



SOPRA: un outil d'avertissement contre les ravageurs en arboriculture

J. SAMIETZ, B. GRAF, H. HÖHN, L. SCHAUB et H. U. HÖPLI, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, CP 185, 8820 Wädenswil

@ E-mail: joerg.samietz@acw.admin.ch
Tél. (+41) 44 78 36 193.

Résumé

L'outil d'avertissement SOPRA a été développé pour améliorer la surveillance et les mesures de lutte contre les ravageurs dans les vergers. En appliquant des approches «time-varying distributed delay», des modèles phénologiques ont été développés sur la base de la radiation solaire, de la température de l'air et du sol sur un rythme horaire de mesures. Les modèles sont validés pour le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*), l'hoplocampe des pommes (*Hoplocampa testudinea*), le carpocapse des pommes (*Cydia pomonella*), la petite tordeuse (*Grapholita lobarzewskii*), le psylle commun du poirier (*Cacopsylla pyri*), la mouche de la cerise (*Rhagoletis cerasi*), l'anthronome du pommier (*Anthonomus pomorum*) et la tordeuse de la pelure capua (*Adoxophyes orana*). L'intégration dans le modèle des températures corporelles est basée sur la sélection de l'habitat et la simulation biophysique des conditions d'habitat. En fonction des données météorologiques locales, la structure d'âge des populations des ravageurs est simulée, permettant ainsi d'annoncer les événements importants pour la gestion des activités. Les résultats de cette simulation sont visibles sur Internet (www.sopra.info) et servent d'aide à la décision à l'échelle locale et régionale pour les huit principaux ravageurs des vergers des vallées alpines et du nord des Alpes.

Introduction

La protection des cultures fruitières modernes dépend de la précision temporelle des mesures d'avertissement et de lutte contre les populations de ravageurs. Afin d'estimer les taux d'attaque et d'engager une lutte éventuelle, les ravageurs, et plus particulièrement certains stades phénologiques, doivent être surveillés durant toute la saison à l'aide de différentes techniques d'avertissement. Pour cela, le producteur a besoin d'informations précises sur l'apparition des stades nuisibles. L'évolution des ravageurs doit être suivie afin d'évaluer les risques et la nécessité d'une intervention, en particulier dans une optique de développement durable (Norton et Mumford, 1993; Pedigo et Rice, 2005). Le mode d'action des insecticides mo-

dermes dépend également d'une application précise dans le temps lorsque ceux-ci visent un stade spécifique du ravageur. La phénologie des populations peut être établie grâce à des systèmes prédictifs combinés de façon optimale à des supports décisionnels, en faisant appel à la connaissance des ravageurs et aux options possibles de lutte.

Jusqu'à présent, les sommes de température et, plus récemment, des simulations ont été utilisées pour prédire la phénologie des ravageurs en verger, facilitant ainsi l'application des mesures de protection. Les modèles de simulation, à quelques exceptions près (par exemple Welch *et al.*, 1978; Morgan et Solomon, 1996), sont rarement destinés à être appliqués directement par les producteurs ou conseillers techniques.

Ils sont en effet basés sur différentes approches et langages informatiques, ou nécessitent des variables spéciales qui les rendent difficiles d'emploi (Rossing *et al.*, 1999; van der Werf *et al.*, 1999).

Nous présentons ici l'outil d'avertissement SOPRA, qui a été développé pour optimiser le moment où les mesures de contrôle et de lutte contre les principaux ravageurs doivent être prises. Ce système réunit une interface «utilisateur» locale contenant les modèles pour les différentes espèces et une interface Internet qui fournit les résultats des simulations aux conseillers techniques et aux producteurs, ainsi qu'un support décisionnel (www.sopra.info).

Modèles phénologiques

Le développement phénologique d'une population d'insectes peut être décrit comme un flux d'entités avec des temps de passage variables. Ce flux est facilement simulé par des modèles du type «time-varying distributed delay» (Mannetsch, 1976). Cette approche utilise une fonction de densité Erlang pour générer une distribution de fréquence des temps de développement individuels. Elle est paramétrée à l'aide de la constante thermique du stade de développement spécifique (durée moyenne en degrés-jours) et de sa variance. Afin de calculer le processus de vieillissement au sein des différents stades de développement et de suivre l'évolution de la structure d'âge, l'algorithme créé à l'origine par Abkin et Wolf (1976) a été adapté. Les changements de la structure d'âge des populations de ravageurs sont enregistrés en continu via un équilibre d'entrée et de rendement des variables d'état (stades de développement).

Les relations sous-jacentes entre la température et les taux de développement sont modélisées grâce à des fonctions linéaires ou non-linéaires pour chaque stade du cycle biologique, suivant la nature de la meilleure approximation. Toutes ces relations sont établies sur la base d'expériences de laboratoire menées sur des individus élevés en conditions contrôlées à quatre températures différentes au minimum pour chaque espèce. Les taux de développement des stades sont principalement calculés par des fonctions linéaires, alors que les taux de reproduction et la survie des adultes sont couverts par des fonctions non-linéaires (Graf *et al.*, 1996, 1999 et 2001a). Des modèles phénologiques sont disponibles pour le puceron cendré du pommier (*Dysaphis plantaginea*), l'hoplocampe du pommier (*Hoplocampa testudinea*), le carpocapse des pommes et des poires (*Cydia pomonella*), la petite tordeuse des fruits (*Grapholita lobarzewskii*), le psylle commun du poirier (*Cacopsylla pyri*) et la mouche de la cerise (*Rhagoletis cerasi*). De récentes expériences avec l'anthonome du pommier (*Anthonomus pomorum*) et la tordeuse de la pelure capua (*Adoxophyes orana*) allongent encore la liste d'espèces qui



Fig. 1. Mesures du microclimat de la petite tordeuse des fruits (*Grapholita lobarzewskii*) et choix de l'habitat des larves hivernant à l'intérieur des branches et des troncs.

couvre ainsi les principaux ravageurs des cultures de fruits à pépins et à noyau. Les données de température dans les modèles proviennent d'études approfondies portant sur le choix de l'habitat par les différents stades phénologiques (fig.1), la modélisation utilisant trois

variables (radiation solaire, température de l'air, température du sol) et les caractéristiques structurales des vergers. Les températures corporelles de tous les stades considérés sont estimées par la meilleure modélisation possible des températures de l'habitat (tabl.1). La

Tableau 1. Espèces incluses dans le système d'avertissement SOPRA avec les stades du cycle et les températures faisant fonctionner les modèles.

Espèce	Stades simulés du cycle biologique					Base de la température
Puceron cendré du pommier (<i>Dysaphis plantaginea</i>)	œufs d'hiver	juvéniles	adultes	juvéniles (1 ^{re} gén.)		air
Hoplocampe des pommes (<i>Hoplocampa testudinea</i>)	nymphes hiv.*	adultes	œufs	larves		sol* air
Petite tordeuse des fruits (<i>Grapholita lobarzewskii</i>)	larves/nymphes hiv. (M/F)*	adultes (M/F)	œufs	larves	larves hiv. (diapause)*	intérieur du tronc* air
Carpocapse (<i>Cydia pomonella</i>)	larves/nymphes hiv. (M/F)*	adultes (M/F)	œufs (1 ^{re} gén.)	larves (1 ^{re} gén.)		surface du tronc* air
	nymphes (1 ^{re} gén.)	adultes (1 ^{re} gén.)	œufs (2 ^e gén.)	larves (2 ^e gén.)	larves hiv. (diapause)*	surface du tronc* air
Psylle commun du poirier (<i>Cacopsylla pyri</i>)	adultes hiv. (M/F)	œufs (1 ^{re} gén.)	larves (1 ^{re} gén.)			air
	adultes (1 ^{re} gén.)	œufs (2 ^e gén.)	larves (2 ^e gén.)			air
Mouche de la cerise (<i>Rhagoletis cerasi</i>)	nymphes hiv. (M/F)*	adultes (M/F)	œufs	larves	nymphes hiv. (diapause)*	sol* air
Anthonome du pommier (<i>Anthonomus pomorum</i>)	adultes hiv. (M/F)*	adultes actives (M/F)	adultes immigrée (M/F)	œufs	larves	sol/air* air
Capua (<i>Adoxophyes orana</i>)	larves hiv. (M/F)*	larves actives (M/F)	nymphes (M/F)	adultes (M/F)	œufs (1 ^{re} gén.)	surface du tronc* air
		larves (1 ^{re} gén.)	nymphes (1 ^{re} gén.)	adultes (1 ^{re} gén.)	œufs (2 ^e gén.)	air
		larves (2 ^e gén.)	larves hiv. (en diapause)*			surface du tronc* air

Les premières lignes du tableau pour chaque espèce débutent avec le stade hivernant et les lignes suivantes représentent les générations successives avec les stades similaires l'un au-dessous de l'autre. *F: femelles, M: mâles, hiv.: hivernants, gén.: génération.

température du sol est utilisée dans l'approximation du développement après diapause des pupes chez *H. testudinea* et *R. cerasi* et la température de surface des troncs pour les larves et pupes hivernantes de *C. pomonella* et *A. orana*. Celle-ci est simulée en tenant compte de la température de l'air et de la radiation solaire effective sur les troncs (Graf *et al.*, 2001b). Cette dernière est modélisée en utilisant la radiation solaire mesurée et le jour de l'année, respectant ainsi l'angle azimutal du soleil et la diminution d'intensité lumineuse due au feuillage au fur et à mesure que la saison progresse (fig. 2). La température interne des troncs est également simulée à partir de la température de l'air et de la radiation solaire. Elle est utilisée pour les larves et pupes hivernantes de *G. lobarzewskii* qui creusent à l'intérieur des troncs. Les autres températures de l'habitat sont estimées sur la base de la température de l'air (tabl.1). Les prédictions du modèle employé sont validées en les comparant avec l'activité des stades adultes observée depuis plusieurs années sur le terrain. La figure 3 montre par exemple une validation de la phénologie simulée de *G. lobarzewskii* avec les données de piégeage des adultes. La déviation causée dans la simulation par la température de surface des troncs et de l'air démontre l'importance qu'il faut porter au choix de l'habitat et à la modélisation appropriée de la température de l'habitat (fig. 3). En revanche, des données sur l'émergence en conditions semi-naturelles ont confirmé les processus simulés d'émergence à partir des sites d'hivernation.

Données météorologiques

Les données météorologiques locales (radiation solaire, température de l'air à 2 m du sol, température du sol à 5 cm sous la surface), fournies heure par heure par les stations météorologiques officielles, sont automatiquement stockées chaque matin dans une base de données. Les moyennes par heure, basées sur dix ans de données, sont utilisées pour une projection et, une fois incorporées aux valeurs actualisées, servent à la conception des simulations phénologiques durant la saison entière. En Suisse, quatorze stations couvrent actuellement toutes les régions climatiques d'intérêt pour les cultures fruitières (fig. 4). Les stations se répartissent entre la vallée précoce tessinoise au sud de la principale chaîne alpine (station de Magadino, 203 m) et les ré-

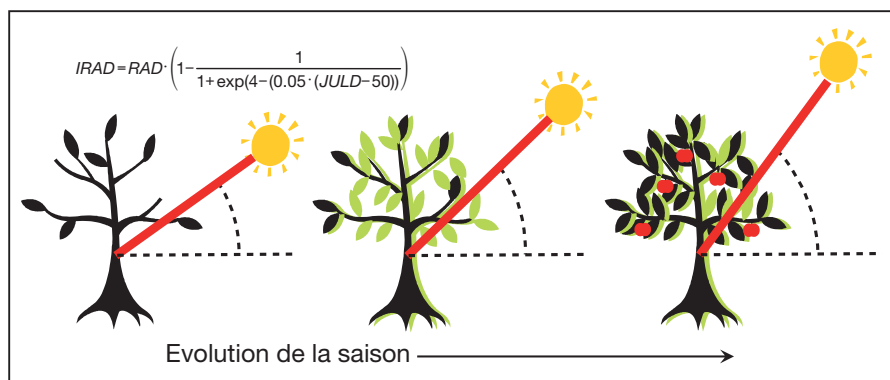


Fig. 2. Simulation de la radiation solaire effective (IRAD) sur les troncs à partir de la radiation solaire mesurée (RAD) et du jour de l'année (JULD), en respectant l'angle azimutal et la diminution d'intensité due à la croissance de la végétation.

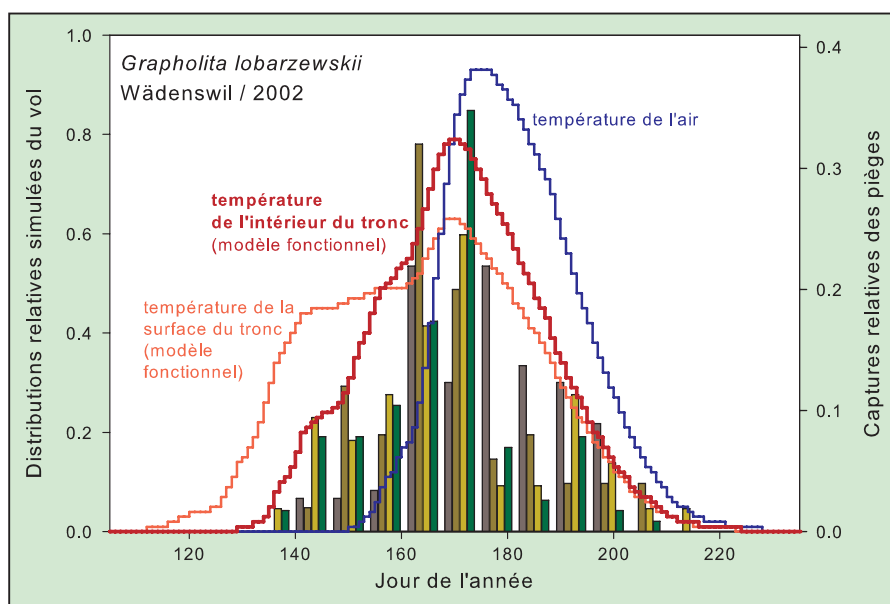


Fig. 3. Validation de la phénologie simulée du mâle (axe de gauche) avec les captures au piège à phéromones (axe de droite, les couleurs des colonnes représentent les différents sites de pièges). En prenant la température spécifique de l'habitat, soit celle de l'intérieur des troncs pour *Grapholita lobarzewskii*, la correspondance est parfaite, alors que les températures de l'air (bleu) et de la surface des troncs (rouge clair) conduisent à de grandes variations.

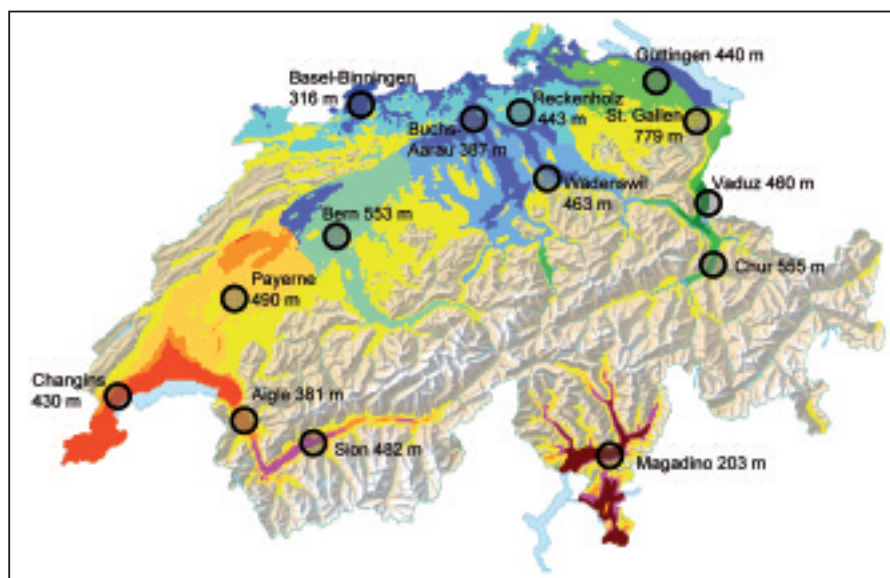


Fig. 4. Localisation des stations météorologiques (altitude) utilisées par le modèle SOPRA pour définir les régions climatiques représentatives (couleurs) à travers la Suisse.

gions tardives du nord-est de la Suisse au-dessus de 600 m d'altitude (station de Saint-Gall). Les frontières des régions climatiques représentées dans la figure 4 sont déterminées par interpolation des températures printanières et du début de l'été (Kirchhofer 1982; Aschwanden *et al.*, 1996) et par des informations phénologiques standard sur la végétation (Kirchhofer, 1984) et sur les insectes, enregistrées sur une longue échelle de temps (Höhn, non publié).

Outil de simulation

L'interface utilisateur locale est conçue comme une application standard MS Windows® afin de faciliter l'utilisation simultanée des modèles pour les différentes espèces et de standardiser l'entrée des données météorologiques dans chacun des modèles. La simulation de la température de l'habitat fait partie de l'application sous forme d'un module météorologique adaptable. Les résultats sont présentés à la fois sous forme numérique et graphique. Pour chaque ravageur, un programme calcule les sommes

de températures pour tous les seuils de température définis par l'utilisateur.

Les modèles pour chaque espèce ou le programme pour calculer les sommes de températures sont accessibles par les tabulateurs. Les fichiers «texte» d'entrée des données météorologiques sont sélectionnés dans une boîte de dialogue «ouverture de fichier». Les boîtes de contrôle permettent l'obtention des résultats sous forme numérique ou/et sous forme graphique. En fonction des données météorologiques locales choisies, la structure relative par âge des populations de ravageurs est simulée et les mesures cruciales à entreprendre sont proposées sur cette base (fig. 6). Concernant ces dernières, le modèle interprète automatiquement les résultats et les résume dans un tableau sous forme de recommandations. Dans le programme de calcul des sommes de températures, l'utilisateur choisit la température de l'air, du sol ou/et des troncs. Il précise jusqu'à trois différents seuils de température et décide du jour de départ dans l'année. Il est également possible de calculer les sommes de températures à partir d'un critère biologique (*biofix*),

par exemple le début du vol des adultes sur le terrain. A partir des résultats numériques fournis par les modèles de chaque espèce, les phénologies relatives sont sauvegardées et transférées dans une base de données servant à la présentation «online» et au support de décision (voir ci-dessous).

Présentation online et support de décision

Grâce aux résultats de la simulation et à l'interface Internet (www.sopra.info), une information complète sur les espèces et un support de décision actualisé en fonction de la phénologie sont accessibles en français, allemand, italien et anglais. Le site présente une liste de tous les ravageurs par région, de manière à accéder le plus rapidement possible à l'information. Sur la page d'accueil, une carte active de la Suisse permet de sélectionner l'une des quatorze régions climatiques couvertes par les diverses stations météorologiques. La carte avec ombrages et reliefs inclut également les rivières et les lacs (fig. 5A).

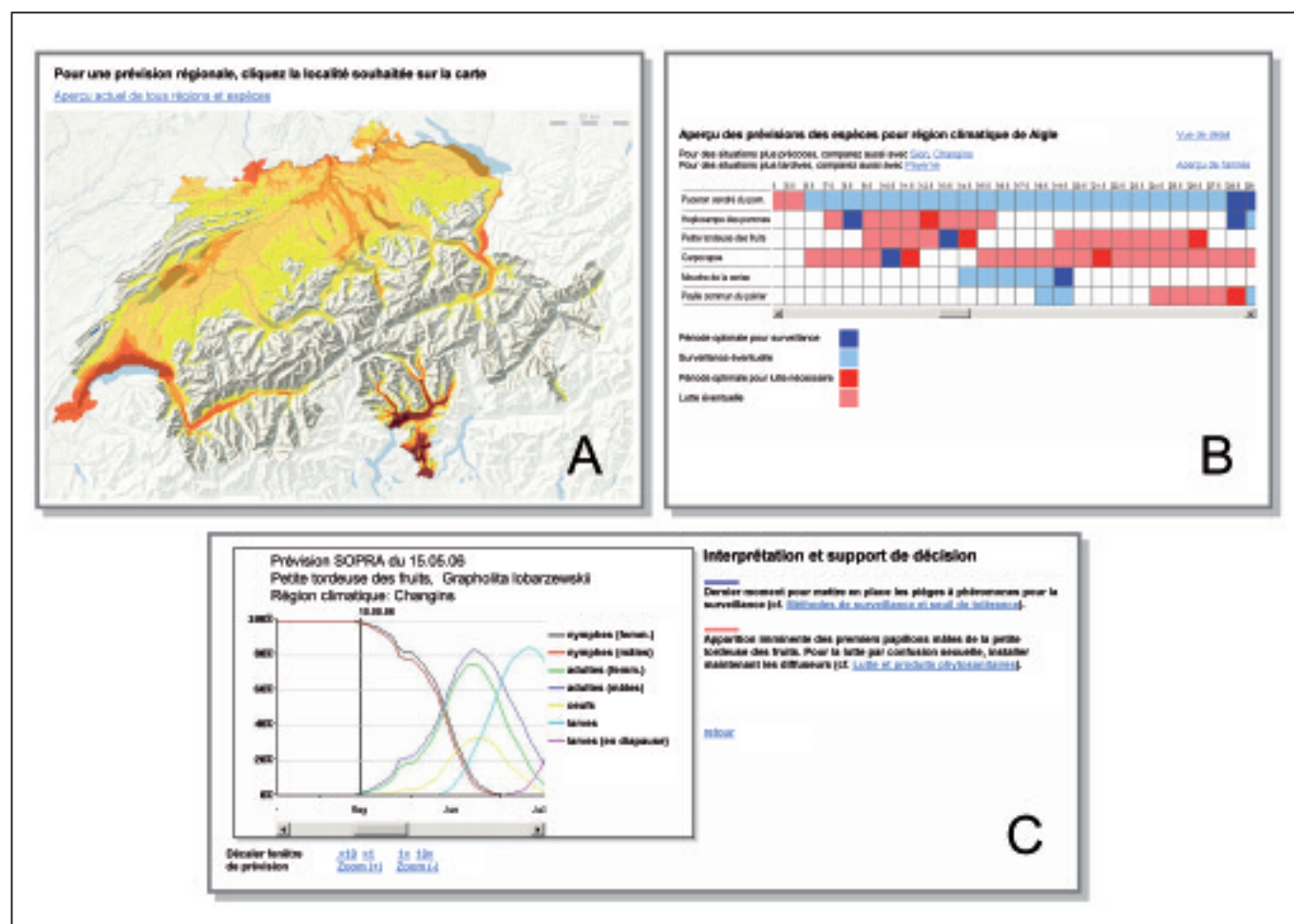


Fig. 5. Sélection de captures d'écran à partir de l'application Internet SOPRA. A: page d'accueil avec carte active des régions climatiques; B: tableau des ravageurs et des niveaux d'alerte pour une région donnée; C: support de décision avec résultats sous forme graphique et leur interprétation.

En cliquant sur la carte, l'utilisateur peut consulter un tableau regroupant tous les ravageurs actifs durant la période actuelle dans la région sélectionnée. Ce tableau de la période actuelle d'alerte peut être élargi pour couvrir toute l'année (fig. 5B). Les cellules combinées «espèce/jour» du tableau affichent un code de couleur identique sur tout le site avec du bleu pour les contrôles et du rouge pour les mesures de lutte à entreprendre. De plus, une couleur claire indique une période antérieure ou postérieure à la phase d'avertissement, tandis qu'une couleur foncée précise la période optimale d'action. Pour les différences locales de phénologie, comme par exemple dans les sites exposés au sud, des liens permettent l'accès aux données des régions voisines plus précoces et plus tardives.

En cliquant sur les cases du tableau, on accède au support de décision avec une représentation graphique de la structure relative par âge au sein des populations de ravageurs et à son interprétation

(fig. 5C). Le graphique montre les proportions des stades biologiques en ligne chronologique. Il couvre toute l'année et, grâce à un zoom à trois niveaux ainsi qu'à des touches de contrôle, permet de se déplacer dans le temps et donc d'obtenir l'interprétation servant au support de décision relative au jour choisi. Ce support de décision se divise en mesures de contrôle (avertissement) et en mesures de lutte en fonction du code de couleur mentionné plus haut. L'interprétation se réfère directement à la structure par âge du ravageur et annonce les périodes cruciales pour les actions à entreprendre. La figure 6 donne un aperçu des structures relatives par âge chez *G. lobarzewskii* et les interprétations qui en découlent. Dans les recommandations, toutes les mesures de lutte sont expliquées, en donnant toutefois la préférence aux techniques respectueuses de l'environnement et de développement durable, comme la confusion sexuelle (phéromones) ou les régulateurs de croissance. Ces conseils font référence à une autre partie du site

Internet, proposant une information illustrée sur la biologie et le développement des différentes espèces de ravageurs, les méthodes d'avertissement, les seuils économiques ainsi que des commentaires sur les mesures phytosanitaires au sujet des modes d'action, doses, toxicité, restrictions, etc.

Au-dessous de la carte des régions climatiques est présentée une liste d'alerte du jour pour toutes les régions et toutes les espèces. Elle s'avère très utile pour survoler rapidement les stades importants présents et les événements qui y sont associés, pour un utilisateur quotidien par exemple. Les cases du tableau avec leur combinaison région/espèce conduisent directement aux données graphiques et à leur interprétation écrite.

De plus, des tableaux permettent d'avoir une vue d'ensemble de toutes les régions climatiques classées par phénologie pour chaque espèce. Ces données sont spécialement conçues pour les utilisateurs qui désirent une information générale sur la phénologie et/ou sur les différences phénologiques existant entre les régions. Une fois encore, ces tableaux munis du code d'alerte en couleur sont extensibles à loisir sur toute l'année. De même, les cases du tableau combinées par région/jour conduisent directement au sein du support de décision avec les données graphiques et leur interprétation écrite.

Evaluation et perspectives

Jusqu'ici, les principaux problèmes rencontrés par les services agronomiques et les conseillers techniques dans l'utilisation de modèles de simulation provenaient de la diversité des approches de modélisation, de la non-standardisation de l'entrée des données et des résultats fournis, ainsi que de l'absence d'une interface conviviale pour l'utilisateur (Rossing *et al.*, 1999; van der Werf *et al.*, 1999). Tous ces problèmes sont maintenant résolus grâce à l'intégration de toutes les espèces ciblées dans une simulation flexible et extensible conçue sous forme d'une application MS Windows® courante. L'outil local de simulation SOPRA offre un avantage supplémentaire en pouvant s'étendre à d'autres ravageurs grâce à sa structure «ouverte»; celle-ci ne nécessite qu'un nombre limité de paramètres, simples à établir au moyen d'expériences standardisées ou soutenues par une validation minutieuse, pouvant même être extraite de la littérature.

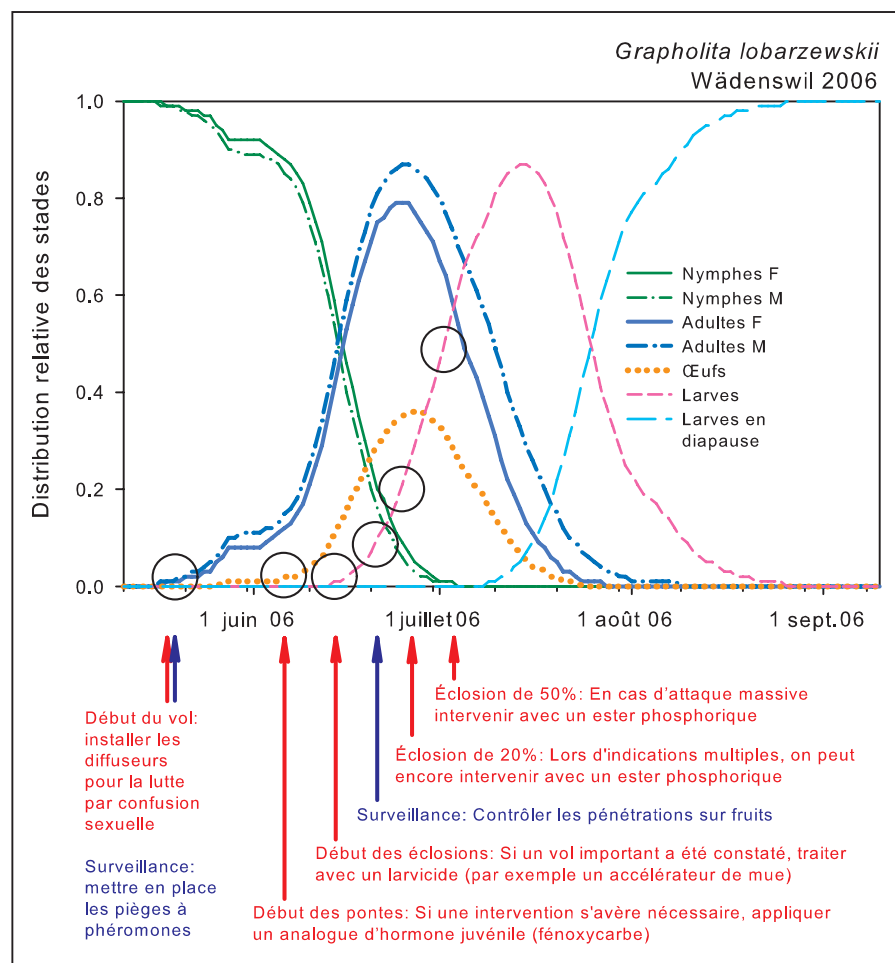


Fig. 6. Simulation de la phénologie relative de la petite tordeuse des fruits (*Grapholita lobarzewskii*) comprenant les événements importants de son cycle et les suggestions appropriées (bleu: surveillance, rouge: lutte). Le support de décision fournit une information plus détaillée et, en plus du moment optimal pour le contrôle ou la lutte, donne les périodes avant et après les phases d'alerte pour les femelles (F) et les mâles (M).

Le but principal de ce projet était de rendre l'application Internet directement utilisable par les conseillers techniques et les producteurs. Ces derniers trouvent l'information relative à la situation des ravageurs dans leur région par un simple «clic» et accèdent au support de décision par un second. Quant aux conseillers techniques, ils obtiennent une vue d'ensemble qui leur permet de tirer des conclusions à l'échelle du pays. Afin de maintenir le système aussi simple et concis que possible, nous n'avons pas inclus l'emplacement spécifique des vergers, ce qui pourrait s'avérer utile pour les grandes cultures, mais moins en arboriculture.

La définition spatiale des prévisions dépend bien entendu de la disponibilité des enregistrements locaux de la température et de la radiation solaire. En Suisse, les services agronomiques publics accroissent constamment leur réseau de petites stations météo pour prévenir les risques de tavelure, mildiou et feu bactérien. Nous nous sommes cependant limités aux données des stations météorologiques officielles qui fournissent des mesures de température plus précises. La prévision des maladies des plantes dépend également des précipitations qui sont plus influencées par le climat local que les données de température utilisées dans notre système. Bien qu'un réseau plus étoffé de stations permette une meilleure différenciation des localités, les quatorze régions climatiques représentées dans SOPRA semblent jusqu'à présent offrir une information suffisante à l'échelle suisse.

Depuis environ cinq ans, SOPRA a été utilisé avec succès comme outil fiable de conseil pour quatre ravageurs des pommiers (*D. plantaginea*, *H. testudinea*, *C. pomonella*, *G. lobarzewskii*) au niveau local et régional, en Suisse et dans le sud de l'Allemagne. Avec sa nouvelle interface Internet, SOPRA sera disponible «online» pour les six plus importants ravageurs des fruitiers du printemps 2007, incluant *R. cerasi* et *C. pyri*. Les modèles récemment validés pour *A. pomorum* et *A. orana* devraient être mis en ligne en 2008. D'autres extensions sont planifiées et devraient voir le jour dans le futur.

En proposant le moment adéquat pour l'application des mesures de contrôle et de lutte, le support de décision de SOPRA augmente l'efficacité de la lutte contre les ravageurs et réduit les effets indésirables. Il permet d'utiliser les mesures respectueuses de l'environnement comme la confusion sexuelle, les virus spécifiques ou les régulateurs de croissance, qui nécessitent une application précise dans le temps pour être

efficaces. SOPRA contribue de façon importante à la production fruitière intégrée, car il aide les producteurs, parmi un éventail varié de tactiques, à prendre les décisions nécessaires pour maintenir les ravageurs au-dessous des seuils économiques, tout en minimisant leur impact sur l'environnement.

Conclusions

- ❑ SOPRA est un outil efficace et flexible pour optimiser le positionnement des mesures de contrôle et de lutte contre les ravageurs en vergers.
- ❑ Les principales difficultés d'utilisation rencontrées par les services logistiques et les conseillers techniques sont résolues grâce à l'intégration de toutes les espèces ciblées dans un outil de simulation extensible.
- ❑ L'interface Internet permet aux producteurs et aux conseillers techniques d'accéder à l'information relative à la situation des ravageurs en quelques «clics» seulement. Les conseillers techniques peuvent accéder à des tableaux synthétiques qui leur permettent de tirer des conclusions à l'échelle du pays.
- ❑ Nécessaire au bon fonctionnement d'un support de décision, l'information illustrée concernant la biologie et le développement des ravageurs, les méthodes de contrôle, les seuils économiques et les suggestions quant aux mesures de protection phytosanitaires permet de tenir les producteurs informés.
- ❑ SOPRA augmente l'efficacité de la lutte contre les ravageurs et réduit les effets indésirables. Il permet d'utiliser des mesures respectueuses de l'environnement comme la confusion sexuelle, les virus ou les régulateurs de croissance, dont l'efficacité repose sur une application précise dans le temps.

Remerciements

Nous remercions Ph. Blaise (ETH Zurich) pour sa contribution aux premières versions de la plateforme de simulation, R. Hess et P. Wälti (MSI AG, Buchs)

pour le codage de l'application Internet, M. Genini pour la correction des versions française et italienne de l'application Internet, Ph. Jeanbourquin, C. Baroffio, P.-J. Charmillot et F. Rezzonico pour leurs traductions et leurs corrections, A. Lahusen et Th. Ackermann pour les validations en laboratoire et sur le terrain, et enfin C. Daniel et E. Wyss (FiBL, Frick) pour le matériel d'élevage et la contribution à la validation du modèle sur la mouche de la cerise.

Bibliographie

- Abkin M.H. & Wolf C., 1976. Distributed delay routines. Dept. Agric. Econom., Michigan State Univ., East Lansing, Class Document 8, 1-13.
- Aschwanden A., Beck M., Häberli C., Haller G., Kiene M., Roesch A., Sie R. & Stutz M., 1996. Die Ergebnisse des Projekts KLIMA90, Grafiken. Schweizerische Meteorologische Anstalt (MeteoSchweiz), Zürich. 260 p.
- Graf B., Höhn H. & Höpli H. U., 1996. The apple sawfly, *Hoplocampa testudinea*: a temperature driven model for spring emergence of adults. *Entomol. Exp. Appl.* **78**, 301-307.
- Graf B., Höhn H. & Höpli H. U., 1999. The smaller fruit tortrix, *Grapholita lobarzewskii*: predicting the phenology of adult emergence. *Entomol. Exp. Appl.* **93**, 299-304.
- Graf B., Höhn H. & Höpli H. U., 2001a. The apple sawfly, *Hoplocampa testudinea*: Temperature effects on adult life-span and reproduction. *Entomol. Exp. Appl.* **98**, 377-380.
- Graf B., Höhn H. & Höpli H. U., 2001b. Improving the prediction of adult codling moth (*Cydia pomonella* L.) emergence in a natural environment. *IOBC/wprs Bull.* **24**, 127-132.
- Kirchhofer W., 1982. Atlas climatologique de la Suisse. Première livraison, Institut suisse de météorologie. Office fédéral de topographie, Wabern.
- Kirchhofer W., 1984. Atlas climatologique de la Suisse. Deuxième livraison, Institut suisse de météorologie. Office fédéral de topographie, Wabern.
- Manetsch T. J., 1976. Time-varying distributed delays and their use in aggregative models of large systems. *IEEE Trans. Systems, Man, Cybern.* **6**, 547-553.
- Morgan D. & Solomon M. G., 1996. Pest-Man: a forecasting system for orchard pests. *Acta Hort.* **416**, 273-277.
- Norton G. & Mumford J. D., 1993. Decision Tools for Pest Management. CAB International, Wallingford, 288 p.
- Pedigo L. P. & Rice M. E., 2005. Entomology and Pest Management. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 784 p.
- Rossing W. A. H., van der Werf W. & Leeuwis C., 1999. Quality of modelling in fruit research and orchard management: an introduction to the workshop. *Acta Hort.* **499**, 147-150.
- Van der Werf W., Leeuwis C. & Rossing W. A. H., 1999. Quality of modelling in fruit research and orchard management: issues for discussion. *Acta Hort.* **499**, 151-159.
- Welch S. M., Croft B. A., Brunner J. F. & Michels M. F., 1978. PETE: An extension phenology modeling system for management of multi-species pest complex. *Environ. Entomol.* **7**, 482-494.

Summary

SOPRA: Forecasting tool for fruit tree pest insects

The forecasting tool SOPRA has been developed with the objective to optimize timing of monitoring and control measures of insect pests in fruit orchards. Applying time-varying distributed delay approaches, phenology-models were developed driven by solar radiation, air temperature and soil temperature on hourly basis. Models are developed and validated for *Dysaphis plantaginea*, *Hoplocampa testudinea*, *Cydia pomonella*, *Grapholita lobarzewskii*, *Cacopsylla pyri*, *Rhagoletis cerasi*, *Anthonomus pomorum* and *Adoxophyes orana*. The implementation of body temperatures in the models is based on habitat selection and biophysical simulation of habitat conditions. On base of local weather data, age structure of the pest populations is simulated and crucial events for management activities are announced. Through a web-interface, the simulation results are available to consultants and growers (www.sopra.info) and can be applied as decision support system (DSS) for the eight major insect pests of fruit orchards in the alpine valleys and north of the Alps at local and regional scale.

Key words: phenology, model, forecasting, decision support system, temperature, pest insects, monitoring, plant protection, fruit growing.

Riassunto

SOPRA: Strumento di previsione contro gli insetti nocivi nei frutteti

Lo strumento di previsione SOPRA è stato sviluppato per migliorare il monitoraggio e le misure di lotta contro i danni degli insetti nei frutteti. Applicando un approccio basato su «time-varying distributed delay», sono stati sviluppati modelli fenologici del ciclo vitale degli insetti basati su misurazioni orarie della radiazione solare, della temperatura dell'aria e del suolo. Dei modelli sono stati sviluppati e validati per le specie *Dysaphis plantaginea*, *Hoplocampa testudinea*, *Cydia pomonella*, *Grapholita lobarzewskii*, *Cacopsylla pyri*, *Rhagoletis cerasi*, *Anthonomus pomorum* e *Adoxophyes orana*. L'integrazione della temperatura corporea nei modelli è basata sulla selezione dell'habitat e la simulazione biofisica delle condizioni dell'habitat stesso. Sulla base dei dati meteorologici locali, viene simulata la distribuzione per classe d'età della popolazione degli insetti e vengono annunciati gli eventi rilevanti per l'applicazione delle misure di gestione. I risultati della simulazione vengono messi a disposizione dei consulenti e dei coltivatori attraverso un'interfaccia-web (www.sopra.info) come supporto per la presa di decisioni su scala locale e regionale per la gestione delle otto specie di insetti patogeni più diffuse nei frutteti a nord delle Alpi e nelle valli.

Zusammenfassung

SOPRA: Prognosewerkzeug für Schadinsekten im Obstbau

Das Prognosewerkzeug SOPRA wurde mit dem Ziel entwickelt, die Überwachungs- und Bekämpfungsmassnahmen bei Obstschädlingen zu optimieren. Unter Nutzung von «Time-varying distributed delays» wurden Phänologiemodelle auf der Basis von Stundenwerten der klimatischen Variablen Sonnenstrahlung, Lufttemperatur und Bodentemperatur für folgende Arten erstellt und validiert: Mehliges Apfelblattlaus (*Dysaphis plantaginea*), Apfelsägewespe (*Hoplocampa testudinea*), Apfelwickler (*Cydia pomonella*), Kleiner Fruchtwickler (*Grapholita lobarzewskii*), Birnblattsauger (*Cacopsylla pyri*), Kirschenfliege (*Rhagoletis*

cerasi), Apfelblütenstecher (*Anthonomus pomorum*) und Schalenwickler (*Adoxophyes orana*). Die im Modell angewandten Körpertemperaturen basieren auf detaillierten Studien zur Habitatwahl und z.T. biophysikalischer Simulation der Habitatbedingungen. Auf Basis lokaler Wetterdaten wird die Altersstruktur der Schädlingpopulationen simuliert und entsprechend werden Schlüsselereignisse für den Pflanzenschutz angezeigt. Die Simulationsergebnisse werden den Pflanzenschutzberatern und Produzenten als ein umfassendes Beratungsinstrument über das Internet zur Verfügung gestellt (www.sopra.info), was die Entscheidungshilfe für die acht wichtigsten Schädlinge im Kern- und Steinobstanbau der Alpentäler und nördlich der Alpen auf lokaler und regionaler Ebene unterstützt.

Bouchons

Capsules de surbouchage

Capsules à vis · Bouchons couronne

Bondes silicone · Barriques · Fûts de chêne

Supports porte-barriques · Tire-bouchons *Pulltap's*

LIÈGE RIBAS S.A.

8-10, rue Pré-Bouvier · Z.I. Satigny · 1217 Meyrin

Tél. 022 980 91 25 · Fax 022 980 91 27

e-mail: ribas@bouchons.ch

www.bouchons.ch

Calculs techniques

Fournitures et installation complète pour:

adéquation et pilotage des températures d'élaboration:

- débouillage
- macération à chaud
- macération à froid
- fermentation alcoolique
- fermentation malolactique
- stabilisation tartrique



Votre spécialiste pour vos installations vinicoles

Pressoir avec membrane centrale



DELLA TOFFOLA

NOUVEAU

**avec membrane élastique:
nettoyage facilité et hygiène absolue**

- _ Meilleure qualité des moûts
- _ Gain de temps jusqu'à 50% grâce au principe de la membrane centrale
- _ Pressoirs entièrement en inox
- _ Références de premier ordre



**Ne laissez pas le
mauvais temps
détruire le fruit de
votre travail!**

Nous assurons vos vignes,
les bois de vigne et les
jeunes vignes à l'aide d'une
couverture complète contre
la grêle et autres calamités
naturelles.

Case postale, 8023 Zurich
Tél.: 044 257 22 11
Fax: 044 257 22 12
info@grele.ch
www.grele.ch



**Schweizer Hagel
Suisse Grêle
Assicurazione Grandine**
AU SERVICE DE L'AGRICULTURE

Piquets de vigne

Zingués à chaud 100 microns

PaliSystem



1932-2007

1268 BEGNINS

Tél. 022 366 13 17

Fax 022 366 32 53

www.zimmermannsa.ch

