

Végéphy – 12^e CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES MALADIES DES PLANTES
TOURS – 11 ET 12 DÉCEMBRE 2018

EFFETS DU DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE SUR LE RISQUE MILDIOU
DE LA POMME DE TERRE ET STRATÉGIES D'ADAPTATION

D. GAUCHER¹, O. DEUDON², F. HUARD³, M. LAUNAY³

⁽¹⁾ SPIC, ARVALIS-Institut du végétal, 91720 Boigneville, France, d.gaucher@arvalis.fr

⁽²⁾ SSIM, ARVALIS-Institut du végétal, 91720 Boigneville, France, o.deudon@arvalis.fr

⁽³⁾ AgroClim, INRA, CS 40509, 84914 Avignon cedex 2, France, marie.launay@inra.fr,
frederic.huard@inra.fr

RÉSUMÉ

Le mildiou est la plus importante maladie de la pomme de terre en France. Elle est capable de causer de très gros dommages quand le climat est favorable à son développement. Dans un contexte de dérèglement climatique, il est intéressant de simuler l'évolution des épidémies de mildiou dans différentes régions de France jusqu'en 2100 afin d'identifier les adaptations nécessaires et possibles pour la production française. Les simulations climatiques journalières utilisées proviennent du modèle Aladin-Climat (www.drias-climat.fr) pour 6 localités et dont les biais ont été corrigés par la méthode quantile-quantile. Ces données ont ensuite été transformées en données horaires par l'Inra (AgroClim, Avignon) à l'aide des algorithmes du projet CLIMATOR. Les simulations des épidémies ont été réalisées avec l'outil d'aide à la décision Mileos®.

Cette étude montre que le risque mildiou de la pomme de terre va globalement diminuer significativement pour tous les sites et tous les scénarios climatiques en France, surtout après 2060-2070. Des stratégies d'adaptation avec avancement des dates de plantation (jusqu'à la contre-saison dans le sud) ont été testées afin de vérifier les valeurs de risques avec ces nouvelles conditions de cultures. Des perspectives sont discutées.

Mots-clés : Dérèglement climatique, pomme de terre, *Phytophthora infestans*, Outil d'aide à la décision (OAD).

ABSTRACT

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON POTATO LATE BLIGHT RISK AND ADAPTATION STRATEGIES

Late blight (*Phytophthora infestans*) is the most important pathogen of potato crop in France. This disease causes important damages to this crop in particular when the climate is favourable. In a climate change context, it is interesting to simulate blight epidemic evolutions in different localizations in France up to 2100 in order to identify possible adaptations to maintain or increase French potato production. The data of climate change comes from the limited area model Aladin-Climat. It concerned six French sites covering the French climatic diversity for the three RCP scenarios. This daily data was transformed to hourly data by INRA with the CLIMATOR project algorithms. The epidemic simulations were carried out with the Mileos® decision support system. This study shows that the potato late blight risk will significantly decline with climate change, especially after 2060, the same results are obtained for all areas studied. Different strategies were tested like. We also tested the case of relocation of potato crops in the south of France in off-season. Perspectives are discussed.

Keywords: Climate change, potato, *Phytophthora infestans*, Decision support system (DSS).

INTRODUCTION

La pomme de terre est une culture majeure en France avec plus de 175.000 ha localisés principalement dans les Hauts-de-France, le bassin parisien et l'ouest de la France (Bretagne, Normandie). Le mildiou de la pomme de terre, causé par *Phytophthora infestans*, est le principal bioagresseur des cultures de pommes de terre en France. Cette maladie est redoutable, tant par son caractère fortement épidémique que par sa capacité à attaquer tous les organes de la plante (feuilles, tiges et tubercules), à tous les stades de développement de la culture, dès lors que les conditions climatiques sont propices. Or, du nord au sud de l'Hexagone, le climat rencontré lors de la période de végétation (températures douces et humidité) est régulièrement favorable à très favorable aux attaques de mildiou. A ce jour, la principale méthode de lutte contre cette maladie est l'application répétée et préventive de fongicides de synthèse (IFT fongicide moyen 2014 : 14.4) (Agreste, sept. 2016). Pour réduire cette très forte dépendance aux pesticides, les filières professionnelles et leurs instances scientifiques et techniques tentent depuis plusieurs années de promouvoir la mise en place d'une véritable protection intégrée appuyée, entre autres, sur l'utilisation de l'outil d'aide à la décision Mileos® qui permet de piloter l'application des traitements en fonction du risque réel (Verjux N., 2017). Concernant le dérèglement climatique dans le monde et plus particulièrement en France, le cinquième rapport du GIEC daté de 2013 confirme que le réchauffement du système climatique est sans équivoque et que nombre des changements observés sont sans précédent depuis des décennies, voire des millénaires: réchauffement de l'atmosphère et des océans, diminution de la couverture neigeuse et recul des glaces, élévation du niveau des mers et augmentation des concentrations de gaz à effet de serre. Chacune des trois dernières décennies a été plus chaude à la surface de la terre que la précédente, et plus chaude que toutes les décennies antérieures depuis 1850 (GIEC, 2013). Au niveau mondial, l'augmentation de température montre un accroissement de +0.6°C depuis les années 1980 par rapport à la moyenne depuis les années 1850. Pour la France, cette hausse sur la même période semble plutôt de l'ordre de 0.9 à 1°C. Le climat étant le facteur prépondérant de la dynamique épidémique de l'agent pathogène, il convient de se demander dans quelle mesure le changement climatique observé risque de modifier le comportement de cette maladie (impacts directs) et l'interaction hôte/pathogène (impacts indirects). Quels seront les impacts des perturbations envisagées des paramètres climatiques (pluie, température, humidité relative etc.) sur les différentes phases de développement du pathogène fongique (germination, infection, etc.) ? Pour se faire, l'utilisation de l'OAD Mileos® semble être pertinente afin d'émettre des hypothèses quant à la possible évolution du pathogène dans le temps et dans l'espace. L'étude du changement climatique nécessite des données climatiques du futur, appelées projections, permettant d'appréhender à la fois la variabilité naturelle et les tendances anthropiques, à une échelle la plus fine possible, pour mieux évaluer ces changements à l'échelle d'un territoire (Gaucher et al., 2017).

La difficulté dans l'étude des effets du changement climatique sur les pathosystèmes réside dans les différentes sources d'incertitudes. La première concerne les incertitudes autour des modèles climatiques. Il existe plusieurs modèles climatiques régionalisés pour l'étude des impacts du changement climatique, et même si tous s'accordent sur la hausse des températures, les projections en ce qui concernent les précipitations varient fortement d'un modèle à l'autre (Hawkins et Sutton, 2010). Une autre source d'incertitude provient des modèles agronomiques ou de prévision de développement des pathogènes qui comprennent aussi une part d'erreur. Enfin, l'interaction hôte/pathogène évolue en fonction des changements de phénologie et de distribution spatiale de l'hôte et dépend de l'évolution des souches pathogènes, sources importantes d'incertitude lorsque l'on cherche à faire des projections avec nos connaissances actuelles du fonctionnement du pathosystème. Néanmoins, ces incertitudes ne doivent pas entraver les recherches dans ce domaine et, sous réserve de certaines précautions, il est possible de réaliser des projections avec l'aide de modèles. Ainsi, des travaux ont été publiés concernant les effets des changements climatiques sur les relations climat/hôtes/pathogènes (Gouache et al., 2013 ; Launay et al., 2014 ; Manici et al., 2014, Gourdain et al., 2015).

Dans ce contexte d'évolution climatique, il nous a paru intéressant de valoriser les projections des données climatiques fournies par le projet "DRIAS Les futurs du climat" sur la période 1950-2100 dans l'OAD Mileos® afin de comprendre les conséquences de ces évolutions climatiques sur les épidémies de mildiou chaque année. Puis, à partir de ces résultats, nous souhaitons proposer des voies d'adaptation du système de production français pour maintenir ou accroître la production de pommes de terre avec ces nouvelles conditions. Cette analyse a été réalisée au niveau régional afin

de comprendre les conséquences pour quelques zones de production de pomme de terre et de pouvoir proposer des adaptations régionalisées.

MATERIEL ET MÉTHODE

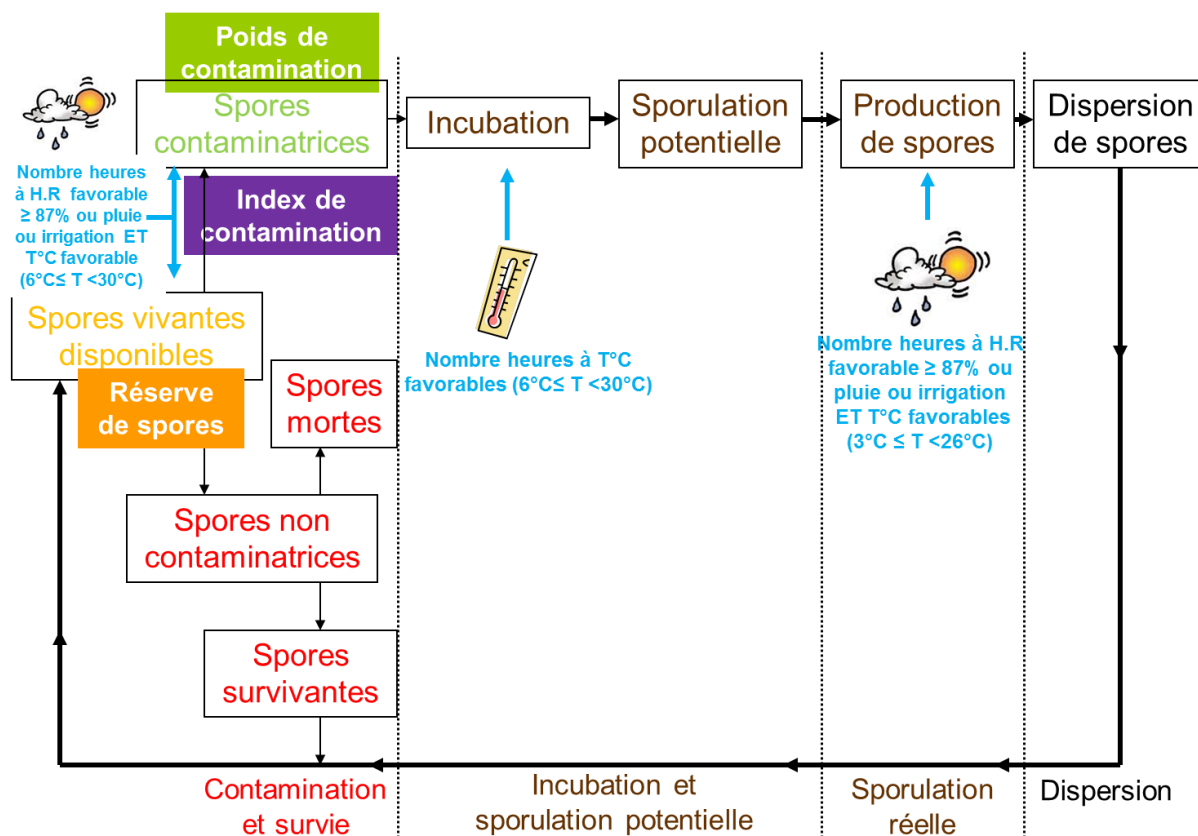
Pour étudier les effets possibles du changement climatique sur les épidémies de mildiou en France, des simulations avec l'OAD Mileos® ont été réalisées sur des variables climatiques à partir des différents scénarii climatiques et sites disponibles.

LES VARIABLES

Mileos® est un outil d'aide à la décision (OAD) basé sur un modèle épidémiologique mécaniste et permettant, à partir de données météorologiques horaires (Température, humidité relative de l'air et pluviométrie), de calculer l'évolution du risque mildiou pendant la campagne de culture (Gaucher *et al.*, 2017, Hansen *et al.* 2017). Ce modèle décrit tous les compartiments du cycle de vie de *P. infestans* et contient 4 compartiments (Contamination et survie des spores, incubation et sporulation potentielle, sporulation réelle et dispersion des spores) (Figure 1).

Figure 1: Différents compartiments du modèle Mileos® basé sur le cycle de vie de *P. infestans* (inspiré de Muckensturm, 1989).

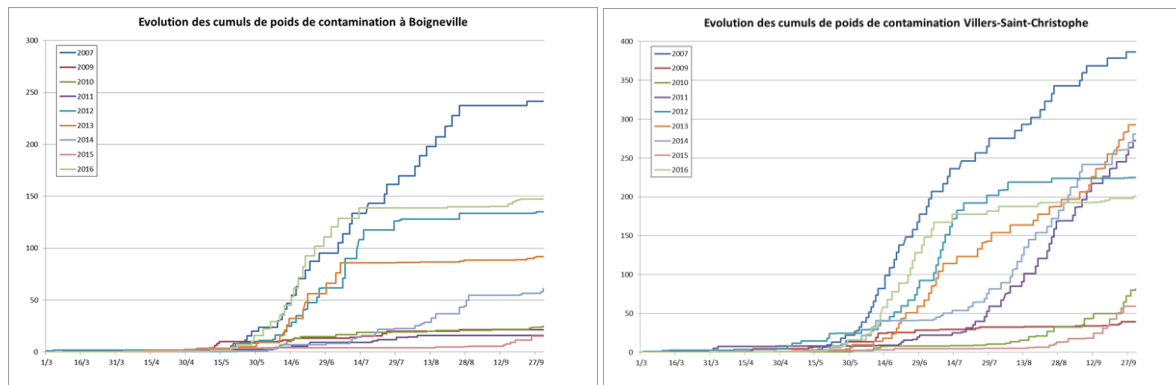
Figure 1: Different parts of Mileos® model based on life cycle of *P. infestans* (inspired by Muckensturm, 1989).



De toutes les variables calculées, il apparaît que le poids de contamination est un critère intégrateur et, au regard des observations et validations passées du modèle, que la variable « cumul des poids de contamination » durant la saison de culture telle qu'elle est actuellement définie d'un point de vue temporel (01/03 au 30/09) est un indicateur pertinent de l'importance de l'épidémie pour un site et/ou une année donnée. Chaque marche dans la construction de la courbe correspond à une contamination. Sa hauteur dépend de l'importance du nombre de spores contaminatrices (Figure 2).

Figure 2 : Evolution des cumuls des poids de contaminations pour 2 sites (Boigneville-91 et Villers-Saint-Christophe-02) et différentes années climatiques. Ce critère semble bien adapté à la comparaison des risques selon les sites et les années climatiques.

Figure 2: Evolution of the sums of weight of contaminations for two locations (Boigneville-91 and Villers-Saint-Christophe-02) and different climatic years. This criterion seems to be well adapted to compare the risks according to locations and years.



Dans le cadre de ce travail, il n'a pas été étudié de calendriers théoriques de traitements pour l'instant. Seules les descriptions épidémiques ont été analysées.

LES SCENARII CLIMATIQUES

Pour réaliser l'étude, les séries climatiques utilisées sont issues du projet DRIAS «Les futurs du climat» (www.drias-climat.fr). En effet, le projet a permis de produire, à partir du modèle ALADIN-Climat, des séries quotidiennes du climat sur la période de référence 1950 à 2100, soit une période climatique « de référence » de 1950 à 2010 et une période climatique « future » de 2010 à 2100. Ces données ont ensuite été régionalisées à l'aide de la méthode quantile-quantile (à une résolution de 8x8 kms).

Trois projections climatiques d'évolution du forçage radiatif (appariées à une évolution de la concentration atmosphérique en CO₂) ont été étudiées : un scénario dit optimiste (RCP2.6) avec une projection d'une teneur en CO₂ en 2100 inférieure à 490 ppm ; un scénario dit médian (RCP4.5) avec une teneur en CO₂ de 660 ppm d'ici 2100 et un dernier scénario dit très pessimiste (RCP8.5) avec une teneur en CO₂ de 1370 ppm d'ici à 2100.

L'OAD Mileos® nécessitant des données horaires pour les calculs de risque mildiou, les projections climatiques précédentes ont été transformées en données horaires par les chercheurs de l'INRA Agroclim à l'aide de méthodes physiques et statistiques identiques à celles utilisées précédemment dans le projet CLIMATOR.

LES PROJECTIONS

Pour chacun des jeux de données climatiques utilisés, des simulations ont été réalisées sur le cumul annuel des poids de contamination pour la période de culture actuelle s'étalant du 01/03 au 30/09. La variabilité interannuelle du climat est étudiée graphiquement par la construction de box-plots (boîtes à moustaches) réalisés sur les valeurs médianes prises annuellement pour chacun des sites. La variabilité spatiale est étudiée à l'aide des sites français étudiés : Mons-80, Versailles-78, Bordeaux-33, Rennes-35, Colmar-68 et Avignon-84. Cette disposition spatiale permet d'étudier à la fois les régions productrices de pommes de terre actuellement mais aussi les éventuelles régions pouvant accueillir des cultures dans le futur, en particulier en contre-saison.

RESULTATS

Les résultats des différentes projections seront présentés sous la forme de box-plots par période climatique de 30 ans pour lisser les variations interannuelles qui peuvent être très importantes. Pour chacune de ces box-plots sont indiquées la médiane et les valeurs interquartiles et interdéciles. Pour

chaque site, les graphiques comportent donc 5 box-plots dont les 2 premières correspondent à la période passée (1950-2009) et les 3 dernières au futur (2010-2100).

Pour chaque site, une courbe de tendance calculée sur les valeurs médianes est affichée.

Les données climatiques utilisées avaient été validées par l'INRA Agroclim mais le premier contrôle en sortie de Mileos® a été de comparer les valeurs issues des calculs pour la période passée (1950-2009) avec les valeurs de risque calculées à partir de données réelles fournies par des stations météo réelles ces mêmes années. Les valeurs calculées avec les données fournies sont tout à fait comparables avec celles fréquemment observées (moyenne pluriannuelle) sur les différents sites. Les différences entre les sites sont cohérentes et réelles ce qui représente bien la réalité actuelle. Cela permet de conclure à la validité des données climatiques utilisées et permet de poursuivre l'analyse. Dans le cadre de cette communication, seuls les résultats obtenus pour les sites de Mons, Versailles et Bordeaux seront présentés. De même, les projections du scénario RCP2.6 ne seront pas présentées car ce scénario semble de moins en moins atteignable.

LES EVOLUTIONS DES TEMPERATURES ET DES HUMIDITES RELATIVES

Pour illustrer cette partie, nous avons choisi de ne présenter que les analyses réalisées pour le site de Versailles avec le scénario médian RCP4.5. En regardant uniquement les données climatiques, nous avons donc constaté que la température moyenne annuelle à Versailles suit une tendance nette à la hausse avec entre 1950 et 2100 de +3.5°C. Dans le même temps, les humidités relatives de l'air subissent une baisse de -6.5%. La conjugaison de ces deux facteurs nous conduit à émettre l'hypothèse d'une diminution importante des périodes climatiques favorables au mildiou de la pomme de terre et donc à la baisse des cumuls de poids de contaminations constatées par la suite.

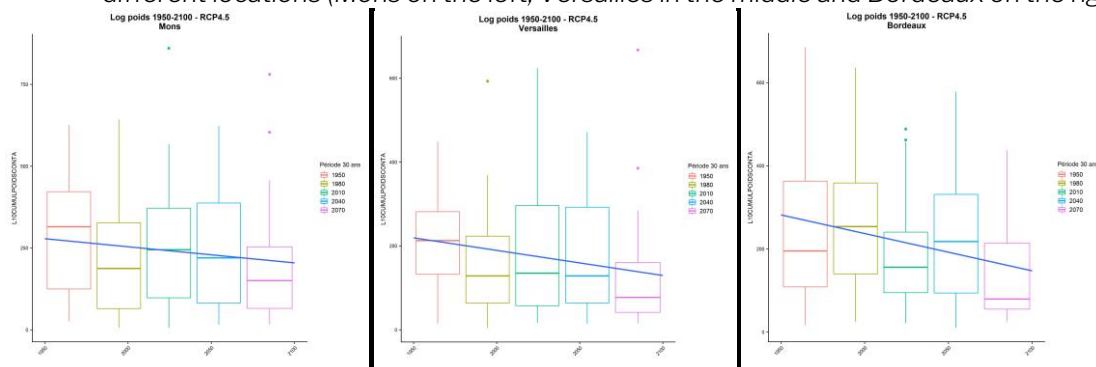
LES RESULTATS DES PROJECTIONS POUR LA PERIODE DE CULTURE 01/03 AU 30/09

Projections pour le scénario RCP4.5

Dans l'hypothèse des cycles de culture identiques (01/03 au 30/09), les cumuls de risque mildiou montrent une décroissance plus marquée et accentuée en fin de période depuis 2070 jusqu'à 2100 avec une réduction significative de la variabilité interannuelle en fin de période, principalement à Versailles. Seul le site de Mons ne semble pas encore trop impacté (Figure 3).

Figure 3: Evolution des cumuls de poids de contaminations selon le scénario RCP4.5 et selon les sites (Mons à gauche, Versailles au centre et Bordeaux à droite).

Figure 3: Evolution of sum of weight of contaminations according to RCP4.5 scenario and different locations (Mons on the left, Versailles in the middle and Bordeaux on the right).

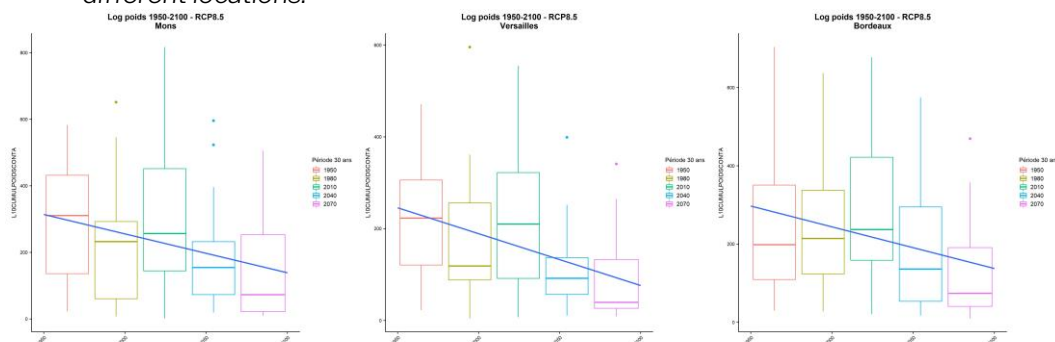


Projections pour le scénario RCP8.5

Les cumuls de risque mildiou montre une décroissance très forte depuis 2040 jusqu'à 2100 avec une réduction plus ou moins importante de la variabilité interannuelle en fin de période pour tous les sites. Ce scénario montre une quasi-disparition du risque mildiou dans tous les sites pour la saison de culture actuelle (01/03 au 30/09) (Figure 4).

Figure 4: Evolution des cumuls de poids de contaminations selon le scénario RCP8.5 et selon les sites.

Figure 4: Evolution of sum of weight of contaminations according to RCP8.5 scenario and different locations.



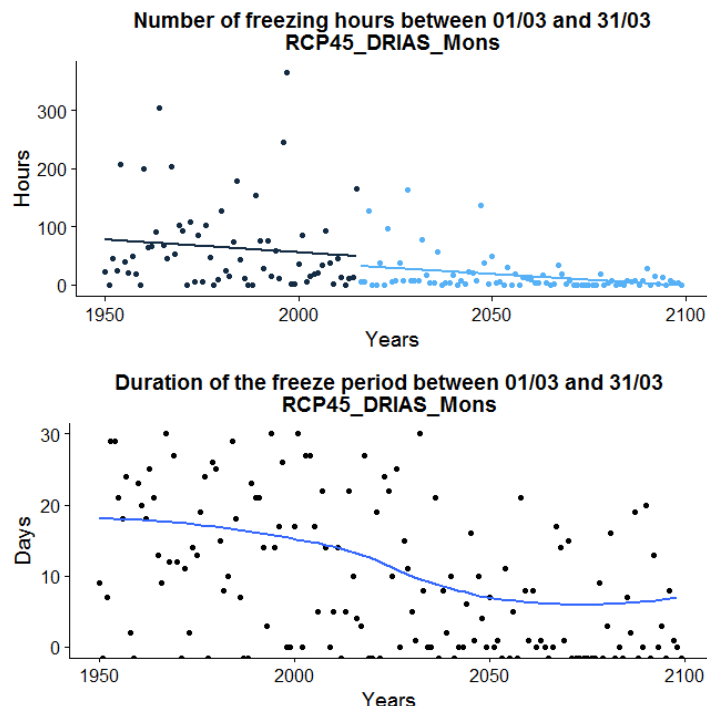
LES STRATEGIES D'ADAPTATION TESTEES.

Le climat dans le futur sera à la fois plus chaud et plus sec en été. C'est ce qui permet de réduire le risque mildiou comme on l'a vu précédemment. Or, la pomme de terre elle-même nécessite des conditions climatiques sans excès de chaleur et avec une alimentation hydrique relativement régulière. C'est pourquoi, nous avons testé des stratégies d'adaptation permettant d'éviter la période trop chaude et sèche des étés futurs par une plantation avancée en fin d'hiver pour le site de Mons (plantation en janvier ou février pour une levée en mars après la période de risque de gel).

Le risque de gelée en mars va décroître très significativement surtout à partir de 2050-2060 (Figure 6). En regardant plus en détail, on constate qu'à partir de 2060, les gelées seront très rares après le 15/03. Les pommes de terre pourront donc être levées entre le 01 et le 15/03.

Figure 6 : Evolution des nombres de jours et d'heures de gel ($T < 0^{\circ}\text{C}$) en mars pour la période de référence 1950-2009 (en noir) et la période future 2010 – 2100 (en bleu) (Mons).

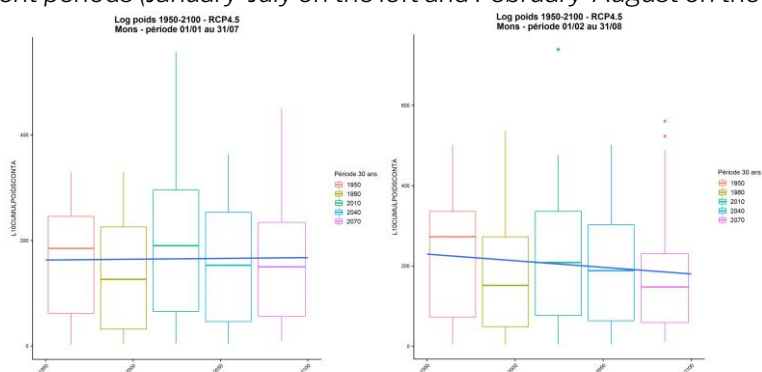
Figure 6: Evolution of the number of freezing hours and days ($T < 0^{\circ}\text{C}$) in March for the reference period 1950-2009 (in black) and the future period 2010-2100 (in blue) (Mons).



Le risque mildiou reste stable ou en légère baisse sur cette période et se situe légèrement en dessous des valeurs observées actuellement en été. La baisse est moins nette que pour la saison estivale. Cela est dû, en particulier, à l'augmentation hivernale des températures. (Figure 7).

Figure 7 : Evolution des cumuls de poids de contaminations selon le scénario RCP4.5 à Mons pour différentes périodes (Janvier-juillet à gauche et février-août à droite).

Figure 7: Evolution of sum of weight of contaminations according to RCP4.5 scenario at Mons for different periods (January-July on the left and February-August on the right).

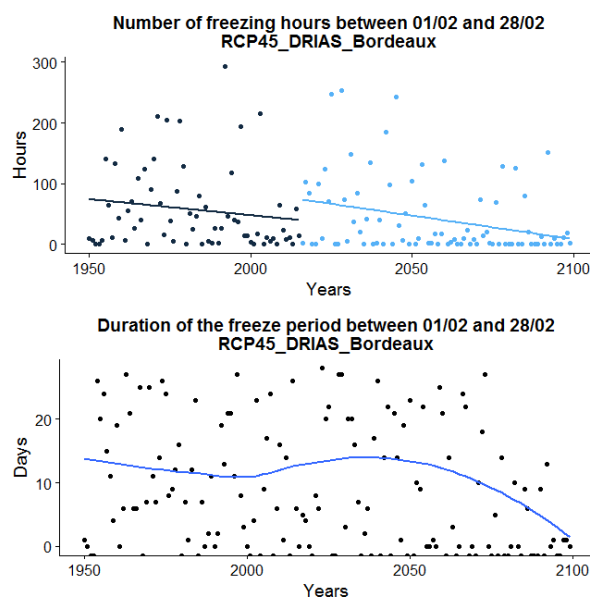


Dans le cas de Bordeaux, nous avons testé une production de contre-saison, plantée en novembre ou décembre et avec une levée en février, un peu à l'image de certaines pratiques culturales actuelles au Maghreb. Ces stratégies d'adaptation ont été testées pour les scénarii RCP4.5 et RCP8.5 mais seuls les résultats avec le RCP4.5 sont présentés ci-dessous.

Le risque de gelée en février devient très faible à Bordeaux après 2060 comme le montre la figure 8 à la fois en nombre de jours et en nombres d'heures. Une levée des parcelles au milieu ou à la fin du mois de février paraît donc envisageable.

Figure 8 : Evolution des nombres de jours et d'heures de gel ($T < 0^{\circ}\text{C}$) en février entre 1950 et 2100 (Bordeaux).

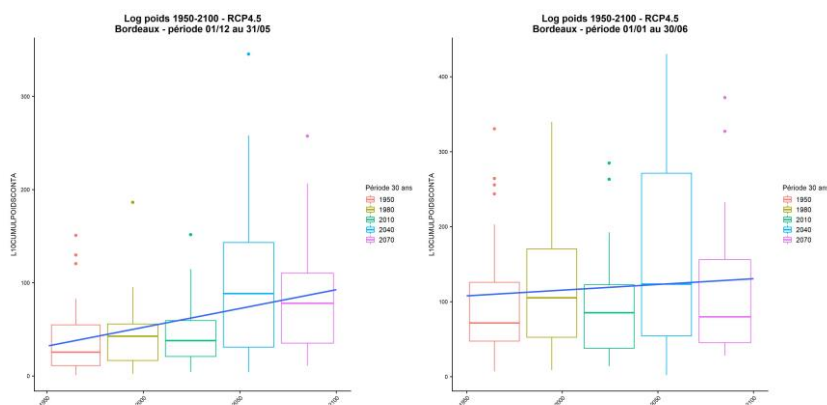
Figure 8: Evolution of the number of freezing hours and days ($T < 0^{\circ}\text{C}$) in February from 1950 to 2100 (Bordeaux).



Concernant le risque mildiou, il augmente fortement en hiver à cause de la hausse des températures et donc plus fortement pour la période décembre-mai. Cependant, comme à Mons, il reste inférieur aux valeurs connues en saison estivale aujourd'hui (Figure 9).

Figure 9 : Evolution des cumuls de poids de contaminations selon le scenario RCP4.5 à Bordeaux pour différentes périodes (Décembre-mai à gauche et janvier-juin à droite).

Figure 9: Evolution of sum of weight of contaminations according to RCP4.5 scenario at Bordeaux for different periods (December-May on the left and January-June on the right).



DISCUSSION

Les résultats de cette étude ont permis de montrer que les données climatiques futures fournies par le projet DRIAS et transformées en données horaires par l'INRA AgroClim à Avignon ont la qualité requise pour une valorisation dans Mileos®. Cette validation préalable sur les valeurs de cumul de risque mildiou obtenues pour les deux périodes du passé (1950-2009) était indispensable pour vérifier la fiabilité des données utilisées.

Dans le contexte du dérèglement climatique actuellement en cours, il y aura nécessité d'adapter les cultures de pommes de terre en France à cette nouvelle réalité climatique. Il est probable que les adaptations nécessaires seront guidées avant tout par des stress abiotiques (excès de chaleur, stress

hydrique,...) plutôt que par les stress biotiques. Ceci dit, ce premier travail avait pour but de vérifier que les adaptations rendues nécessaires pour compenser l'effet négatif des stress abiotiques n'étaient pas génératrices de stress biotiques (mildiou en particulier) difficilement gérables. Dans cette étude, nous nous sommes donc intéressés uniquement aux évolutions prévisibles des risques d'attaque de mildiou avec le calendrier actuel des cultures et enfin avec un avancement des dates de plantation. Cet avancement a été adapté au risque de gel après levée des pommes de terre selon les sites.

Il apparaît clair que, quelque soient les sites et les scénarii testés, le risque mildiou va décroître à l'avenir, plus ou moins selon les scénarii et les sites et d'autant plus à Versailles et Bordeaux qu'à Mons. Cette évolution commencera plus ou moins tard selon les scénarii : vers 2040 pour la RCP8.5 et vers 2070 pour le RCP4.5, en corrélation avec les hausses de température programmées. Dans le cas des décalages de calendrier de culture, le risque mildiou pourra augmenter mais en restant inférieur, voire très inférieur aux valeurs actuellement constatées en saison estivale.

Ces résultats ont été obtenus avec la version 2018 de Mileos® qui prend en compte les caractéristiques des nouvelles populations de mildiou (Corbières *et al.*, 2017, Chatot *et al.*, 2015) mais ne prend pas en compte les éventuels futurs changements de populations à venir qui pourraient modifier, par exemple, la réaction à la température de cette maladie.

Ces travaux constituent une première étape de cette étude d'impact du dérèglement climatique sur les cultures françaises de pommes de terre. Ils devront être complétés par d'autres travaux concernant :

- La nécessité de valider et la robustesse et la cohérence de ces résultats à une échelle plus large en mobilisant d'avantage de points.
- La réalisation de profils épidémiques complets de manière à identifier les périodes de risque les plus fréquentes. Il est possible que les épidémies futures soient plus fréquemment divisées en périodes très tranchées de risque fort sur quelques semaines suivies de plusieurs semaines sans aucun risque (un peu à l'image des épidémies 2012, 2016 et 2017).
- L'impact réel sur les calendriers de traitements fongicides contre le mildiou et donc sur les indices de fréquence de traitement (IFT).
- L'impact des hivers plus doux fréquents sur la quantité d'inoculum primaire de mildiou à la sortie de l'hiver et donc sur la violence de démarrage des épidémies au printemps.
- L'impact sur le risque alternariose pour les cultures, sachant que cette maladie est connue pour être favorisée par des conditions climatiques chaudes, de type continentales ou méditerranéennes.
- L'impact des décalages de dates de plantation sur la physiologie de la plante, en particulier la tubérisation et le rendement en jours courts, ainsi que les conséquences éventuelles sur les choix variétaux.

Ce ne sera qu'après l'obtention de tous ces résultats complémentaires que des stratégies d'adaptation pourront faire l'objet de réflexion dans les filières de production.

CONCLUSION

Il semble clair que l'augmentation des températures et la diminution probable de l'humidité de l'air dues au réchauffement climatique vont provoquer une baisse plus ou moins marquée des risques de développement du mildiou dans les cultures de pommes de terre en France. Les stratégies d'adaptation testées (décalage des dates de plantation jusqu'à la contre-saison) montrent des possibilités d'adaptation pour faire face aux effets des stress abiotiques prévisibles sans pour autant aggraver le risque mildiou et même, dans la plupart des cas, en diminuant ce risque. Il sera important de bien évaluer les conséquences de ces adaptations sur la physiologie et le rendement de la pomme de terre avant de les valider.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'équipe du projet CLIF ainsi que l'ANR pour le financement de ce projet.

Ils remercient aussi Floriane LARRIEU pour son aide dans la réalisation des premières simulations Mileos®.

BIBLIOGRAPHIE

Agreste – L'évolution des traitements phytosanitaires entre 2011 et 2014. Les dossiers n°36, septembre 2016, 35p.

Chatot C., Adrivot D., Gaucher D., Corbière R. (2015). Epidémiologie-surveillance du mildiou de la pomme de terre en France : enjeux actuels et acquis récents. 9ème Colloque de la Société Française de Phytopathologie, Colmar, France, 2-5 juin 2015.

Corbière R., Chatot C., Mabon R., Gaucher D., Aurousseau F., Barbary A., Lamy P., Adrivot D. (2017) Monitoring French populations of *Phytophthora infestans* 2013-2016 on potato reveals local changes in genotypic structures. In Abstract Book, Proceedings of 20th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Versailles, July 9-14, 2017.

Gaucher D., Deudon O., Larrieu F., Launay M., Huard F. (2017) – Effects of climate change on potato late blight and adaptation strategies. Proceedings of the 20th EAPR triennial conference. VERSAILLES (F) – 9-14 July 2017, p 128.

Gaucher D., Chatot C. (2017) – Mileos®, the French DSS to control potato late blight : recent studies to improve the relevance of the tool. Proceedings of the 20th EAPR triennial conference. VERSAILLES (F) – 9-14 July 2017, p 193.

Gouache D., Bensadoun A., Brun F., Pagé C., Makowski D., Wallach D., (2013). Modelling climate change impact on Septoria tritici blotch (STB) in France: Accounting for climate model and disease model uncertainty. Agricultural and Forest Meteorology, 170, 242–252.

Gourdain E., Deudon O., Corre C., Grignon G., Meleard B. (2015). Apports et limites des modèles dans l'évaluation des risques fusariose et DON à différentes échelles spatio-temporelles dans un contexte de changement climatique. AFPP Abstracts de la onzième conférence sur les maladies des plantes – Tours – 7 au 9 décembre 2015, 171-182.

Hansen J.G., Gaucher D., et al. (2017) – Integration of pathogen and host resistance information in existing DSS – Introducing the IPMBlight 2.0 approach. Proceedings of the sixteenth EUROBLIGHT WORKSHOP. AARHUS (DK) – 14-17 May 2017, pp 147-158.

Launay M., Caubel J., Bourgeois G., Huard F., Garcia de Cortazar-Atauri I., Bancal M.O., Brisson N., 2014. Climatic indicators for crop infection risk: Application to climate change impacts on five major foliar fungal diseases in Northern France. Agriculture, Ecosystems & Environment, 197, 147–158.

Manici L.M., Bregaglio S., Fumagalli D., Donatelli M., (2014). Modelling soil borne fungal pathogens of arable crops under climate change. International Journal of Biometeorology, 58, 2071–2083.

Verjux N. (2017) - Integrated Pest management - Official status in Europe, example of development in France. Keynote lecture. Abstracts of papers and posters, 20th Triennial Conference EAPR, 9-14 July 2017, Versailles (France), 14.