cycle approach to plant disease prediction. *Annual Review of Phytopathology*, 45, 203-220.
96. Cruickshank, G., Stewart, H. E., and Wastie, R. L. 1982. An Illustrated Assessment Key for Foliage Blight of Potatoes. *Potato Res.* 25:213-214.
97. James, C. 1971. *A manual of assessment keys for plant diseases.* Canada Department of Agriculture. Publication No. 1458.
98. Hims, M.J., Taylor, M.C., Leach, R.F. *et al.* (1995) Field testing of blight risk prediction models by remote data collection using cellphone analogue networks,

in *Phytophthora infestans* 150 (eds L.J. Dowley, E. Bannon, L.R Cooke, T. Keane and E. O'Sullivan). EAPR, Dublin, pp. 220-225.

99. Fry, W. E., Apple, A. E., Bruhn, J. A. & 1983. Evaluation of potato late blight forecasts modified to incorporate host resistance and fungicide weathering. *Phytopathology*, 73, 1054–1059.
100. Boccas, B. 1978. La reproduction sexuelle chez les *phytophthora*. Thèse de Doctorat d'État ès-Sciences naturelle. Université de Paris-sud ORSAY. P :23-24
101. Cooke L R, Schepers HTAM, Hermansen A, Bain R A, Bradshaw N J, Ritchie F, Shaw D S, Evenhuis A, Kessel G J T , Wander J G N , Andersson B , Hansen J G , Hannukkala A , Nærstad R , Nielsen B J (2011) Epidemiology and Integrated Control of Potato Late Blight in Europe. *Potato Research* 54:183–222
102. Cambell, C.E. and Madden, L.V. (1990) *Introduction to plant disease epidemiology*. John Wiley & Sons Inc., New York.
103. Bradshaw, N. J., S. J. Elcock, J. A. Turner, and N. V. Hardwick. 2000. Are potato blight fungicides being used rationally? Proceedings British Crop Protection Council Conference.
104. Doster, M.A., Fry, W.E., 1991. Evaluation by computer simulation of strategies to time metalaxyl applications for improved control of potato late blight. *Crop Prot.* 10, 209–214.
105. Coakley, S.M., 1988. Variation in climate and prediction of disease in plants. *Annu.Rev.Phytopathol.* 26, 163–181.
106. Hardwick, N.V., Taylor, M.C., Leach, R.F., Bradshaw, N.J., 2000. Comparison of Smith Periods recorded in the field with those from synoptic stations for the forecasting of potato late blight caused by *Phytophthora infestans*. In: Schepers, H.T.A.M. (Ed.), Proceedings of the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight—PAV Special Report No. 6. Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables, Lelystad, pp.287–294.
107. Zadoks, J. C. 1984. A quarter century of disease warning, 1958-1983. *Plant Disease*, 68, 352-355.

108. Batista, D.C., M.A. Lima, F. Haddad, L.A. Maffia, and E.S.G. Mizubuti. 2006. Validation of decision support systems for tomato early blight and potato late blight, under Brazilian conditions. *Crop Protection* 25: 664–670.
109. Hinds, H., Mitchell, L., 1999. Potato late blight forecasting— commercial use of Plant-plus in the UK in 1998. In: Schepers, H.T.A.M., Bouma, E. (Eds.), *Proceedings of the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight—PAV Special Report No.5. Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables*, Lelystad, pp.103–114 .
110. Fry, W.E., Goodwin, S.B., Matuszak, J.M., Spielman, L.J., Milgroom, M.G., 1992. Population genetics and intercontinental migrations of *Phytophthora infestans*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 30, 107–129.
111. Turkensteen LJ, Mulder A (1999) De aardappelziekte *Phytophthora infestans*. *Gewasbescherming* 30(4):106–112
112. Hansen JG, Nielsen BJ, Bødker L, Andersson B, Yuen J, Wiik L, Hermansen A, Nærstad R, Le VH, Brurberg MB, Hannukkala A, Lehtinen A (2006) Blight management in the Nordic countries. In: Westerdijk CE, Schepers HTAM (eds) *Proceedings of the ninth workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight*. PPO special report no 11, pp 39–52
113. Nielsen BJ, Hansen JG, Pinnschmidt H, Nærstad R, Hermansen A, Le VH, Hannukkala A (2007) Release and viability of spores of potato late blight (*Phytophthora infestans*) under field conditions. In: Schepers HTAM (ed) *Proceedings of the tenth workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight*. PPO special report no. 12, pp 211–219
114. Hansen JG, Lassen P, Röhrig M (2001) Monitoring of potato late blight based on collaborative PC- and Internet applications. In: Westerdijk CE, Schepers HTAM (eds) *Proceedings of the fifth workshop on the European network for development of an integrated control strategy of potato late blight*. PAV special report no 7, pp 39–54

115. Sujkowski, L. S., Goodwin, S. B., Dyer, A. T., and Fry, W. E. 1994. Increased genotypic diversity via migration and possible occurrence of sexual reproduction of *Phytophthora infestans* in Poland. *Phytopathology* 84:201-207.
116. Flier WG, Turkensteen LJ, Mulder A (1998) Variation in tuber pathogenicity of *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *Potato Res* 41:345–354
117. Flier WG, Turkensteen LJ (1999) Foliar aggressiveness of *Phytophthora infestans* in three potato growing regions in the Netherlands. *Eur J Plant Pathol* 105:381–388.