

PREVISION DU MILDIOU DE LA POMME DE TERRE DANS LE NORD-OUEST ALGERIEN

ABDERRAHMANE Omar ^{1,2*}, BERDJA Rafik ³ et BENCHABANE Messaoud ¹

1. Université de Blida1, Faculté SNV - Laboratoire de la protection et développement des ressources agrobiologiques (LPVRAB), BP 270, Blida 09000, Algérie.
2. Université Djilali Bounaama, Faculté SNV, Département des sciences agronomiques, Route de Theniet El Had, 44225. Khemis Miliana, Algérie.
3. Université de Batna 1, Faculté SNV, laboratoire de recherche en amélioration des techniques de protection phytosanitaire en agrosystèmes montagnoux (LATPPAM), avenue Chahid Boukhrouf 05000 Batna, Algérie.

Reçu le 06/06/2019, Révisé le 15/12/2019, Accepté le 28/12/2019

Résumé

Description du sujet : Le présent travail a pour but de tester la validité de deux modèles prévisionnels (Smith et Negfry) en termes de pouvoir prévisionnel de la maladie du mildiou dans la vallée du Chelif Algérien.

Objectifs : L'objectif principal du présent travail est de mettre en exergue les différents facteurs de risque de développement de la maladie du mildiou de la pomme de terre et de recommander un programme de lutte chimique dans le nord-ouest Algérien.

Méthodes : Les informations concernant : la date de plantation, l'utilisation des fongicides, l'intensité et la progression de la maladie sont recueillies et utilisées en terme d'entrées des deux modèles de Smith et Negfry, afin d'obtenir des prévisions en terme de recommandation de traitements fongicide.

Résultats : Les deux modèles ont montré une bonne sensibilité aux épidémies en lançant des avertissements pertinents allant de 04 à 07 jours avant leurs occurrences réelle du mildiou sur terrain.

Conclusion : L'application de ce type d'approche contemporaine de recommandation et application de fongicides appropriés durant les périodes critiques d'initiation de la maladie du mildiou peut retarder ou éventuellement éviter le développement d'épidémies ; approche que nous recommandons de manière vive et qui pourrait avoir des répercussions concrètes en terme de diminution de pertes économiques.

Mots clés : Mildiou, Pomme de terre, Epidémie, Lutte, fongicide, NegFry, Période de Smith.

POTATO DOWNY MILDEW FORECAST IN NORTHWEST ALGERIA

Abstract

Description of the subject: The purpose of this work is to test the validity of two predictive models (Smith and Negfry) in terms of their predictive power of downy mildew disease in the Algerian's Chelif Valley.

Objective: The main objective of this work is to highlight the different risk factors for the development of downy mildew disease in potatoes and to recommend a chemical control programme in northwestern Algeria.

Methods: Information on: planting date, fungicide use, disease intensity and progression are collected and used in terms of inputs from both Smith and Negfry models to obtain predictions in terms of fungicide treatment recommendations.

Results: Both models showed good sensitivity to epidemics by issuing relevant warnings from 04 to 07 days before the actual occurrence of late blight in the field.

Conclusion: The application of this type of contemporary approach of recommending and applying appropriate fungicides during critical periods of late blight disease initiation can delay or possibly avoid the development of epidemics; this approach is strongly recommended and could have concrete repercussions in terms of economic losses reduction.

Keywords: Mildew, Potato, Epidemic, Disease control, Fungicide, NegFry, Smith's Period.

* Auteur correspondant : ABDERRAHMANE Omar, E-mail : 3marabd@gmail.com

INTRODUCTION

En Algérie, la pomme de terre est une culture stratégique, elle représente la deuxième source de carbohydrate dans le régime alimentaire des algériens. En 2016, la production a atteint 4,7 million de tonne soit le double de la production de 2006 (2,18 million de tonnes) [1, 2]. La totalité de cette production est destinée à la consommation locale. Les plans de développement agricoles misent sur l'élargissement des zones de cultures de cette espèce et à la production de semences pour répondre aux besoins de consommation qui ne cessent d'augmenter.

Cependant et en dépit des efforts financiers consenti pour le développement de cette culture, le mildiou ne cesse de provoquer des pertes considérables depuis l'épidémie sévère de 2007 [3, 4]. Des épidémies fréquentes et graves sont enregistrées dans la culture de saison et d'arrière-saison (60% et 35% de la production totale respectivement) [5].

Le mildiou de la pomme de terre causé par *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, est considéré comme étant la maladie la plus redoutable sur les cultures de pomme de terre, mêmes après de nombreuses années depuis ses premiers signalements et la proposition de différentes spécialités chimiques, cette maladie à caractère épidémique demeure être une réelle menace. L'impact financier de cette pathologie reste lourd et onéreux ou à titre d'exemple [1], estiment le coût de contrôle phytosanitaire à plus de 5,2 milliard de Dollars.

La maladie se développe en présence d'un fin film d'eau sur le feuillage qui se forme par la suite d'un arrosage par aspersion, des rosées persistantes du matin ou de par les de pluies orageuses le soir. L'ensemble de ces conditions est fréquemment associés à des taux d'humidité relative supérieure à 90 % [6].

Les stratégies de lutte mise en place face à cette maladie reste dans l'ensemble basé sur l'utilisation des fongicides tel que : Prévicure, Infinito, Consentio, Sereno, Equation Pro, Curzate, Mancozébe, Ridomil, Manèbe. Globalement, l'application de ces produits chimiques se réalisent de façon systématique, sans planification prévisionnelle, à raison de un à deux traitement tous les quinze jours.

Une telle situation dénote de l'usage excessif des fongicides, qui souvent engendrent la pollution et la persistance de traces résiduelles de matières actives pesticides sur les tubercules. Ceci a pour conséquence, le développement de la résistance aux pesticides chez l'agent pathogène. L'objectif de notre travail est d'améliorer l'efficacité de la stratégie de control chimique, actuellement la seule opérationnelle, sur la base d'application des modèles prévisionnels (la période de Smith et Negfry).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour mieux comprendre le développement de la maladie dans la région d'étude, des informations sur : la date de plantation, l'utilisation des fongicides, l'intensité et la progression de la maladie ainsi que des données météorologiques sont recueillis.

1. Région d'étude

La surveillance de la maladie a été menée dans deux régions du nord-ouest Algérien : Chlef (36°15'0" N, 1°15'0" E) et Mostaganem (35°55'52" N, 0°5'21" E) pendant une durée de trois ans (2013, 2014 et 2016), dans la culture de saison, qui s'étalent de mi-décembre jusqu'à Mai (Fig. 1). Notre étude s'est intéressée particulièrement aux plantations Spunta, sensible au mildiou, car elle occupe plus de 60% de la superficie cultivée.

2. Caractéristiques climatiques

La région de Chlef se caractérise par un climat semi-aride de type méditerranéen. La pluviométrie annuelle y est très irrégulière (160 mm à 400 mm). Deux saisons, une saison froide (octobre - Avril) et une saison chaude (Avril - septembre) très sèche marquée par des épisodes orageux. La température moyenne annuelle avoisine les 20°C avec un écart de températures l'ordre de 20°C entre les deux saisons [6].

La région de Mostaganem est caractérisée par un climat méditerranéen Chaud et sec en été, tiède et pluvieux en hiver, avec une pluviométrie annuelle de 398 mm. Les précipitations mensuelles maximales au cours de l'année se situent aux mois de novembre et Mars. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17.7°C pour un écart de 15.4°C [7].

Les données climatiques ont été collectées à partir des stations de l'office national de météorologie[8].

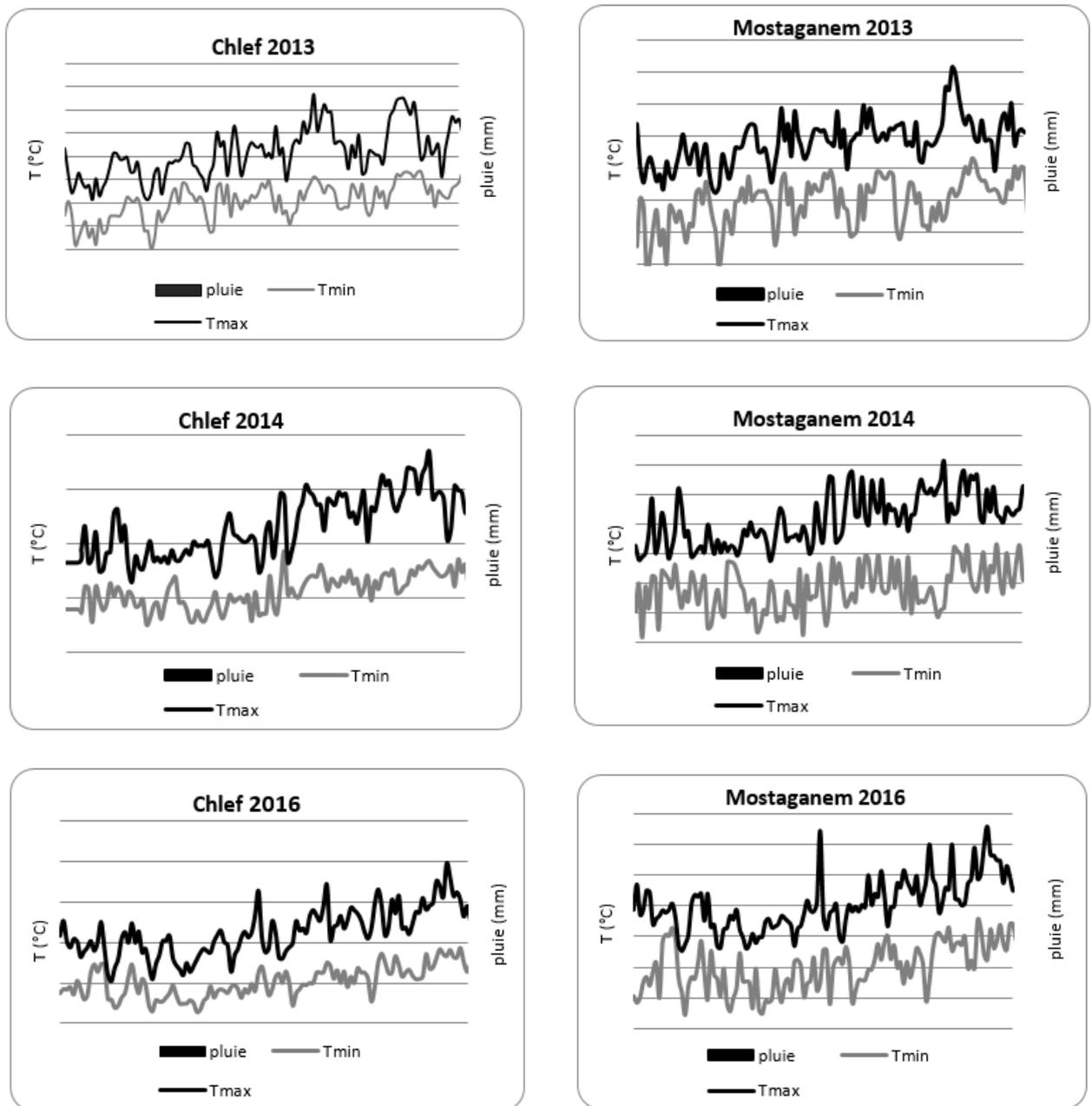


Figure1. Condition météorologique pour la culture de saison

3. Traitements phytosanitaires

Dans les deux régions d'étude, deux à cinq traitements ont été appliqués au long de la campagne de culture. Les traitements préventifs avec les fongicides de contact sont généralement appliqués à partir de fin Février et

début de Mars. La plupart des fongicides utilisés sont de type systémiques et curatives et sont appliquées au mois d'Avril pour anticiper sur les épidémies à venir (Tableau 1).

Tableau 1. Les traitements phytosanitaires appliqués.

Région		Chlef		Mostaganem	
Année		Date	Fongicide	Date	Fongicide
2013	1	01 Mars	Manèbe	19 Mars	Manèbe
	2	20 Mars 04Avril	Prévicure	22 Avril	Propinèbe
	3	04 Avril	Prévicure	30 Avril	Ridomil
	4	07 Avril	Prévicure	07 Mai	fortune
2014	1	16 Avril	Vacomil	20Février	Propinèbe
	2	28 Avril	electis	21 Mars	Mancothame
	3			27 Mars	Vacomil
2016	1	11 Avril	Electis	20Février	Manèbe
	2	14 Avril	Manco-C	05 Mars	Manèbe
	3			30 Mars	Propinèbe
	4			02 Avril	Vacomil
	5			13 Avril	Fortune

4. Evaluation de la maladie

Dans chaque région d'étude, nous avons surveillé trois parcelles de différentes tailles allant de 01 à 15 Ha. Dans chaque parcelle, trois sous parcelles ont été suivi de manière hebdomadairement pour calculer la sévérité de l'infection (pourcentage de surface foliaire couverte par le mildiou; échelle d'évaluation ordinale) selon la clé de James [9]. Ces données ont été utilisées pour calculer la valeur de l'aire sous courbe de progression de la maladie (Area Under the Disease Progression Curve) [10] par la formule suivante :

$$AUDPC = \sum_{i=1}^n [(Y_{i+n1} + Y_i)/2][X_{i+1} - X_i]$$

Où Y_i : est la sévérité du mildiou à l'observation i , X_i : est le temps en jour à l'observation i et n est le nombre total d'observation.

5. Modèles prévisionnels

Dans la présente étude, nous avons utilisé deux modèles prévisionnels à savoir : le modèle de la période de Smith et le modèle dit, NegFry. L'application de ces modèles a commencé à partir du mois de Février. Cette décision a été adoptée étant donné les conditions climatiques et l'historique des attaques de mildiou.

6. Le modèle de la période de Smith

Le modèle de la période de Smith, constitue depuis plus de 60 ans (1956-2019),

le principal system d'avertissement phytosanitaire du mildiou de la pomme de terre en Grande Bretagne. Ce dernier prend comme variables d'entrées la température minimale et l'humidité et considère qu'une période de Smith se produit totalement (100 %) lorsque : (i) la température minimale est supérieure à 10 °C, (ii) l'humidité relative est supérieure à 90 % pendant 11 h, durant deux jours consécutifs.

Si les critères du premier jour sont accomplis et le deuxième jour atteint seulement 10 heures d'humidité relative supérieur à 90%, ceci indique que 90% de la période de Smith a été atteinte [11].

7. Le modèle NegFry

Ce modèle prévisionnel du mildiou de la pomme de terre a été développé par l'institut Danois d'étude des sciences végétales et du sol (Plant and Soil Science Institute) en 1995. Ce dernier, a été dérivé à partir de deux modèles de simulation qui décrivent pour le premier, les effets du climat sur la distribution et la quantité de fongicide. Concernant le deuxième modèle, celui-ci décrit les effets de résistance de l'hôte associés à l'action du climat, sur le développement de *Phytophthora infestans*.

Dans ce modèle, les unités de mildiou sont calculées à partir du nombre d'heures consécutives d'humidité relative supérieur ou égal à 90 %, et la température moyenne répartie entre six (06) intervalles < 3 °C, 3-7 °C, 8-12 °C, 13-22 °C, 23-27 °C et > 27 °C [12].

RÉSULTATS

1. Situation générale du suivi phytosanitaire de la culture

Les premiers symptômes révélateurs du début de la maladie du mildiou se manifestent un mois et demi voir jusqu'à deux mois à partir de la date des premières émergences de la culture (mi-Février - Début Mars). Ces apparitions se manifestent sous forme de petites lésions éparses. Ces dernières, se développent lentement étant donné les températures défavorables (<10°C) qui règnent durant les périodes humides.

Ces lésions, sont souvent maîtrisées grâce à l'action des fongicides de contact qui entravent le développement de ses foyers primaires en épidémie telle que celle que nous avons vécu dans la wilaya de Chlef en l'année 2013 (tableau 2). Durant cette année, un cumul de plus de 60 mm de pluie durant la dernière semaine du mois de Février associé a et une température maximale variant entre 10,5 et 18,7°C, ont réuni les conditions favorables qui ont engendré l'apparition d'une épidémie précoce qui selon notre estimation de terrain a causé près de 60% de perte par rapport aux saisons normales, sans épisodes épidémiques.

Tableau 2. Résultats de la surveillance de la maladie

Année	Région	Date de plantation	Premiers symptômes	Début épidémie	Nombre de traitement	AUDPC
2013	Chlef	08 déc.	23 fév.	01 Mars	4	210
	Mostaganem	15 déc.	15 Mars	26 Avril	4	297,5
2014	Chlef	10 janv.	22 Avril	absence	2	9
	Mostaganem	10 déc.	18 fév.	absence	3	29
2016	Chlef	25 déc.	09 Avril	09 Avril	2	540
	Mostaganem	15 déc.	09 Avril	absence	5	7

La comparaison des dates d'apparition des premières lésions entre les deux régions d'étude, indique l'existence d'un décalage temporel dans l'apparition des premiers foyers du mildiou, du fait que la région de Mostaganem soit une région côtière où les dates de plantation sont souvent avancé de quelque jours jusqu'à un mois par rapport à la région de Chlef.

La saison chaude commence à partir du mois d'Avril et est souvent marqué par une instabilité climatique (Alternance entre période humide et sèche) favorable au développement de la maladie. Sous ces latitudes, la plupart des épidémies de mildiou ont été enregistrée durant le mois d'avril. Durant ce mois, nous avons noté la prévalence d'un climat pluvieux et chaud, identique à celui qui a régné lors de l'épidémie de 2007 qui a touché la totalité du nord-ouest Algérien (Mostaganem 2013 et à Chlef 2016). A Chlef et à Mostaganem, un cumul respective de 22,8 mm et 50 mm de précipitations pendant trois jours successifs associé à des températures minimales et maximales variant respectivement entre [9 et 12,8°C & 18,6 à 19,2°C] et une température moyenne variant entre 13 et 17°C pour la région de Chlef. Dans les deux aires géographiques, un ciel couvert caractérisée par une absence plus moins totale de rafales de vent

a été observé lors des épidémies précédant les attaques de mildiou.

En parallèle, La valeur de l'indice AUDPC (Area Under the Disease Progression Curve) enregistré au courant de l'année 2013 pour les deux régions d'étude et en 2016 pour la seule région de Chlef, indique que la maladie a progressé de manière épidémique. Cette constatation est le signe de l'inefficacité et l'échec du programme de traitement phytosanitaire qui a été adopté dans ses deux wilayas (Tableau. 1) et où les matières actives les plus couramment utilisé sont : Mancozèbe, Propineb, Manébe, Metalaxyl et Propamocarb. Les traitements appliqués à base de fongicides systémiques sont appliqués de façon curative après les pluies. Dans la région de Chlef (2013, 2016), les premiers traitements ont consisté en un fongicide de contact qui a respectivement été appliqué le premier et troisième jour du début de l'apparition de l'épidémie. Tandis que dans la région de Mostaganem, un fongicide de contact a été pulvérisé quatre jours avant le début de l'épidémie.

Dans l'ensemble, le nombre total de traitement chimique a varié entre deux (02) et cinq (05) traitements et ce en fonction de la pression de la maladie, des ressources matérielles et de la balance traitements / rentabilité économique des agriculteurs.

2. Previsions des modeles de simulation

Dans la présente étude, nous avons évalué la capacité prévisionnelle de deux modèles de simulation à savoir le modèle donnant ladite période de Smith et NegFry, pour leurs

capacités à détecter les périodes critiques et à lancer des avertissements phytosanitaires pertinents. Les résultats de ces modèles sont illustrés dans la figure 2.

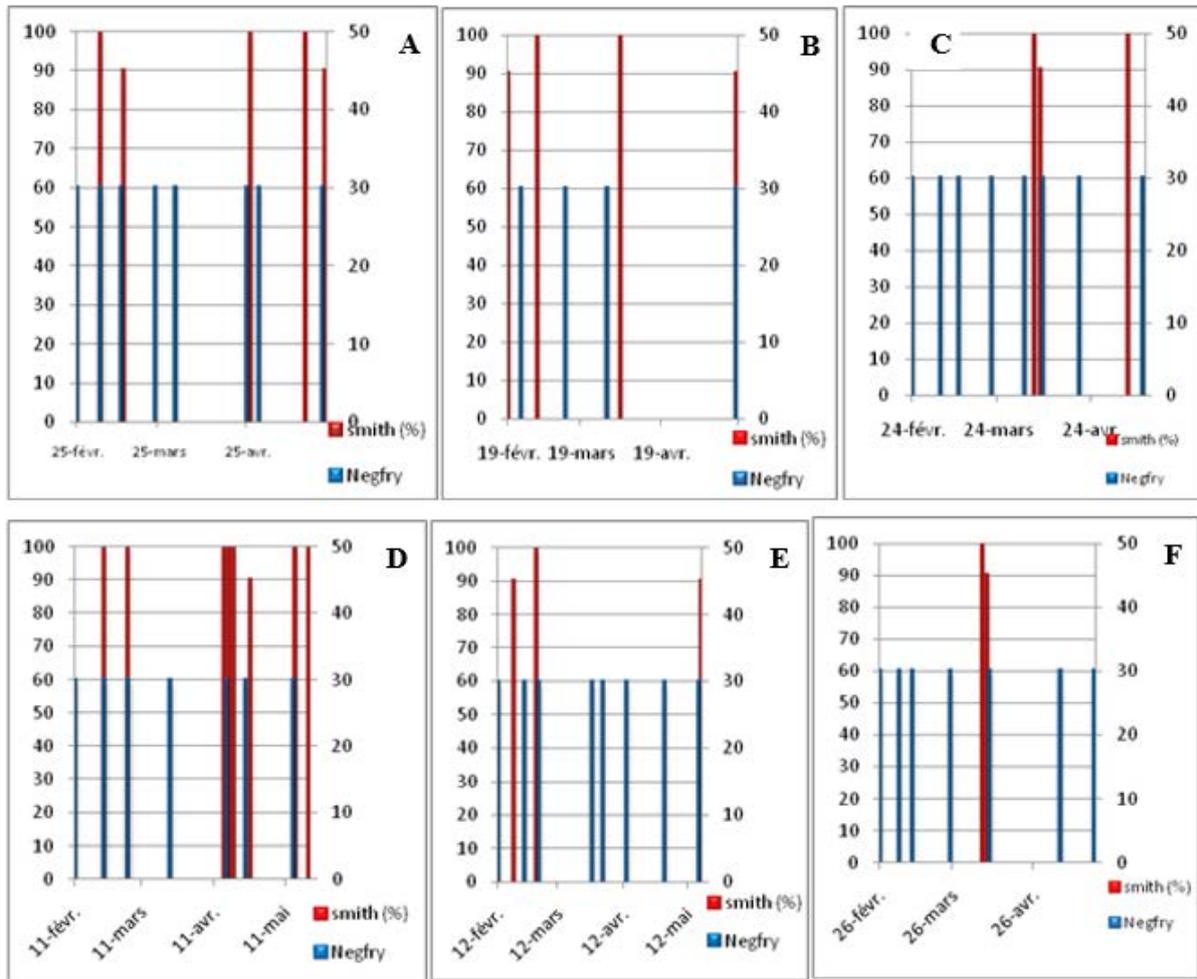


Figure 2. Resultats previsionnels des modeles donnant la periode de Smith et NegFry pour les wilayas de Chlef (A B,C) et Mostaganem (D, E, F), durant les années 2013,2014 et 2016 (de Gauche a droite respectivement).

A l'inverse de l'année 2014, les deux années 2013 et 2016, ont été caractérisés par une pression malade d'amplitude moyenne à élevé. Ainsi, Trois épidémies régionales ont été enregistrées dans les deux régions d'étude durant la saison 2013 et dans la région de Chlef au cours de la campagne agricole de 2016.

Généralement, l'accumulation de 30 unités de mildiou (Cf : Présentation du modèle NegFry, dans matériel et méthodes) est nécessaire pour la recommandation d'un traitement phytosanitaire. Le modèle NegFry a recommandé sept (07) traitements dans les deux régions durant les deux saisons 2013 et 2016, huit (08) traitements durant la saison 2014 à

Mostaganem et quatre (04) traitements seulement dans la région de Chlef. Globalement, il est considéré qu'à partir de quatre (04) traitements, le risque de perte des cultures devient fort. De plus le nombre d'alertes, nous renseignent indirectement sur les conditions biotiques et abiotiques relativement favorables au développement de la maladie lors de ces périodes.

Parallèlement, Sept (07) et trois (03) périodes de Smith à 100% ont été atteintes à Mostaganem et Chlef en 2013. Plus spécifiquement, Deux (02) et cinq (05) périodes de Smith et une (01) et deux (02) périodes de Smith ont été relevés en début et fin de saison dans les deux zones d'étude.

Le nombre de périodes de Smith, indique que les conditions climatiques étaient respectivement très favorables et moyenne en fin de saison pour les deux zones d'étude. Durant la saison de 2014, une seule (01) période de Smith à 100% a été observée au début de saison dans la région de Mostaganem et deux (02) périodes dans la région de Chlef ; la pression de la maladie a été globalement faible. En 2016, deux (02) périodes de Smith à 100% ont été observées dans la région de Chlef, une (01) au milieu et l'autre vers la fin de la saison de culture. Ces observations, indiquant également une pression moyenne à faible de la maladie ;

Tableau 3. Evaluation de la capacité prévisionnelle des deux modèles

Année	Régions	1 ^{ères} Périodes de Smith (100%)	1 ^{er} traitement NegFry	1 ^{er} traitement _ Negfry avant l'épidémie
2013	Chlef	-04 jours	-02 jours	+07 jours
	Mostaganem	+07 jours	+32 jours	+06 jours
2014	Chlef	/	+ 51 jours	
	Mostaganem	/	+06 jours	
2016	Chlef	+04 jours	+44 jours	+ 07 jours
	Mostaganem		+42 jours	

Au travers du suivis de la maladie sur terrain et au travers des résultats de simulation, nous avons constaté que les alertes prévisionnelles été variables, étant donné qu'elles fluctuaient entre quatre jours à plus d'un mois, avant l'occurrence des premiers symptômes de la maladie. Le model NegFry, a montré une grande performance en terme de prédiction de l'occurrence de l'épidémie. Ainsi, ce dernier a lancé des avertissements de traitement à partir de six (06) à sept (07) jours avant le début de chaque épidémie. Concernant le premier traitement, le model a lancé des avertissements avancé de plus d'un mois par rapport à l'apparition réel des premières symptômes sur terrain. Parallèlement, le model de la période de Smith, a pu lancer des avertissements allant de quatre (04) à sept (07) jours avant l'occurrence des premiers symptômes de la maladie. Cependant, le model a lancé un avertissement après quatre jours du début de l'épidémie dans la wilaya de Chlef en 2013 ; La période de Smith a montré une performance moyenne dans le domaine de la prédiction des épidémies.

DISCUSSION

L'analyse des périodes climatiques favorables qui précèdent les attaques du mildiou,

une seule (01) période de Smith a eu lieu à Mostaganem en milieu de saison de culture.

Le tableau 3, a été établi pour comparer et évaluer les recommandations des modèles avec les observations de terrain. Pour le model donnant la période de Smith, nous avons comparé l'occurrence de la première période à 100% avec le début de la phase épidémiologique. Concernant le model NegFry, qui donne des recommandations sur la date du premier traitement et des traitements subséquents, nous avons comparé ces prévisions avec la date d'apparition des premières symptômes et début de la phase épidémiologique.

a montré que le développement épidémiologique de la maladie est toujours lié à l'intensité et la durée des pluies. Cette période humide est parfois précédée par une phase d'irrigation, pendant le mois d'Avril et le début du mois de Mai. Ceci prolonge la période à risque et aggrave l'épidémie vu qu'il est impossible d'appliquer des traitements justes avant irrigation.

Les conditions climatiques peuvent influencer la période d'efficacité des fongicides sur le feuillage de la pomme de terre, car les fongicides se dégradent sous l'effet de la température élevée, la photolyse, les pluies et la volatilisation [13]. Les pluies peuvent dégrader la pluparts des fongicides de contacta des degrés différents qui sont fonction de la durée et l'intensité des pluies [12, 13].

L'épidémie se développe suite à une période pluvieuse, accompagnée d'un ciel nuageux avant et durant les pluies. Plus les nuages et les pluies perdurent, plus l'épidémie est sévère.

La couverture nuageuse est un facteur de risque épidémiologique important, car il influe directement sur l'intensité des radiations solaires qui jouent un rôle déterminant dans la viabilité et la dispersion des sporanges [14, 15].

Les nuages assurent non seulement l'humidité nécessaire sous forme de pluie pour le pathogène, mais également prolongent la durée des températures favorables pendant la nuit.

Les résultats de prévision des deux modèles ont révélé une bonne conformité avec les périodes à risques observées. Les avertissements des deux modèles ont positivement concordé avec le déclenchement des épidémies. Cependant, il est à noter que ces modèles se sont avérés être inefficaces en terme de prédiction des premiers foyers d'infections (Infection primaire). De ce fait, il nous semble être nécessaire d'adapter les différents modèles étudiés afin qu'ils incluent d'autres paramètres importants tels que le stade végétatif, le niveau et date des irrigations, présence et persistance des matières actives dans le sol, la sensibilité variétale et le niveau de l'inoculum initial.

Une période de Smith à 100% a eu lieu juste avant le déclenchement d'une épidémie sévère en 2013 et 2016 dans les deux régions d'étude. Cet échec prévisionnel pourrait être corrigé par le modèle de « Hutton Criteria » qui vient de remplacer le modèle de période de Smith à partir de 2017, en Grande Bretagne [16].

Le modèle de la période de Smith a été initialement développé comme un indicateur de risque de détérioration globale sur une vaste zone géographique du Royaume-Uni [17, 18]. 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. Décision finale, devant être prise par l'agriculteur étant donné que ces modèles ne constituent in fine, que des outils d'aide à la décision [19]. Le modèle de la période de Smith est indiqué pour les zones et les années caractérisées avec une pression d'inoculum initiale faible ou moyenne [20].

Le modèle NegFry donne des conseils sur la date de la première application de fongicide et les traitements subséquents. Dans notre étude, ce modèle a recommandé un premier traitement à une date beaucoup trop avancé de +51 jours avant l'apparition des premiers symptômes sur terrain ; fait qui aurait exagérément augmenté le nombre de traitement rendant l'investissement agricole économiquement non viable. Malgré cette augmentation du nombre d'application, le modèle demeure être rassurant car il a pu lancer des avertissements entre six (06) à sept (07) jours avant le déclenchement des épidémies sévères de 2013 et 2016. Sous des conditions favorables de la maladie,

le modèle recommande une augmentation de 12% du nombre d'applications de fongicide [21].

Les calendriers de traitement guidés par les outils d'aides à la décision (OAD) ont abouti à réduire jusqu'à 50%, la quantité de fongicide utilisée. Dans les situations où les conditions météorologiques sont défavorables à la maladie, l'OAD a recommandé moins d'applications de fongicides sans perte de suppression de la maladie. Dans des situations météorologiques très favorables, l'OAD a recommandé plus applications de fongicides, avec une amélioration de la suppression de la maladie [22].

La coïncidence d'un traitement recommandé par le modèle NegFry avec l'occurrence d'une période de Smith à 100%, indique qu'il y a un grand risque qu'une épidémie est en cours de constitution et de déroulement durant cette période climatique.

La précision des avertissements est fortement liée à la disponibilité des données climatiques qui doivent être représentatives et précises (Forte résolution spatio-temporelle), donnant des prévisions fiables s'ajustant au mieux à la réalité biologique observé sur terrain [21]. Toutefois, il demeure une contrainte majeure qui est représenté par les pluviométries variables qui sont généralement très difficile à prédire avec précision avant plus de trois jours. Cet état de fait, ne laisse pas assez de temps pour que les agriculteurs agissent d'une manière efficace.

La période pluvieuse indiquée comme période à risque est facile à conceptualiser, repérer et analyser par les agriculteurs à faible ressource. Ce qui facilite les prévisions et augmente l'efficacité des fongicides.

CONCLUSION

Le suivi de la maladie, durant trois années dans deux régions différentes, nous a permis de distinguer deux phases de développement de la maladie : une phase d'infection (infection primaire) et la phase de dispersion (épidémie). Ces dernières ont des dates et des conditions climatiques différentes. La première s'exprime au début de la saison (Février - début Mars), les températures basses entravent le développement de la maladie du mildiou où les taches restent localisées. La deuxième phase se manifeste au milieu et vers la fin de la saison de culture (Avril - début Mai),

elle se caractérise par un développement rapide de la maladie notamment en présence d'une période pluvieuse. Les deux modèles testés ont donné des avertissements variables, qui peuvent être complémentaires et exploités en fonction de leurs apports informationnels. Lorsqu'une période de Smith se produit et coïncide avec un conseil de traitement phytosanitaire par le modèle de NegFry, il existe un fort risque qu'une épidémie est en cours de déclenchement. Cette dernière pourrait être évitée en appliquant un fongicide convenable agissant sur les foyers primaires d'infection. Les premières infections sont d'une importance primordiale pour réussir le programme de lutte phytosanitaire. Il est utile de répertorier tous les foyers d'infection, par le réseau de surveillance, dans une carte thématique, pour qu'on puisse estimer avec exactitude le risque qu'elles constituent. L'application de fongicides spécifiques aux périodes de risques que nous avons pu déterminer dans le présent travail, pourrait raisonner et augmenter l'efficacité des traitements phytosanitaires. La durée et l'intensité de la pluviométrie ainsi que le type et la durée de persistance des nuages qui l'accompagnent, sont des paramètres faciles à comprendre, repérer et simplifier les prévisions des épidémies de mildiou en Algérie.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Haverkort A., Struik P., Visser R & Jacobsen E. (2009).** Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. *Potato Research*;52. p.249-64.
- [2]. **FAOSTAT.(2016).** Food And Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural statistics.
- [3]. **Abderrahmane O & Benchabane M. (2017).** Epidemiology and risk factors of potato late blight in Algeria [Conference poster]. Proceedings of the Sixteenth EuroBlight Workshop, 14-17 May 2017, Aarhus, Denmark: Applied Arable and Vegetable Research (Praktijkonderzoek AGV); p. 223-6.
- [4]. **Beninal L., Corbière R., Kedad A., Andrivon D & Bouznad Z. (2009).** A2 mating type, metalaxyl resistance and complex virulence profiles: common features in some *Phytophthora infestans* isolates from Algeria. PPO-Special Report no 13. p.237.
- [5]. **Corbière R., Rekad FZ., Galfout A., Andrivon D & Bouznad Z. (2010).** Phenotypic and genotypic characteristics of Algerian isolates of *Phytophthora infestans*. PPO-Special Report;14. p.291-6.
- [6]. **Jeda. F. (2006).** Cartographie de la précipitation du bassin hydrographique Cheliff. Université des Sciences et technologie Houari Boumediene, ALGER.
- [7]. **Smahi. El. (2001).** Etude du phénomène d'ensablement sur le plateau de Mostaganem et proposition d'aménagement. Es-Sénia, Oran: IGAT.
- [8]. **ONM. (2017).** Fiche des données climatiques de la station de Rebahia, Saida.
- [9]. **James C. (1980).** A manual of assessment keys for plant diseases. A manual of assessment keys for plant diseases.
- [10]. **Shaner G & Finney R. (1977).** The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*;67. p.1051-6.
- [11]. **Hims M., Taylor M., Leach R., Bradshaw N & Hardwick N. (1995).** Field testing of blight risk prediction models by remote data collection using cellphone analogue networks. *Phytophthora infestans*;150. p.220-5.
- [12]. **Fife J & Nokes S. (2002).** Evaluation of the effect of rainfall intensity and duration on the persistence of chlorothalonil on processing tomato foliage. *Crop Protection*;21. p.733-40.
- [13]. **Neely D. (1970).** Persistence of foliar protective fungicides. *Phytopathology*;60. p.1583-6.
- [14]. **Mizubuti ES., Aylor DE & Fry WE. (2000).** Survival of *Phytophthora infestans* sporangia exposed to solar radiation. *Phytopathology*;90. p.78-84.
- [15]. **Olanya M., Larkin R., Zhongqi H & Jain S. (2011).** Survival potential of *Phytophthora infestans* sporangia in relation to meteorological factors. *Phytopathology*;101. p.S132.
- [16]. **DANCEY SR., SKELSEY P & COOKE DE. (2017).** The Hutton Criteria: a classification tool for identifying high risk periods for potato late blight disease development in Great Britain. *EuroBlight Workshop*. p. 53.
- [17]. **Large E. (1959).** The battle against blight. *Agriculture London*;65. p.603-8.
- [18]. **Sunseri MA., Johnson DA & Dasgupta N. (2002).** Survival of detached sporangia of *Phytophthora infestans* exposed to ambient, relatively dry atmospheric conditions. *American Journal of Potato Research*;79. p.443.
- [19]. **Hyre RA. (1950).** Spore traps as an aid in forecasting several downy mildew type diseases. *PI Dis Repr Suppl*;190. p.14-8.
- [20]. **van der Zaag DE. (1956).** Overwintering en epidemiologie van *Phytophthora infestans*, tevens enige nieuwe bestrijdingsmogelijkheden. *European Journal of Plant Pathology*;62. p.89-156.
- [21]. **Zwankhuizen MJ. (1998).** Potato late blight epidemics and population structure of *Phytophthora infestans*: Zwankhuizen.
- [22]. **Small IM., Joseph L & Fry WE. (2015).** Development and implementation of the BlightPro decision support system for potato and tomato late blight management. *Computers and Electronics in Agriculture*;115. p.57-65.