

# Lutte contre le mildiou de la vigne avec le modèle VitiMeteo-Plasmopara

Pierre-Henri DUBUIS<sup>1</sup>, Olivier VIRET<sup>1</sup>, Bernard BLOESCH<sup>1</sup>, Anne-Lise FABRE<sup>1</sup>, Andreas NAEF<sup>1</sup>, Gottfried BLEYER<sup>2</sup>, Hans-Heinz KASSEMEYER<sup>2</sup>, Ronald KRAUSE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW

<sup>2</sup>Staatliches Weinbauinstitut WBI, Freiburg im Breisgau (D)

<sup>3</sup>Geosens Ingenieurpartnerschaft, Erbringen (D)

Renseignements: Pierre-Henri Dubuis, e-mail: pierre-henri.dubuis@acw.admin.ch, tél. +41 22 363 43 52, www.agroscope.ch



La station météorologique de Changins livre des données sur le climat du bassin lémanique.

## Introduction

Le mildiou causé par *Plasmopara viticola* est une des principales maladies de la vigne en Suisse, pouvant non seulement affecter gravement la quantité et la qualité de la récolte mais aussi affaiblir la plante l'année suivante en cas de forte défoliation précoce. Le nombre de traitements fongicides varie de six à

dix selon les régions et les conditions climatiques de l'année. L'opinion publique et les politiques se préoccupent de l'impact négatif de ces traitements sur l'environnement et de la présence possible de résidus de fongicides dans les vins. Pour Agroscope, l'exigence de minimiser l'utilisation de fongicides est un objectif de recherche en viticulture depuis de nombreuses années.

Les succès remarquables obtenus en protection intégrée dans la lutte contre les ravageurs et les acariens n'ont pas été équivalents dans la lutte contre les maladies fongiques. Celle-ci reste avant tout préventive et aucune alternative à l'utilisation de fongicides n'a été trouvée à ce jour. Cependant, l'utilisation d'outils d'aide à la décision modélisant le développement des pathogènes ouvre une perspective pour mieux maîtriser la lutte et limiter l'usage des fongicides. Le modèle expert VitiMeteo-Plasmopara, développé conjointement par Agroscope Changins-Wädenswil et le Weinbauinstitut de Fribourg-en-Brisgau (D), constitue un outil précieux pour prévoir le développement du mildiou. Chaque étape du développement de *Plasmopara viticola* est modélisée à partir de données issues d'un réseau de stations météorologiques, fournissant ainsi des indications précieuses sur les épisodes d'infection (Bleyer *et al.* 2008a; 2008b; Siegfried *et al.* 2004; Viret *et al.* 2005). Depuis 2005, le modèle est gratuitement à la disposition des viticulteurs suisses sur la plate-forme [www.agrometeo.ch](http://www.agrometeo.ch). Son succès est réel: en 2012, il permet de modéliser la totalité des vignobles de Suisse, d'Allemagne, d'Autriche et des provinces du nord de l'Italie (Trentin, Tyrol du Sud et Vénétie).

## Matériel et méthodes

### Stations de mesures météorologiques

Le réseau Agrometeo comprend 157 stations de différents types (Campbell CR1000, Campbell CR10X, Lufft HP-100, Lufft Opus), qui mesurent notamment la température, les précipitations, l'humidité relative et l'humectage du feuillage. Les valeurs de dix minutes sont transmises deux fois par jour par GSM à une base de données centralisée. Ces valeurs sont disponibles sur [www.agrometeo.ch](http://www.agrometeo.ch).

### Modélisation

Le modèle VitiMeteo-Plasmopara est un modèle biologique qui simule toutes les étapes importantes du cycle de développement de *Plasmopara viticola* à partir de données climatiques. Tous les paramètres du modèle peuvent être ajustés par un expert en fonction de particularités régionales. Des informations sur la croissance de la vigne (nombre et surface des feuilles principales par rameau) sont obtenues selon le modèle de Schultz (1992).

### Laboratoire extérieur et maturation des oospores

Un petit laboratoire en conditions extérieures, constitué d'une dizaine de ceps de Pinot noir et de Gamay en pleine terre, a été mis en place pour permettre la

**Résumé** VitiMeteo-Plasmopara est un système expert qui permet de modéliser chaque étape du cycle biologique du mildiou de la vigne à partir de données météorologiques. Développé conjointement par Agroscope Changins-Wädenswil ACW et le Weinbauinstitut de Fribourg-en-Brisgau, il est actuellement utilisé pour l'ensemble des vignobles de Suisse, d'Allemagne, d'Autriche et une partie du nord de l'Italie sur plus de 150 000 ha au total. La validation du modèle sur neuf ans à Changins (VD) a montré la fiabilité des renseignements fournis. Le modèle permet de mieux cibler la lutte et de diminuer le nombre de traitements anti-mildiou.

validation du modèle. Un lit de feuilles de vignes fortement infectées par du mildiou est déposé chaque automne sous les ceps. Un sarment par cep est couché au sol afin d'avoir du feuillage très proche des oospores au printemps. L'apparition des premières taches d'huile et l'évolution de l'épidémie sont suivies régulièrement en début de saison. Pour évaluer la maturation des oospores, des morceaux de feuille d'environ 5 mm<sup>2</sup> contenant des oospores sont découpés sous la loupe binoculaire, puis déposés à la surface de tubes Falcon de 50 ml remplis de terre. Ceux-ci sont ensuite placés dans le sol à l'extérieur durant l'hiver. Au printemps, ces morceaux de feuilles sont incubés à température ambiante et à 100 % HR et l'apparition des sporanges primaires est observée chaque jour. Les oospores sont considérées comme mûres lorsqu'elles germent en vingt-quatre heures.

### Essais de lutte

ACW a mené des essais de lutte à Changins sur du Gamay et du Pinot noir greffés sur 3309 et conduits en cordon permanent. Les traitements fongicides ont été réalisés au turbodiffuseur (Fischer) monté sur chenillette et calibré selon la méthode Caliset (Viret et Siegfried 2009).

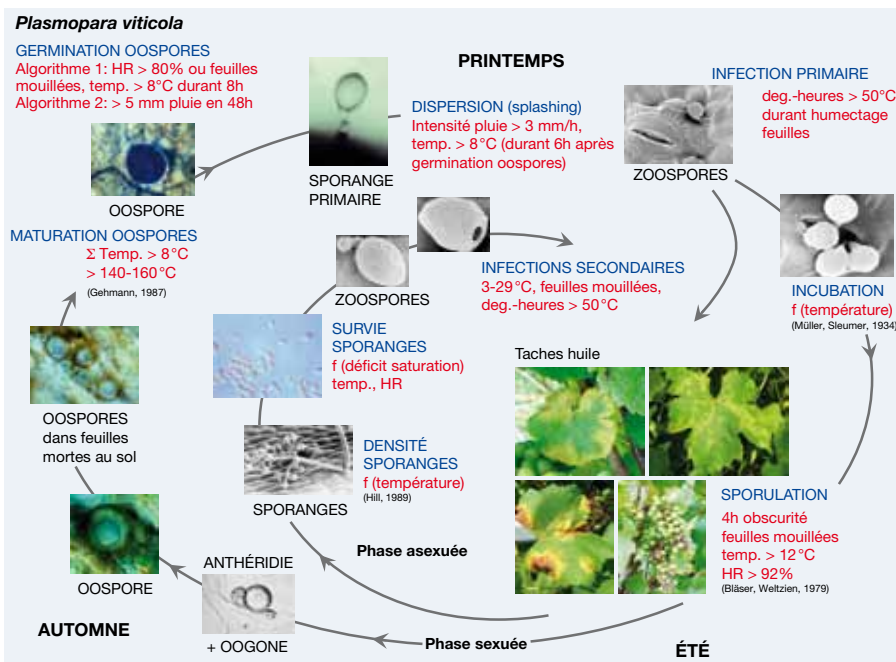


## Résultats et discussion

VitiMeteo-Plasmopara est un modèle biologique qui intègre chaque étape du cycle de développement de *Plasmopara viticola* à l'aide d'algorithmes spécifiques qui utilisent les données de température, précipitations, humectage du feuillage et humidité relative (fig.1). Actuellement, 82 stations de mesure (49 en Suisse romande, 27 en Suisse alémanique et 6 au Tessin) transmettent deux fois par jour les données météorologiques. Les dif-

férents algorithmes ont été intégrés dans un modèle qui est séparé en deux modules, l'un pour les infections du sol et l'autre pour les infections secondaires (repiquages entre organes aériens). Après la première infection du sol en début de saison, dite infection primaire, les deux modules calculent les infections en parallèle pour le reste de la saison. Le résultat de la modélisation est présenté sur [www.agrometeo.ch](http://www.agrometeo.ch) sous la forme d'un tableau général (fig.2) qui résume la situation pour les stations d'une région choisie (Genève, La Côte, Lavaux,

**Figure 1 |** Cycle biologique du mildiou de la vigne (*Plasmopara viticola*). Les étapes clés du développement sont indiquées en bleu et, en rouge, les paramètres utilisés par les algorithmes de VitiMeteo-Plasmopara.



**Figure 2 |** Tableau résumant le risque d'infection à l'aide d'un code de couleur pour une région donnée, ici le Valais. En gris, risque calculé à partir des données des prévisions météo pour les cinq jours à venir. Le jour actuel (ici le 18 mai) est en gris clair, car il est constitué d'un mélange de valeurs mesurées et calculées. En bas à gauche, archive des rapports annuels depuis 2008.



Chablais, Valais, Plateau romand, Région Trois-Lacs, Tessin et Suisse alémanique). L'ensemble des informations est actualisé deux fois par jour vers 9 et 19 h. Ces tableaux contiennent les renseignements suivants:

- le niveau de risque d'infection de mildiou est représenté à l'aide d'un code de couleur: absence de risque (vert) et infections faibles (rose pâle), moyennes (rose) et fortes (rouge).
- Le nombre inscrit dans les cases rouges correspond à la somme des températures horaires moyennes durant l'humectage des feuilles.
- La date et l'heure de la mise à jour ainsi que la date de l'infection primaire sont indiquées pour chaque station.
- Le tableau comprend, en plus du risque mesuré pour les cinq derniers jours, la prévision du risque pour les cinq jours à venir (dates inscrites dans un carré gris), basée sur les prévisions météorologiques fournies par Meteoblue ([www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com)) et calculées pour le lieu précis où se trouve la station de mesure. Le jour actuel est en gris clair car il est constitué d'un mélange de valeurs mesurées et de valeurs de prévision.

Ce tableau général indique le risque d'infection global et ne permet pas de distinguer les infections du sol et les infections secondaires (ou repiquages). Il fournit une vue d'ensemble du risque d'infection pour une région donnée.

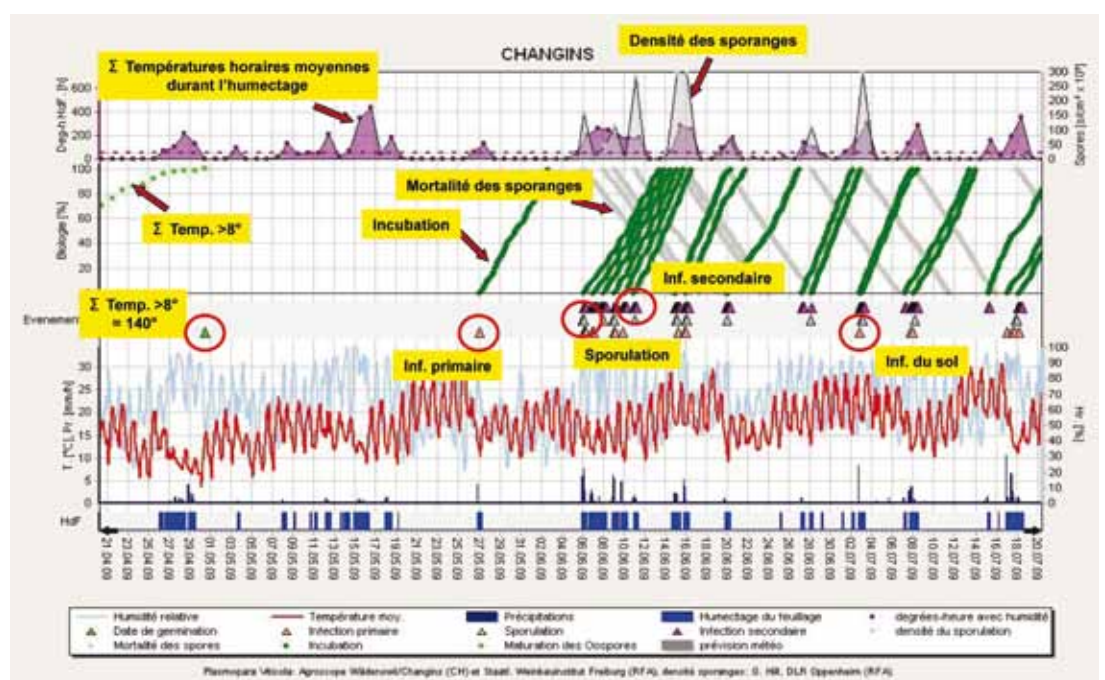
Pour des informations plus détaillées, un bulletin et des graphiques sont disponibles. Le bulletin contient, pour chaque jour depuis le 1<sup>er</sup> janvier, des informations météo (températures et précipitations), des renseignements sur la modélisation (infections, sporulations) et sur la croissance de la vigne. Pour chaque infection, l'évolution de l'incubation est indiquée en pourcentage et lorsque celle-ci atteint 100 %, la date de la fin de l'incubation apparaît. L'historique des bulletins annuels est disponible en fichiers PDF depuis 2008.

Deux graphiques détaillés présentent des données de modélisation pour les quinze derniers jours, ainsi que les prévisions pour les cinq prochains jours. Le premier comprend des données météo, le risque de mildiou sous forme de code couleur et le modèle de croissance. Le deuxième fournit des informations très détaillées sur le mildiou, reprenant les données météo importantes pour la modélisation (températures, humidité relative, précipitations, durée d'humectage des feuilles) ainsi que les éléments clés fournis par VitiMeteo-Plasmopara (infection primaire, infections du sol et infections secondaires, sporulations, courbes d'incubations, etc.).

La figure 3 présente le graphique détaillé pour la totalité de la saison 2009 (période du 21.04 au 20.07) à Changins (VD), avec les informations suivantes:

- En début de saison, la somme des températures au seuil de 8°C est représentée par une courbe pointillée verte; lorsque celle-ci atteint 140°C, la date de la maturité des oospores est atteinte (triangle vert).

**Figure 3** | Graphique détaillé représentant les conditions météorologiques et le développement du mildiou du 21 avril au 20 juillet 2009 à Changins (VD).

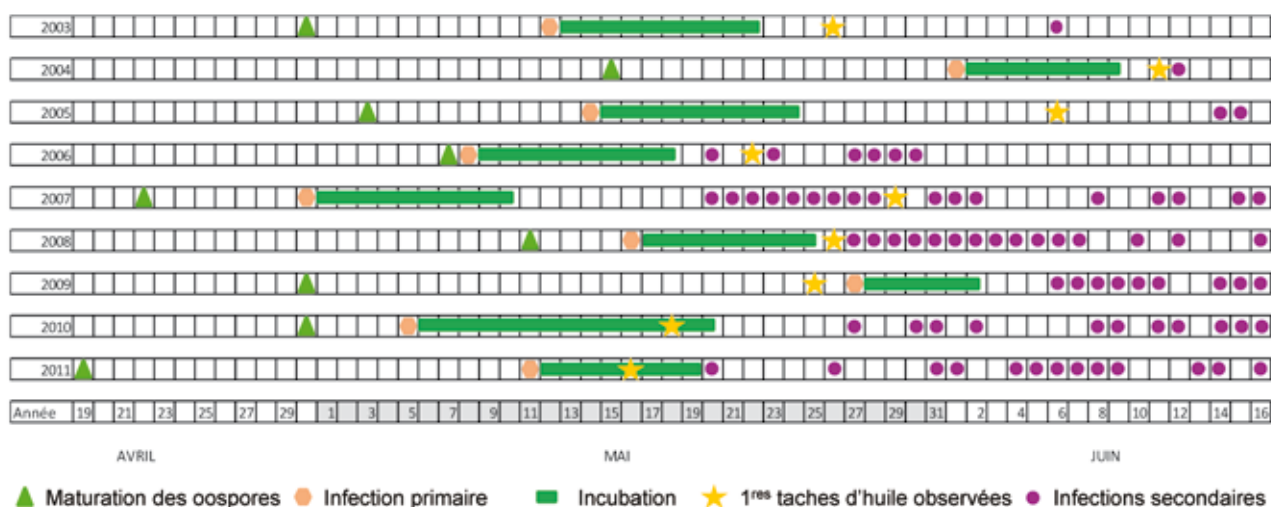


- L'infection du sol (triangle orange) survient alors dès que les conditions spécifiques sont remplies: 5 mm de pluie en 48 heures avec une température supérieure à 8 °C (germination des oospores) puis, dans les six heures suivantes, des pluies d'au moins 3 mm/h (dispersion) et une somme des températures horaires moyennes pendant l'humectage des feuilles dépassant 50 °C.
- A chaque infection est associée une courbe verte qui représente l'évolution de l'incubation de cette infection. Lorsque l'incubation s'approche de 100 %, les taches d'huile deviennent visibles là où l'infection a réellement eu lieu.
- Lorsque les conditions climatiques sont remplies (feuilles mouillées ou humidité relative supérieure à 92 % pendant quatre heures à l'obscurité et température supérieure à 12 °C), les taches d'huile sporulent (triangle gris). La courbe de mortalité des sporanges ainsi produits est représentée en gris. La densité des sporanges formés est représentée en gris dans le haut du graphique.
- Chaque fois que les conditions sont remplies (à nouveau: sporanges présents, feuilles mouillées et somme des températures horaires moyennes pendant l'humectage dépassant 50 °C), le modèle indique les infections secondaires (triangles roses).

Les infections du sol et les infections secondaires sont calculées en parallèle tout au long de la saison. Ce graphique fournit des indications très utiles pour comprendre exactement les événements survenus – ou qui devraient se dérouler dans les cinq jours à venir – et permet d'affiner la stratégie de lutte.

### Validation

Chaque année, depuis 2003, un certain nombre d'observations servent à valider la pertinence du modèle: évaluation de la maturation des oospores, observation des premières infections dans le laboratoire extérieur à Changins et suivi de l'épidémie dans des témoins non traités. La figure 4 montre les résultats de la modélisation du début de la saison pour chaque année depuis 2003. La date de maturation des oospores correspond à la somme de température de 140 °C au seuil de 8 °C depuis le 1<sup>er</sup> janvier. Ensuite, lorsque les conditions sont remplies, l'infection primaire a lieu et son incubation est calculée. Les taches d'huile sont généralement visibles lorsque l'incubation approche 100 %. La confrontation avec l'apparition de la première tache dans un témoin non traité permet de valider la précision du modèle. Pour six des neuf années considérées, la fin de la période d'incubation coïncide avec l'apparition des premières taches d'huile. Dans deux cas, en 2005 et 2007, les premières taches ont été observées plus de deux semaines après la fin de la période d'incubation calculée. Le modèle a donc indiqué l'infection primaire trop tôt. Toutefois, comme l'infection calculée était faible et que les surfaces du témoin non traité et du laboratoire extérieur sont limitées, il se peut que les plants observés n'aient pas été infectés. En 2009, le modèle a prédit l'infection primaire pour le 27 mai, alors que la première tache était observée le 25 mai déjà, vraisemblablement due à une infection liée à la pluie du 14 au 15 mai 2009. Pour celle-ci, même si la quantité était de 5 mm en 48 heures, le modèle n'a pas calculé d'infection car l'intensité minimale de 3 mm/h n'a pas été atteinte. En résumé, le modèle permet de prédire la



**Figure 4** | Validation des résultats de la modélisation pour Changins de 2003 à 2011. Le début de la saison est représenté pour chaque année avec les renseignements du modèle (maturation des oospores, infection primaire, durée d'incubation et infections secondaires) et l'observation des premières taches d'huile dans le témoin non traité.

maturation des oospores, la date de l'infection primaire et l'apparition des premières taches d'huile avec une bonne précision et constitue donc un outil précieux dans la gestion de la lutte contre le mildiou.

### Principes de la lutte basée sur la modélisation

Sur la base des indications du modèle, différentes stratégies de lutte peuvent être envisagées.

**Lutte suivant l'incubation:** lorsque l'incubation de l'infection primaire calculée par le modèle atteint 80 %, soit en général peu avant l'apparition des premières taches d'huile, une matière active préventive est appliquée juste avant les prochaines précipitations ou fortes rosées déclenchant la sporulation et la première infection secondaire. Si ce premier traitement ne peut être effectué avant la pluie, une matière active pénétrante doit être appliquée au plus tard deux à trois jours après les précipitations, car les fongicides pénétrants ou systémiques n'ont une efficacité curative que durant les premiers jours de la phase d'incubation du mildiou. Cette stratégie a été validée avec succès par ACW depuis 2005.

**Lutte curative:** la période d'incubation doit atteindre 100 % et la première infection secondaire doit être indiquée. Dès lors, en présence de taches d'huiles confirmées, une matière active pénétrante à effet curatif doit être appliquée dans les deux à trois jours. Ce traitement permet de protéger le feuillage de la première infection secondaire. Cette façon de procéder comporte certains risques et ne devrait pas être utilisée dans des régions très favorables au mildiou. Elle permet toutefois de différer au maximum le premier traitement anti-mildiou.

**Lutte préventive:** dans les parcelles fréquemment attaquées et situées dans des régions climatiques favorables au mildiou (comme le Tessin) ou dans des cultures biologiques n'utilisant pas de produits pénétrants curatifs, il est recommandé de traiter préventivement juste avant l'infection primaire indiquée par le modèle afin d'éviter l'apparition du mildiou qui sera par la suite difficile à maîtriser, si les conditions sont favorables.

Le premier traitement protège le feuillage huit à dix jours selon la vitesse de croissance de la vigne. Pour le renouvellement de la protection, les mêmes stratégies peuvent être appliquées en tenant compte des indications du modèle, de la durée d'efficacité des matières actives utilisées lors du dernier traitement (8–10 jours pour les produits de contact, 10–12 jours pour les produits pénétrants et systémiques) et de la situation phytosanitaire de la parcelle. Lorsque le risque d'infection est élevé (taches d'huile présentes, combinaison d'infection venant du sol et d'infection entre les organes aériens), il est conseillé d'intervenir

avant les prochaines pluies. En cas de faible risque d'infection, le deuxième traitement peut être repoussé jusqu'au moment où les conditions de sporulation et d'infection sont remplies. Une matière active pénétrante devrait alors être engagée dans les deux à trois jours suivants. Le suivi d'un témoin non traité d'une surface d'environ 20m<sup>2</sup> dans une zone sensible du vignoble fournit des indications précieuses sur l'épidémie de la maladie qui, ajoutées aux prévisions du modèle, permettent d'optimiser les interventions.

La lutte contre le mildiou doit être intégrée à la lutte contre les autres maladies comme l'oïdium, ce qui entraîne généralement l'application de traitements combinés et nécessite de consulter également les risques d'infection pour ce pathogène sur [www.agrometeo.ch](http://www.agrometeo.ch).

L'utilisation du modèle pour affiner la stratégie de lutte permet de diminuer le nombre de traitements. Sur une parcelle à Changins de 2009 à 2011, la diminution a été en moyenne de 1,7 traitement (24,6 %) et le nombre moyen de 6,7 traitements effectués dans la référence était déjà nettement plus faible que ce qui se pratique généralement dans la région (huit à dix traitements). Le potentiel d'économie dans la pratique semble donc encore plus important. La protection a été aussi bonne dans la variante suivant le modèle que dans la variante de référence. Pendant ces trois années, le mildiou a été discret mais, lors d'années difficiles comme 2007 et 2008, l'utilisation du modèle a aussi permis de réduire le nombre de traitements sans perte d'efficacité tout en limitant le nombre d'interventions.

## Conclusions

- VitiMeteo-Plasmopara est un système expert qui modélise la biologie du mildiou avec beaucoup de précision. Il est utilisé non seulement en Suisse mais aussi en Allemagne, Autriche et dans le nord de l'Italie sur plus de 150 000 ha de vigne.
- Le modèle intègre aussi des prévisions météorologiques pour les cinq jours à venir et permet de simuler le développement du mildiou dans un avenir proche.
- La validation de VitiMeteo-Plasmopara montre une excellente corrélation entre les indications du modèle et les observations du développement du mildiou sur le terrain.
- La stratégie de lutte basée sur les indications du modèle permet une réduction de l'ordre de un à trois traitements tout en garantissant une bonne protection contre la maladie. Cet outil d'aide à la décision permet de raisonner les traitements sur une base objective. ■

**Summary**

**Using VitiMeteo-Plasmopara to better control downy mildew in grape**

VitiMeteo-Plasmopara is an expert system to forecast the biological development of downy mildew using relevant weather data. It has been developed jointly by Agroscope Changins-Wädenswil ACW and the Weinbauinstitut of Freiburg in Breisgau. It is currently used over all vineyards of Switzerland, Germany, Austria and parts of northern Italy. Model validation for nine years in Changins (VD) has shown its reliability. The model allows to better control downy mildew and to decrease the number of fungicide applications.

**Key words:** *Plasmopara viticola*, Decision Support System, weather data, forecasting, precision viticulture.

**Zusammenfassung**

**Bekämpfung des Falschen Mehltau der Rebe mit dem Prognosemodell VitiMeteo-Plasmopara**

VitiMeteo-Plasmopara ist ein Expertensystem das alle Schritte im Lebenszyklus des Falschen Rebenmehltaus anhand von Wetterdaten simuliert. Es wurde gemeinsam von Agroscope Changins-Wädenswil ACW und dem Staatlichen Weinbauinstitut in Freiburg im Breisgau entwickelt. Es wird derzeit im Warndienst für alle Rebflächen in der Schweiz, Deutschland, Österreich und in Teilen Norditaliens verwendet. Die Modellvalidierung während neun Jahren in Changins (VD) hat seine Zuverlässigkeit bestätigt. VitiMeteo-Plasmopara ermöglicht eine gezielte Bekämpfung des Falschen Mehltaus und erlaubt dadurch eine Reduktion der Anzahl Fungizidbehandlungen.

**Riassunto**

**Utilizzo di VitiMeteo-Plasmopara per lottare contro la peronospora della vite**

VitiMeteo-Plasmopara è un sistema esperto che permette di modellizzare ogni tappa del ciclo di sviluppo della peronospora della vite basandosi sui dati meteorologici. Esso è stato sviluppato da Agroscope Changins-Wädenswil ACW congiuntamente al Weinbauinstitut di Friburgo in Brigovio. Attualmente è utilizzato per modellizzare l'insieme degli vigneti di Svizzera, Germania, Austria e di parte dell'Italia del nord su oltre 150000 ha in totale. La validazione del modello durante nove anni a Changins (VD) ha mostrato l'affidabilità delle informazioni fornite. Il modello consente una lotta alla peronospora più mirata e, contemporaneamente, permette di ridurre il numero degli interventi.

#### Bibliographie

- Bläser M. & Weltzien H. C., 1979. Epidemiologische Studien an *Plasmopara viticola* zur Verbesserung der Spritzterminbestimmung. *Z. Pflkran. Pflschutz* **86** (8), 489–498.
- Bleyer G., Kassemeyer H.-H., Krause R., Viret O. & Siegfried W., 2008a. «VitiMeteo-Plasmopara»-Prognosemodell zur Bekämpfung von *Plasmopara viticola* (Rebenperonospora) im Weinbau. *Gesunde Pflanzen* **60**, 91–100.
- Bleyer G., Kassemeyer H.-H., Viret O., Siegfried W. & Krause R., 2008b. VitiMeteo-Plasmopara – a modern tool for integrated fungicide strategies. Proceedings of the European meeting of IOBC/WPRS working group «Integrated Protection in Viticulture», Marsala, Italy, 25–27 October 2007. *OIBC wprs Bulletin* **36**, 35–36.
- Gehmann K., 1987. Untersuchungen zur Epidemiologie des Falschen Mehltaus an Weinreben *Plasmopara viticola* (Berk. & Curt, ex de Bary) Berl. & de Toni. Dissertation, Universität Hohenheim.
- Hill G., 1989. Effect of temperature on sporulation efficiency of oil-spots caused by *Plasmopara viticola* (Berk. & Curt, ex de Bary) Berl. & de Toni in vineyards. *Vitic. Enol. Sci.* **44**, 86–90.
- Müller K. & Sleumer M., 1934. Biologische Untersuchungen über die Peronosporakrankheit des Weinstockes mit besonderer Berücksichtigung ihrer Bekämpfung nach Inkubationszeitmethode. *Landwirtsch. Jahrb.* **79**, 502–573.
- Schultz H. R., 1992. An empirical model for the simulation of leaf appearance and leaf development of primary shoots of several grapevine (*Vitis vinifera* L.) canopy-systems. *Scientia Hort.* **52**, 179–200.
- Siegfried W., Viret O., Bloesch B., Bleyer G. & Kassemeyer H.-H., 2004. «VitiMeteo Plasmopara», ein neues Prognosemodell für den Falschen Rebenmehltau. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* **23** (4), 10–13.
- Viret O., Bloesch B., Fabre A.-L., Siegfried W., Bleyer G., Huber B., Kassemeyer H.-H. & Steinmetz V., 2005. Vitimeteo: un nouveau modèle de prévision pour le mildiou de la vigne (www.agrometeo.ch). *Rev. suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **37** (1), 65–68.
- Viret O. & Siegfried W., 2009. Réglage du pulvérisateur. *Rev. suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **41** (1), 26–27.