



LE MILDIOU DU MELON

BIOLOGIE, ÉPIDÉMIOLOGIE ET PRÉVISION DES RISQUES

RÉSUMÉ

Le mildiou (*Pseudoperonospora cubensis*) est un oomycète, organisme aquatique proche des algues, s'attaquant exclusivement au feuillage des cucurbitacées (concombre, melon et courgette) en France et dont les symptômes en mosaïque sont très caractéristiques. Sa vitesse de propagation en fait un pathogène redouté des producteurs et sa recrudescence dans certains bassins de production nécessite un contrôle rigoureux et des moyens de lutte adaptés. Face à ce contexte, des connaissances de base sur la maladie sont indispensables, la lutte doit être rapide, et les modèles de prévision de risques restent des outils précieux pour anticiper les attaques et protéger les cultures.

DOWNY MILDEW ON MELON : BIOLOGY, EPIDEMIOLOGY AND DISEASE FORECASTING

Downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) is an oomycete, an aquatic organism similar to algae that only attacks the foliage of cucurbits (cucumber, melon, and courgette) in France by producing characteristic spots or patches. The speed at which the disease spreads makes it a pathogen feared by growers and the outbreaks in certain areas of production have made effective control methods necessary to protect crops. Within this context basic knowledge of this disease is indispensable, control must be swift and disease forecasting models remain indispensable tools in anticipating attacks and protecting crops.

Cet article vise à faire un point sur l'agent pathogène responsable du mildiou et vient combler l'absence de descriptif du modèle Milmel, créé par la DGAL en 1993, transféré au Ctifl en 2011, et disponible depuis 2012 sur la plate-forme Inoki.



> SYMPTÔMES EN MOSAÏQUE DU MILDIOU DES CUCURBITACÉES (*PSEUDOPERONOSPORA CUBENSIS*) SUR LA FACE INFÉRIEURE D'UNE FEUILLE DE MELON



RÉPARTITION ET SITUATION EN FRANCE

La répartition de ce champignon est mondiale, et bien qu'on le retrouve principalement dans les zones tropicales ou subtropicales, des dégâts sont observés dans toutes les situations de production, même les plus septentrionales, puisqu'il cause des pertes non négligeables aux États-Unis, en Europe, en Chine et en Israël notamment (Savory *et al.*, 2011). Il existe différentes souches de *P. cubensis* à travers le monde. Leur virulence et la gamme d'hôtes qu'elles attaquent sont très variables. En France, l'agent responsable du mildiou est présent depuis de nombreuses années, causant des attaques importantes sur concombre et melon. Récemment, des symptômes de mildiou ont été observés sur courgette, laissant présager l'apparition de nouvelles souches sur le territoire (Blancard D., communication personnelle).

SYMPTÔMES ET DÉGÂTS

Le mildiou attaque exclusivement les feuilles des cucurbitacées, même s'il est possible d'observer le pathogène (sous forme de sporangiophores) sur tiges et pétioles. Les symptômes varient selon l'hôte : alors que sur concombre et Luffa (courge éponge), les taches sont angulaires, jaunes et contenues par les nervures (symptômes en mosaïque), elles sont plus variables, plutôt circulaires, irrégulières et ne sont pas systématiquement restreintes par les nervures sur melon et pastèques (Lebeda et Cohen, 2011 ; Savory *et al.*, 2011).

Dans tous les cas, les taches sont d'abord pâles et humides dès le début de l'attaque, puis jaunissent avant de brunir et de se nécroser. Sur la face inférieure des feuilles, il est possible d'observer les sporangiophores portant des sporanges sous la forme d'un feutrage dont la couleur varie du gris clair au mauve foncé (Lebeda et Cohen, 2011 ; Blancard et Mayet, 2014 ; Savory *et al.*, 2011). Les tissus affectés peuvent soit se décomposer et tomber lorsque les conditions sont très humides, soit se dessécher entièrement tout en restant fixés à la plante, dressés et enroulés (Blancard et Mayet, 2014).



> TACHES CARACTÉRISTIQUES DU MILDIU DES CUCURBITACÉES (*PSEUDOPERONOSPORA CUBENSIS*) SUR LA FACE SUPÉRIEURE D'UNE FEUILLE DE MELON (TACHES JAUNES DEVENANT NÉCROTIQUES SUR LA PARTIE DROITE DE LA FEUILLE)

BIOLOGIE ET ÉPIDÉMIOLOGIE

REPRODUCTION DU PATHOGENE ET TYPES SEXUELS

Comme pour la plupart des oomycètes, les cycles asexués et sexués sont tous deux observés (Figure 1) :

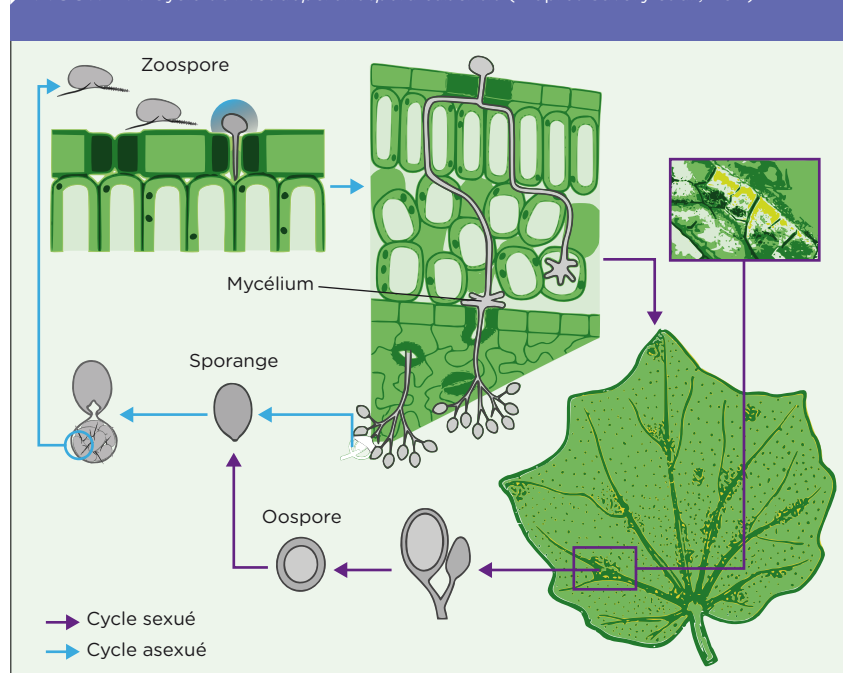
- Reproduction asexuée : Elle est matérialisée par la formation de sporangiophores à l'extrémité desquels sont formés des sporanges ; ces derniers représentent la principale forme de dissémination du mildiou, de laquelle sont issus les zoospores qui contaminent ensuite les nouvelles feuilles (Lebeda et

Cohen, 2011). Notons que les sporanges peuvent aussi germer directement et produire un mycélium assurant la contamination (cas de figure non pris en compte dans le cycle figure 1).

- Reproduction sexuée : celle-ci est rare, mais a déjà été rencontrée en Autriche, Israël, Inde et Chine (Lebeda et Cohen, 2011). Elle s'effectue via la production d'oospores en fin de saison sur les feuilles nécrosées et desséchées ; elle pourrait permettre la conservation du champignon en hiver.

L'agent du mildiou est un organisme hétérothallique qui nécessite la pré-

FIGURE 1 : Cycle de *Pseudoperonospora cubensis* (D'après Savory *et al.*, 2011)





sence de deux groupes de compatibilité complémentaires pour se reproduire. Il faut pour cela la présence d'une souche de type A1 (plutôt présente sur *Cucumis* spp.) et d'une souche de type A2 (plutôt présente sur *Cucurbita* spp.) (Blancard et Mayet, 2014 ; Cohen, Y. & Rubien, A.E., 2012). Jusqu'à présent, les souches de type A2 n'ont jamais été détectées en France, laissant supposer qu'aucune reproduction sexuée ne pouvait s'y réaliser. Toutefois, cela reste à confirmer avec la manifestation de symptômes de mildiou sur courgette.

ÉPIDÉMIOLOGIE ET CONDITIONS FAVORABLES AU DÉVELOPPEMENT

La progression du mildiou sur les feuilles et sa propagation au sein d'une parcelle peut être très rapide. Cependant, cet oomycète nécessite la présence obligatoire d'eau pour se développer, et il est inhibé par de trop fortes températures. L'humidité est nécessaire pour le processus d'infection (rapidité de pénétration du pathogène) ; la température détermine la vitesse du cycle (Neufeld et Ojiambo, 2012).

Contamination

Les sporanges, transportés généralement par le vent, germent directement ou libèrent leurs zoospores flagellés dès qu'ils sont en contact avec le feuillage du végétal. Des filaments mycéliens assurent la pénétration dans les cellules végétales. La présence d'eau sur les feuilles est indispensable à la germination. Des températures comprises entre 10 et 20 °C, ainsi qu'une durée d'humectation de 6 h sont des conditions idéales pour cette étape du cycle biologique (Lebeda et Cohen, 2011). Toutefois, une période d'humectation de 2 h à des températures comprises entre 20 et 25 °C sont souvent suffisantes (Blancard et Mayet, 2014).

Apparition des symptômes

La période d'incubation du pathogène (des contaminations à l'apparition des symptômes) varie de 4 à 12 jours selon les conditions climatiques, la quantité d'inoculum et le niveau de sensibilité de la plante. Les conditions optimales de développement de *P. cubensis* sont une forte hygrométrie (brouillard, rosée, pluie, irrigation par aspersion) et des températures élevées : entre 25 °C et 30 °C pendant la journée, alternant

avec des températures plus fraîches la nuit, idéalement comprises entre 10 et 15 °C.

Sporulation

Le mildiou est une maladie polycyclique, c'est-à-dire que plusieurs cycles de développement se succèdent au cours d'une même saison. Durant la période d'incubation, les tissus sont peu à peu colonisés par le mycélium à partir duquel se forment et émergent des sporangio-phores via les stomates situés à la face inférieure du limbe. De nouveaux sporanges sont alors émis des sporangio-phores et constituent la source d'inoculum secondaire. Ainsi, à partir d'une zone de production contaminée, de nombreux repiquages sont possibles, entraînant une propagation souvent très rapide de la maladie sur la plante, dans la parcelle et même la zone de production.

Dissémination

Les sporanges sont très facilement disséminés par le vent et peuvent parcourir plusieurs centaines de kilomètres. Aux États-Unis, l'hivernage du champignon à lieu en Floride, puis celui-ci se disperse rapidement au cours de la saison dans toutes les zones de production (Savory *et al.*, 2011, Ojiambo et Kang, 2012). Les sporanges sont également dispersés par les projections et les ruissellements d'eau ayant lieu lors de précipitations importantes ou lors d'utilisation de systèmes d'irrigation par aspersion. Des contaminations mécaniques peuvent également être responsables de la dissémination du pathogène, d'où l'importance de raisonner les pratiques culturales et de bien nettoyer les outils potentiellement contaminés.

Conservation

La conservation du pathogène d'une saison à l'autre est encore mal connue. La survie des sporanges et des zoospores hors de la plante hôte étant limitée dans le temps (de quelques heures à quelques semaines), c'est probablement sous la forme d'oospores que l'agent du mildiou survit aux conditions défavorables. Ce type de spore aux parois épaisses et



> DÉGÂTS DU MILDIOU DES CUCURBITACÉES (*PSEUDOPERONOSPORA CUBENSIS*) SUR MELON. LA TOTALITÉ DE LA CULTURE EST TOUCHÉE

résistantes est issu de la reproduction sexuée de l'organisme et correspond à la forme de survie de nombreux oomycètes. Toutefois, la littérature mentionne peu de cas de reproduction sexuée chez *P. cubensis* et l'observation de la présence d'oospores, notamment en Europe, reste peu fréquente. D'autres modes de survie peuvent donc être envisagés. Le plus probable, puisque le mildiou est un parasite biotrophe obligatoire, est le maintien du pathogène sur des cucurbitacées vivantes, sauvages ou cultivés, présentes pendant l'hiver dans les zones plus clémentes comme le Sud-Est de l'Europe (Savory *et al.*, 2011). Les sporanges pouvant se déplacer sur de très grandes distances, il est fort probable que les sources d'inoculum primaire au printemps soient issues de ces régions. Les cucurbitacées cultivées à contre-saison peuvent également permettre au pathogène de se maintenir durant l'hiver et d'être ainsi présent toute l'année, de même que les cucurbitacées sauvages telles que la Bryone (*Bryonia dioica*) (Savory *et al.*, 2011).

MOYENS DE PROTECTION EN PROPHYLAXIE

D'un point de vue prophylactique, toutes les techniques permettant de réduire



l'humidité au sein de la parcelle et d'éviter la présence d'eau stagnante sur la surface des feuilles sont à préconiser.

- Sous tunnel (risque moindre), il est conseillé de fermer les ouvrants en cas de pluie et de limiter les bassinsages répétés.

- En plein champ, l'irrigation par aspersion est à éviter, surtout le soir ou le matin.

- Les débris de culture doivent être éliminés et détruits dès la fin de récolte afin de ne pas constituer une source d'inoculum pour les parcelles voisines en végétation.

- Le drainage des parcelles de plein champ à forte rétention en eau doit être maximisé.

Peu de variétés résistantes sont proposées chez les cucurbitacées cultivées pour contrôler le mildiou ; les niveaux de tolérance observés chez certains cultivars de concombre sont intéressants, surtout lorsque ceux-ci sont associés aux efficacités partielles des autres méthodes de protection.

Le principal moyen de lutte consiste à appliquer préventivement des produits phytopharmaceutiques à fréquence régulière. Cependant, de nombreuses souches ont déjà montré des signes de résistantes aux différentes matières actives utilisées pour lutter contre le mildiou (metalaxyl, mefenoxam, flumorph, dimethomorph, azoxystrobine, enostrobilurine, kresoxim-méthyl, mancozèbe, strobilurine, etc.), d'où l'importance d'alterner les familles chimiques au cours de la saison (Savory *et al.*, 2011).

Enfin, les outils de prévision des risques permettent de mieux positionner les traitements anti-mildiou, mais aussi de limiter le nombre d'applications, réduisant ainsi les risques d'apparition de souches résistantes.

LA MODÉLISATION DE LA MALADIE (DGAL MILMEL)

La complexité de la lutte contre le mildiou réside dans la difficulté à stopper des attaques déclarées (Monnet, 2000). Le raisonnement de la lutte s'appuie sur (1) l'évaluation d'un risque à l'échelle d'une petite région agricole, (2) une protection préventive, et (3) le choix et la gestion par le producteur de spécialités phytosanitaires adéquates (pour

éviter les phénomènes de résistance).

Il existe deux types de modèles de prévision de *Pseudoperonospora destructor* (mildiou des alliées) utilisés à l'heure actuelle : les modèles simulant localement les cycles de développement de la maladie à partir de données de stations météorologiques (Li *et al.*, 2014) et les modèles qui vont intégrer des paramètres complémentaires que sont la dissémination à partir d'une source et la déposition des spores du champignon pour simuler un risque dans l'espace et l'afficher sous forme de carte (Ojiambo et Kang, 2012).

Le modèle Milmel fait partie de la première catégorie de modèle. Il a été développé par la DGAL et, opérationnel depuis 1997, permet de prévoir les risques d'attaques de mildiou selon les conditions météorologiques et l'état d'avancement de la culture. Ce modèle a pu être établi grâce aux connaissances relativement précises de la biologie et l'écologie du champignon.

HISTORIQUE

Le modèle de prévision du mildiou du melon DGAL (Direction générale de l'alimentation) Milmel (acronyme de mildiou du melon) a été créé en 1993-

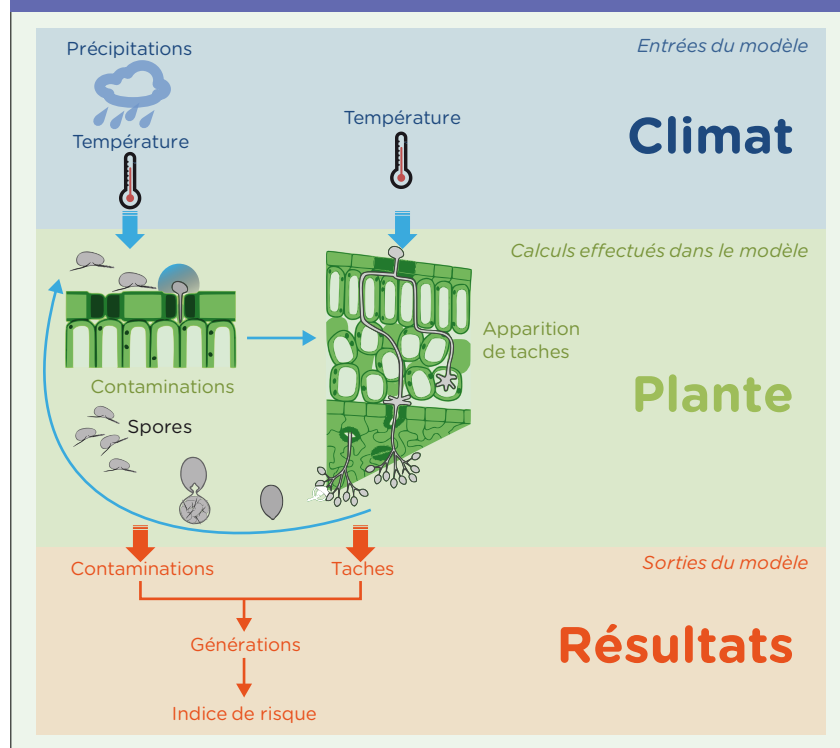
1994 par Jacques Rouzet, alors responsable national modélisation au sein du SRPV (Service régional de protection des végétaux) du Languedoc-Roussillon.

Il a été validé et utilisé depuis cette date en appui des avertissements agricoles et maintenant des Bulletins de Santé du Végétal (BSV). Au même titre que neuf autres outils similaires, il a été transféré en 2011 au Ctifl par convention dans le cadre du plan Ecophyto (Axe 5 réseaux de surveillance sur les biogresseurs) afin d'être intégré dans la plate-forme de modèles Inoki. Il est disponible en production depuis 2012.

FONCTIONNEMENT DE MILMEL

Le modèle commence à fonctionner dès la date de plantation (pour les cultures de plein champ) ou au débâchage de la culture (pour les cultures couvertes). À partir de cette date, les données climatiques de la parcelle permettent de simuler les périodes contaminatrices, les apparitions de taches, les successions de cycles secondaires (reproduction du pathogène)... Ces informations sont synthétisées sous forme d'un indice de risque (Figure 2).

FIGURE 2 : Schéma de fonctionnement du modèle Milmel





Ainsi, seules la date de démarrage et les données météorologiques sont nécessaires pour faire tourner ce modèle.

Les données climatiques nécessaires

Dans le cas du mildiou, le déclenchement des contaminations est dépendant de l'action concomitante des précipitations et températures favorables. L'incubation et l'apparition de tâches sont uniquement influencées par la température. Contrairement à la plupart des modèles de prévision d'attaques fongiques, ce modèle n'utilise pas les données d'humectation, ni les valeurs horaires de température et pluviométrie. Les données nécessaires sont uniquement les températures minimales et maximales quotidiennes, ainsi que les valeurs des précipitations journalières. Cette particularité le rend moins exigeant sur la quantité de données climatiques nécessaires. Pour un particulier, ce modèle nécessitera donc de disposer d'une station météorologique à proximité (quelques kilomètres au maximum). Dans le cadre plus large du conseil aux producteurs ou pour les Bulletins de santé du végétal, le raisonnement s'effectuera plutôt par zone de culture. Cette échelle est à privilégier au vu de la rapidité de dispersion du pathogène.

Comment est choisie la date de début de modélisation ?

Le risque commence dès qu'une culture est exposée au vol de spores. Pour le plein champ, cela correspond à la date de plantation. Pour les cultures temporairement couvertes (chenilles, bâches...), ce risque correspond à la date de débâchage. Les tunnels ne sont presque jamais touchés par le mildiou, sauf erreur de gestion climatique.

Calculs

Les calculs commencent dans le modèle à la date de démarrage fournie par l'utilisateur et permettent en sortie de modèle de fournir deux types d'informations :

- l'enchaînement des contaminations (successions des cinq dernières dates de contaminations) et nombre de générations du pathogène ;
- un indice de risque, qui en fonction de l'historique permettra d'interpréter les résultats selon le contexte de l'utilisateur.

CONTAMINATION

Dans la littérature, germination et contamination ont été comparées sur melon, concombre et courge poivrée (Neufeld et Ojiambo, 2012). Dans le détail, il s'avère que les conditions de température diffèrent entre contamination

et germination (Arauz *et al.*, 2010) avec un optimum situé entre 21 et 23 °C pour les contaminations et 16 et 18 °C pour la germination (Figure 3).

Dans le cas de Milmel, plusieurs phénomènes ont été assimilés par l'auteur du modèle dans un seul compartiment nommé « contaminations » et aucune distinction n'est faite entre la déposition des spores et leur germination (Ojiambo, 2005), leur germination, et la contamination de la plante.

Dans notre modèle, le déclenchement des contaminations repose sur les précipitations et la température. L'efficacité de la contamination est optimale à 15 °C (Figure 3).

INCUBATION ET APPARITION DES SYMPTÔMES

Il n'y a que peu de données dans la littérature sur la durée d'incubation de *P. cubensis* selon la température et aucune sur le melon précisément. La plupart des références proviennent donc de travaux réalisés sur concombre (Arauz *et al.*, 2010). La comparaison de la courbe d'incubation de notre modèle avec d'autres courbes, issues de la littérature, est montrée en figure 4. Entre 8 et 22 °C, la durée d'incubation varie de 18 à 6,5 jours avec un optimum à 15 °C.

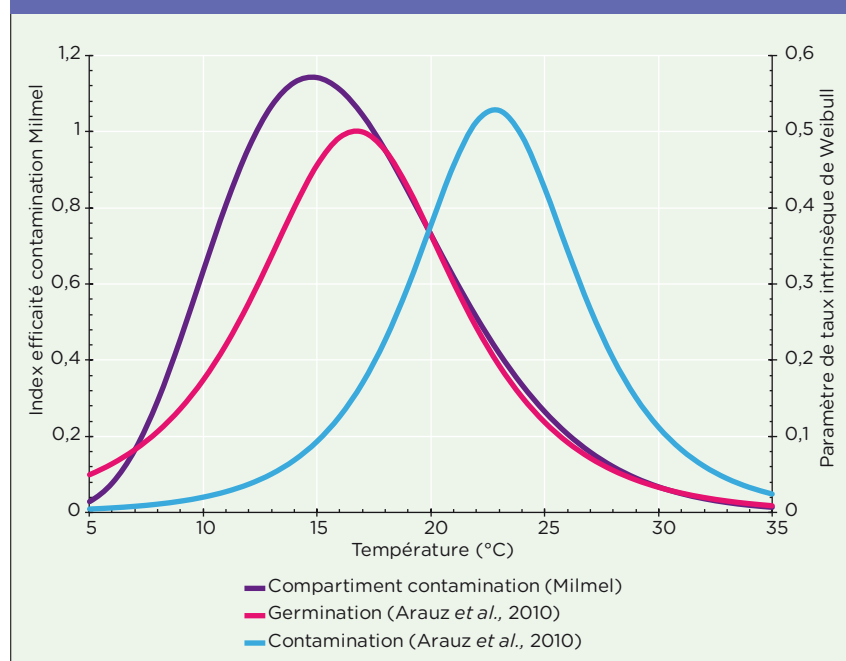
Dans Milmel, la durée entre la contamination et la « sortie de tache » est dépendante de la température. La « sortie de tache » signifie ici en même temps l'apparition des symptômes et la capacité de ces taches à sporuler.

Dans le modèle de Yang (Yang *et al.*, 2007), il faut ajouter des conditions complémentaires pour voir apparaître les symptômes dans les 24 heures après l'achèvement de l'incubation : une température la nuit précédente d'avant entre 15 et 20 °C et une humidité relative moyenne de 83 %.

INTERPRÉTATION DE L'INDICE DE RISQUE - DOMAINE DE VALIDITÉ

L'indice de risque intègre le numéro de génération, le cumul des précipitations, les périodes défavorables, ainsi que le nombre de contaminations. Cumulé et exprimé en logarithme, il sera utilisable selon différentes interprétations dépendantes du contexte. Il correspond, en logarithme, à un nombre de contaminations par unité de surface, en partant de la date d'initialisation du modèle, pour une parcelle non protégée (Tableau 1).

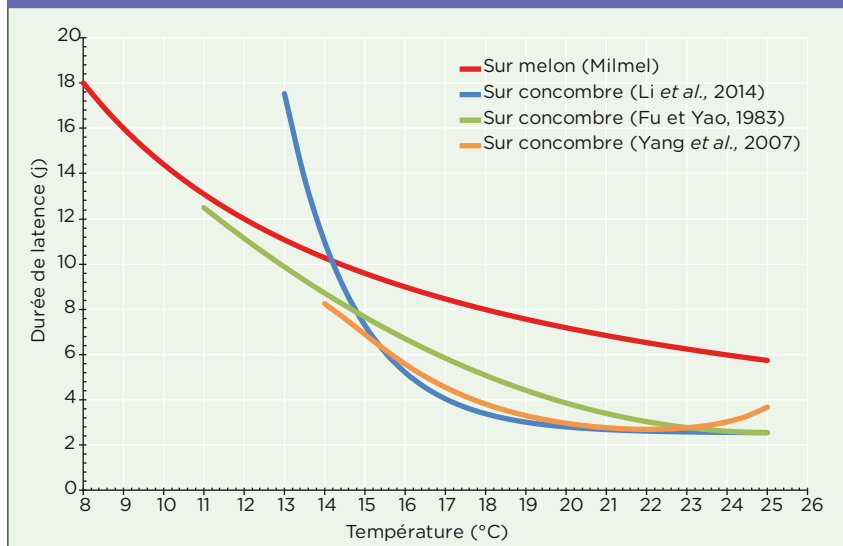
FIGURE 3 : Représentation de l'efficacité des contaminations sur melon selon la température



Comparaison entre l'équation de Milmel, qui se base sur les précipitations et celles d'Arauz *et al.*, 2010 qui reposent sur la durée d'humectation



FIGURE 4 : Représentation de la durée d'incubation (en jours sur melon) parmi d'autres courbes issues de la littérature sur concombre



Interprétation de l'indice de risque pour un producteur

Les techniciens qui circulent sur une zone agricole ont une vision globale et voient plusieurs exploitations. Ils ont plus d'éléments pour utiliser de manière efficace les données de modélisation que le producteur. Étant donné les particularités de la maladie et du modèle, il est difficile, sinon déconseillé au maraîcher, d'exploiter seul les données de modélisation de Milmel (Tableau 2).

Interprétation de l'indice de risque dans le cadre du conseil ou des BSV

La dernière colonne donne une interprétation de l'indice de risque telle qu'utilisée dans les Bulletins de santé du végétal (BSV) en Languedoc-Roussillon (Chevrier *et al.*, 2014) (Tableau 3).

Réécalonnage grâce aux observations pour le conseil ou les BSV

Sous certaines conditions, en début de campagne, il est possible de réécalonner le modèle par rapport aux observations réalisées. Il est possible d'annuler dans l'indice de risque des conditions qui n'ont pas eu lieu, et ainsi de réévaluer correctement le risque au champ à la baisse (Roubal, 2008). Cela suppose d'avoir des retours négatifs de l'ensemble du réseau d'observation sur la présence de mildiou pour la zone de production.

La réinitialisation du modèle à la date de la première contamination se fera

de façon glissante. Ainsi, par prudence, cette opération ne se fera jamais sur la génération en cours, mais une fois

cette dernière achevée, en constatant l'absence de sortie de tache pour la génération qui suit.

Après l'apparition d'un premier foyer dans une zone de production, la date d'initialisation du modèle Milmel ne doit plus changer, sauf en cas de longue période sèche et de disparition certaine du mildiou au champ.

En résumé, les conditions de ce réécalonnage sont :

- avoir des retours d'observation sur la zone concernée, de taille équivalente à une petite région agricole ;
- ne pas observer de foyer depuis le début de la saison et pendant au moins une génération sur cette zone.

Comment effectuer cette opération ? :

- en réinitialisant la date de démarrage à la dernière date de contamination théorique indiquée par le modèle ;
- continuer en l'absence de foyer observé.

Stopper cette opération dès l'apparition d'un premier foyer.

TABEAU 1 : NIVEAU DE RISQUE ÉVALUÉ PAR LE MODÈLE

Niveau de risque	Indice : Log (nb de taches/unité de surface)	Équivalent en unité de surface
Faible	- 14 à - 9	1 tâche par hectare à 1 par 100 m ²
Moyen	- 9 à - 4	1 tâche par 100 m ² à 1 par m ²
Elevé	- 4 à 0	1 tâche par m ² à 1 % de surface atteinte
Très élevé	0 à + 4	1 % à 100 % de surface atteinte

TABEAU 2 : INTERPRÉTATION DU NIVEAU DE RISQUE/PRODUCTEUR

Niveau de risque	Interprétation pour un particulier
Faible	Recherche calme et sereine des taches. Ne pas traiter le mildiou.
Moyen	Tournée « normale » d'observation. Traiter à l'annonce d'une pluie ou d'une période perturbée.
Elevé	Recherche des premiers foyers. Traiter préventivement, en cadence ou si lessivage.
Très élevé	Prospection « chacun pour soi », traitement en cadence avec des spécialités.

TABEAU 3 : INTERPRÉTATION DU NIVEAU DE RISQUE/AVERTISSEMENT

Niveau de risque	Interprétation pour les BSV (Languedoc-Roussillon, Chevrier <i>et al.</i> , 2014)
Faible	Pas de franchissement de seuil de tolérance, sauf cas exceptionnel.
Moyen	Surveiller les prévisions météorologiques, franchissement du seuil de dégâts possible çà et là au cours de la prochaine pluie.
Elevé	Surveiller les prévisions météorologiques, franchissement du seuil de dégâts possible au cours de la prochaine pluie.
Très élevé	Franchissement généralisé du seuil de risque en toute situation.



Domaine de validité

Le modèle a été utilisé continuellement dans la zone de production Midi-Pyré-

nées et est considéré comme validé en Languedoc-Roussillon. Le modèle a été testé dans le Sud-Ouest en 2012. Dans

cette région, le modèle Milmel DGAL a tendance à maximiser le risque et ne semble pas prendre en compte les

FIGURE 5 : Affichage des résultats synthétiques d'une simulation d'une épidémie de mildiou sur melon par le modèle Milmel disponible sur le portail Inoki



FIGURE 6 : Affichage des résultats détaillés d'une simulation d'une épidémie de mildiou sur melon par le modèle Milmel disponible sur le portail Inoki





périodes de fortes chaleurs qui devraient mener à une diminution plus importante du risque (Cazaubon, 2012). Au contraire, et parce que le modèle n'utilise que les précipitations, les données d'humectation et les rosées matinales ne sont pas prises en compte. Il faudrait augmenter les niveaux de risque dans ce cas de figure.

SORTIES DU MODÈLE

Inoki connecte automatiquement le modèle aux données climatiques. Cette plate-forme se charge d'effectuer quotidiennement les simulations selon les paramètres prédéfinis par l'utilisateur. Après avoir configuré en début de campagne son parcellaire et les paramètres du modèle, l'utilisateur pourra se focaliser sur l'interprétation des données. En cas de problèmes, des indicateurs sous forme d'icônes permettront à l'utilisateur de trouver plus facilement la source de ces derniers. Une synthèse des résultats est disponible sans accéder systématiquement au détail des calculs effectués. Les graphiques ne sont pas encore disponibles.

Synthèse des données

Sont affichés (Figure 5) :

- campagne : année de campagne ;
- risque : niveau de risque à la dernière date de données météo ;
- dernière date météo ;
- dates contaminations : Les cinq dernières dates de contamination ;
- génération : le numéro de génération.

Détail des résultats

Le détail des résultats correspond à ce qui est indiqué en figure 6.

MEILLEURE CONNAISSANCE

Pseudoperonospora cubensis est un agent pathogène redoutable, susceptible de détruire totalement une culture en quelques jours ou quelques semaines. Sa capacité de dispersion sur de grandes distances et sa vitesse de propagation nécessitent une grande vigilance afin de maintenir les dégâts du pathogène sous un niveau acceptable.

La connaissance de la biologie de l'agent du mildiou couplée à l'utilisation du modèle de prévision Milmel permet d'interpréter au mieux et d'avoir une idée globale de l'évolution de la maladie

sur une petite région agricole donnée. Ce modèle semble donner de meilleurs résultats s'il est utilisé à cette échelle, ceci conjointement à un réseau d'observateurs ; il est moins performant à l'échelle d'une parcelle pour un maraîcher. Enfin, son utilisation optimisée passe par une bonne compréhension

de l'outil et de la maladie. Dans le cas du mildiou, il est indispensable de faire preuve d'une certaine prudence lors de la mise en place des stratégies de protection et de traitement. L'intégration de la prévision météo dans Inoki devrait permettre d'améliorer les performances de l'outil. ■

BIBLIOGRAPHIE

Arauz L. F., Neufeld K. N., Lloyd A. L., Ojiambo P. S., 2010. Quantitative models for germination and infection of *Pseudoperonospora cubensis* in response to temperature and duration of leaf wetness. *Phytopathology* : Vol. 100, n° 9, p. 959-967.

Blancard, D. & Mayet, V. *Pseudoperonospora cubensis* - Mildiou du melon. Fiche du portail INRA en protection des cultures e-phytia (www.e-phytia.fr).

Cazaubon J.-L., 2012. Melon Hors-Série : Bilan 2012. *Bulletin de Santé du Végétal Sud-Ouest* : p. 8.

Chevrier C., Guigal L., Caillol P., Schoen L., Colas C., 2014. *Bulletin de Santé du Végétal Maraîchage Languedoc-Roussillon* : 27 mai 2014. p. 7.

Cohen, Y. & Rubin, A.E., 2012. Mating type and sexual reproduction of *Pseudoperonospora cubensis*, the downy mildew agent of cucurbits. *Eur J Plant Pathol.* : 132, p. 577-592.

Fu S., Yao J. M., 1983. Preliminary report on the biological characteristics of *Pseudoperonospora cubensis*. *Liaoning Agricultural Sciences*.

Lebeda, A. & Cohen, Y., 2011. Cucurbit downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) - Biology, ecology, host-pathogen interaction and control. *Eur J Plant Pathol.* : 129, p. 157-192.

Li M., Yang X., Qiao S., Sun C., Qian J., Ji Z., Chen M., Zhao C., 2014. Modeling and Decision Support System for Precision Cucumber Protection in Greenhouses. In : *ICPA Conference Presentation Information* [En ligne]. ICPA Conference. [s.l.] : [s.n.], 2014. p. 15. Disponible sur : < https://www.ispag.org/abstract_papers/papers/abstract_1146.pdf >.

Monnet Y., 2000. Incidence des maladies des cucurbitacées en France (melon, concombre, courgette, cornichon). *EPPO Bulletin* [En ligne]. 1 juin 2000. Vol. 30, n° 2, p. 205-208. Disponible sur : < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2338.2000.tb00880.x> >.

Neufeld, K.N. & Ojiambo, P.S., 2012. Interactive effects of temperature and leaf wetness duration on sporangia germination and infection of cucurbit hosts by *Pseudoperonospora cubensis*. *Plant disease* : 96 (3), p. 345-353.

Ojiambo P., 2005. Weather Factors Considered in Each Phase of Disease Development. Disponible sur : < <http://cdm.ipmpipe.org/node/40> >

Ojiambo P. S., Kang E. L., 2012. Modeling Spatial Frailties in Survival Analysis of Cucurbit Downy Mildew Epidemics. *Phytopathology* : Vol. 103, n° 3, p. 216-227. Disponible sur : < <http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO-07-12-0152-R> >.

Roubal C., 2008. *Bulletin melon SRPV PACA 01/07/2008* (Communication personnelle).

Savory, E., Granke, L., Quesada-Ocampo, L., Varbanova, M., Hausbeck M., Day, B., 2011. The cucurbit downy mildew pathogen *Pseudoperonospora cubensis*. *Molecular plant pathology* : 12(3), p. 217-226.

Yang X., Li M., Zhao C., Zhang Z., Hou Y., 2007. Early warning model for cucumber downy mildew in unheated greenhouses. *New Zealand Journal of Agricultural Research* : Vol. 50, n° 5, p. 1261-1268. Disponible sur : < <http://dx.doi.org/10.1080/00288230709510411> >.