

**AFPP – 6° CONFERENCE SUR LES MOYENS ALTERNATIFS DE PROTECTION
POUR UNE PRODUCTION INTEGREE
LILLE – 21 ,22 ET 23 MARS 2017**

**OPTIMISER LE POSITIONNEMENT D'UN TRAITEMENT PHYTOSANITAIRE EN FONCTION DES
CONDITIONS CLIMATIQUES**

E. STÖCKLIN

Ingénieur agronome NewFarm Agriconsult

eric@newfarm-agriconsult.com

RÉSUMÉ

L'objectif de la modélisation mise en oeuvre est de donner aux utilisateurs de produits phytosanitaires un outil d'aide à la décision afin de positionner leur traitement de manière optimale en fonction des conditions microclimatiques dans la culture.

Pour chaque matière active, le système utilise des modèles qui décrivent la relation entre les propriétés du produit, les processus d'action et les conditions climatiques. Un modèle climatique calcule les conditions météorologiques dans la culture, en utilisant l'état de développement de la culture et de l'humidité du sol comme informations supplémentaires. Les développements ont abouti à la création de 26 sous-modèles implémentés dans une application web.

Cette recherche appliquée participe à nos objectifs de diminution des intrants, car l'efficacité des traitements peut être anticipée et ciblée : l'intervention en est optimisée.

Mots-clés : agriculture, protection intégrée, pulvérisation, microclimat, modèles.

ABSTRACT

The objective of the modeling implemented in this work is to give users of plant protection products a decision support tool in order to position in the best possible way a spray according to the microclimatic conditions in the crop.

For each active ingredient, the system uses models that describe the relationship between product properties, processes, and climatic conditions. A climate model calculates the weather conditions in the crop, using the state of crop development and soil moisture as additional information. The developments resulted in the creation of 26 sub-models implemented in a web application. This applied research contributes to our objectives of reducing inputs, because the effectiveness of treatments can be anticipated and targeted: the intervention is optimized.

Keywords: agriculture, IPM, spraying, weatherwise, models.

INTRODUCTION

Les connaissances agronomiques actuelles liées à l'expérience de terrain permettent de définir s'il est nécessaire de pulvériser une culture en vue de la protéger contre des pathogènes ou des ravageurs. Des produits phytosanitaires sont à disposition en fonction de la cible à combattre et les doses de ces produits font l'objet d'un conseil raisonné. Cependant quand les conditions climatiques ne sont pas favorables, le produit peut ne pas adhérer à la feuille ou ne pas être absorbé ni transporté vers l'endroit où il doit agir; par conséquent la protection n'est pas optimale.

Bien positionner l'application des produits phytosanitaires est une décision très importante afin d'éviter les échecs de protection. Intervenir à l'optimum d'efficacité évite de devoir répéter ou compléter ce qui a été réalisé et donc contribue à diminuer les quantités de produit utilisées. Il est souvent constaté que la dose efficace en conditions optimales peut être diminuée par rapport au maximum autorisé. Dans le contexte actuel de développement de la protection intégrée et dans la perspective d'une diminution des quantités de produits utilisées, l'application mise au point vise à mettre à disposition de tout agriculteur ou des conseillers, un outil d'aide à la décision permettant de choisir le moment optimal d'intervention. L'outil est dédié à trouver les meilleures heures d'application pour optimiser l'utilisation des produits ; il ne s'agit pas de savoir si les produits sont utiles vis-à-vis de la cible.

Outre les propriétés chimiques et physiques du produit lui-même, les conditions climatiques avant, pendant et après l'intervention influencent l'efficacité de la protection (Bouma, 1995).

Bouma a développé un ensemble de modèles caractérisant l'influence du microclimat à l'échelle de la plante. Les processus de contact, absorption, transport et mode d'action des différents types de produits phytosanitaires sont modélisés. L'objectif est de fournir aux agriculteurs un tableau horaire affichant l'efficacité supposée d'un produit sélectionné (Bouma, 1998, 2000).

MATERIEL ET METHODE

CLIMAT DANS LA VEGETATION

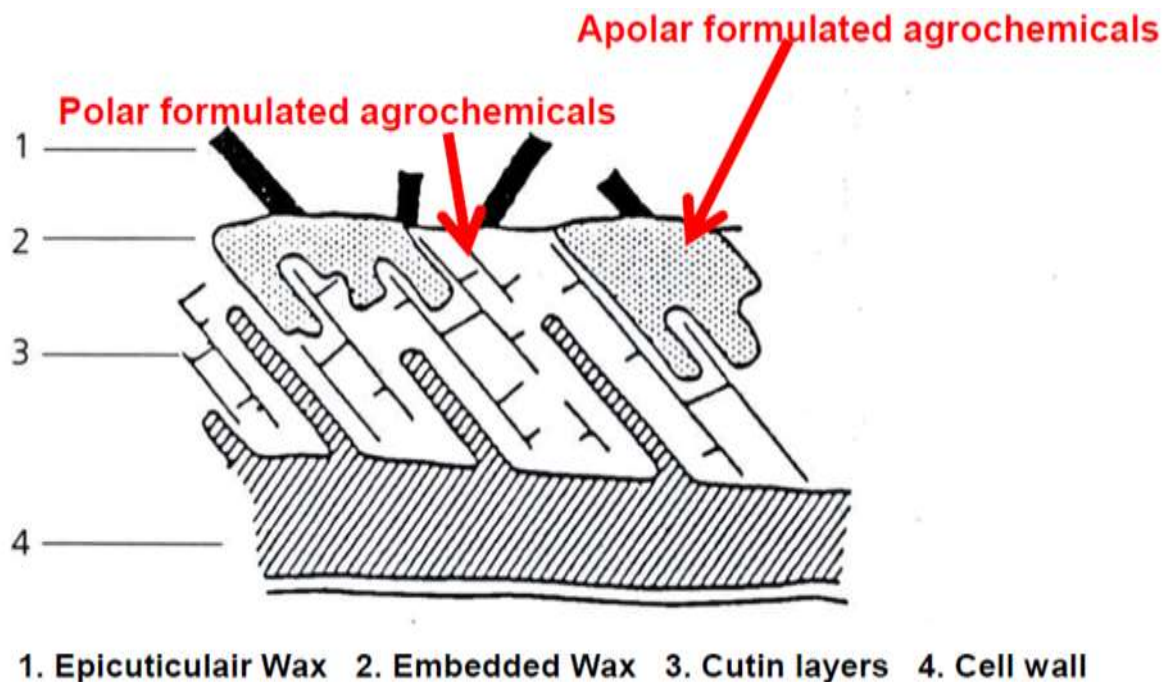
Le climat dans la culture peut différer considérablement des conditions météorologiques mesurées à hauteur standard. De nombreux chercheurs ont étudié le phénomène. Température, humidité, humectation, radiation solaire et vent dans la culture ont des valeurs différentes dans la culture que celles mesurées 2 mètres au-dessus de celle-ci : Wartena & Bouma, 1998 - Jacobs *et al.*, 1994, 1995 - Garatt & Segal, 1988 - Beysens, 1995 - Jacobs & Nieveen, 1995 - Jacobs *et al.*, 2005.

Un modèle climatique synthétique de transfert Sol-Végétation-ATmosphère (SVAT) a été développé. Les travaux de Bouma *et al.* (non publiés), basés également sur des publications de Deardoff (1978), Dickinson *et al.* (1986) et Noilhan *et al.* (1989) ont abouti à un modèle SVAT utilisé dans ce projet d'OAD de positionnement des traitements.

RELATION CLIMAT ET EFFICACITE DE LA PROTECTION

Il est évidemment important de connaître le mode d'action et la nature de l'interaction qu'un produit phytosanitaire peut avoir avec le végétal.

Figure 1 : Modes d'absorption d'un produit phytosanitaire par la feuille
Penetration of agrochemicals in the leaf of plants



Nous prendrons pour exemple les produits fongicides de contact et systémiques.

Les fongicides de contact agissent à la surface de la cuticule. Cela implique qu'après application sur des feuilles sèches, l'eau des gouttelettes pulvérisées soit évaporée rapidement. Une humidité relative faible, un peu de vent avec ensoleillement correspondent à une situation optimale. Une pluie peu de temps après l'application diminue l'efficacité par lessivage du produit (Schepers, 1996, Mathiassen *et al*, 1996, 1998; Evenhuis, 1998, Emery *et al*, 1999, Bødker & Nielsen, 2002).

Les fongicides systémiques doivent passer la couche de la cuticule. Les conditions avant l'application vont influencer l'absorption des produits dont la formulation est polaire. En effet, la structure des couches de cire et de cutine change en raison du microclimat qu'elles subissent (Caseley & Coupland, 1985, Kalkdijk *et al*, 2004).

La radiation solaire, l'humidité relative et l'humidité du sol influencent l'épaisseur de ces couches (Cutler *et al*, 1982). Des conditions favorables à la croissance de la plante engendrent une surface foliaire non « endurcie » (Baker & Procopiou, 1980; Lundkvist, 1996). Par contre en conditions sèches, à travers des couches de cire plus épaisses, l'interception, la rétention et la pénétration de la plupart des produits à formulation polaire (hydrophile) est beaucoup plus difficile.

Le climat va déterminer si un adjuvant peut contribuer utilement à l'absorption des substances actives. En présence de plantes dont les cuticules sont endurcies, les surfactants lipophiles vont améliorer la performance alors qu'en périodes humides, les surfactants hydrophiles présentent leur meilleur potentiel (Hull *et al*, 1975).

Les produits à formulation polaire ayant une systémie locale doivent pénétrer par les petits pores et micro-canaux de la cuticule et la cutine. La cutine se rétrécit en conditions sèches et ensoleillées ; la cutine avec la cire de la cuticule finit par former un couvercle hermétique. En situation humide, les couches de cutine se dilatent et les pores sont remplis d'eau. La diffusion des produits polaires se passent donc très bien dans ces conditions (Baker, 1980; Baker & Hunt, 1986). De plus, en périodes humides les feuilles ont tendance à s'allonger et la production de cire n'arrive pas nécessairement à suivre; une partie de la cire peut également être lessivée.

La situation peut changer rapidement pendant la journée alors que la température augmente; en conséquence l'humidité diminue, la production de cire augmente, la cutine se rétrécit, les pores et canaux se rebouchent... les conditions d'absorption deviennent plus difficiles.

L'efficacité des produits à formulation non polaire n'est pas aussi dépendante des conditions climatiques parce que le solvant de la formulation pénètre très rapidement dans la feuille et facilite l'absorption de la matière active.

Lorsqu'il y a humectation des feuilles les possibilités d'adhésion ou d'absorption sont faibles. Dans certains cas, la rosée va favoriser la chute des gouttelettes pulvérisées : le produit n'atteindra pas sa cible. Le vent joue également un rôle en secouant les feuilles et accentuant la chute des gouttelettes. Un produit de contact adhérera très difficilement sur des feuilles couvertes d'eau.

Une bonne estimation de l'intervalle de temps entre l'application et une précipitation est importante pour le positionnement du produit. Par ailleurs les produits ont une résistance au lessivage qui leur est propre (Schepers, 1996, Mathiassen *et al*, 1996, 1998, Evenhuis, 1998, Bødker & Nielsen, 2001).

Ainsi pour une bonne efficacité, aussi bien pour les produits de contact que systémiques, la feuille doit de préférence être sèche au moment de l'application.

Le microclimat dans les 36 heures qui suivent le traitement est également important car il influence le séchage de l'interface cuticule-matière active ainsi que la pénétration et le transport dans la plante.

Donc les conditions microclimatiques avant, pendant et après une application de produit phytosanitaire entrent en ligne de compte et conditionnent l'efficacité du traitement. Cette efficacité dépend en outre des caractéristiques du produit : matière active, formulation et processus impliqués dans le mode d'action.

MODELISATION

Bouma *et al.* (non publié) ont développé un système expert en utilisant 21 modèles élémentaires traitant des relations entre les conditions climatiques, les propriétés des produits phytosanitaires et la végétation. Chaque modèle est la description d'un processus qui se situe dans la chaîne de captage, transport et mode d'action du produit dans ou sur les feuilles ou encore dans le sol.

Le système expert calcule un SCORE pour chaque heure (passée ou prévisionnelle). Le SCORE est un paramètre qui exprime le résultat de chaque processus en fonction des paramètres microclimatiques dans la végétation et des propriétés du produit phytosanitaire analysé.

Un produit phytosanitaire donné est soumis à une partie des processus évoqués; un paramètre INTERÊT relatif à ce produit vient déterminer l'importance relative du processus pour chacune des matières actives. L'INTERÊT est égal à 0 lorsque le processus n'intervient pas pour la matière active évaluée ; il est égal à 100 lorsque le processus est d'importance majeure.

Finalement le système expert calcule l'EFFICACITE en multipliant le SCORE par l'INTERÊT et cela pour chaque matière active du produit phytosanitaire. L'EFFICACITE d'un produit contenant plusieurs matières actives est la valeur moyenne des efficacités de chaque substance.

Tableau I : Description des processus modélisés / Description of processes in the model

Hydratation de la cuticule	sur une durée de 24 heures
Assèchement du feuillage	sur une durée de 5 heures
Développement de la cuticule	sur une durée de 60 heures
Adhésion sur la feuille (lessivage)	sur une durée de 7 heures
Inhibition de la photosynthèse	sur une durée de 72 heures
Inhibition des mitoses	sur une durée de 72 heures
Influence haute température sur insecticides	sur une durée de 4 heures
Influence basse température sur insecticides	sur une durée de 4 heures
Croissance de la plante	sur une durée de 30 heures
Systemie	sur une durée de 72 heures
Respiration	sur une durée de 72 heures
Inhibition de l'ALS	sur une durée de 72 heures
Absorption foliaire	sur une durée de 8 heures
Assèchement surface du sol	sur une durée de 12 heures
Transport vers les racines	sur une durée de 72 heures
Lessivage	sur une durée de 6 heures
Inhibition synthèse des lipides	sur une durée de 72 heures
Mise en contact foliaire	sur une durée de 7 heures
Dégâts par la température	sur une durée de 12 heures
Influence directe de la température du sol	sur une durée de 72 heures
Influence directe de la température de la plante	sur une durée de 72 heures

L' EFFICACITE climatique d'un traitement est exprimée sur une échelle de 0 à 2.

Une EFFICACITE valorisée entre 1.5 et 2 est considérée comme optimale ;

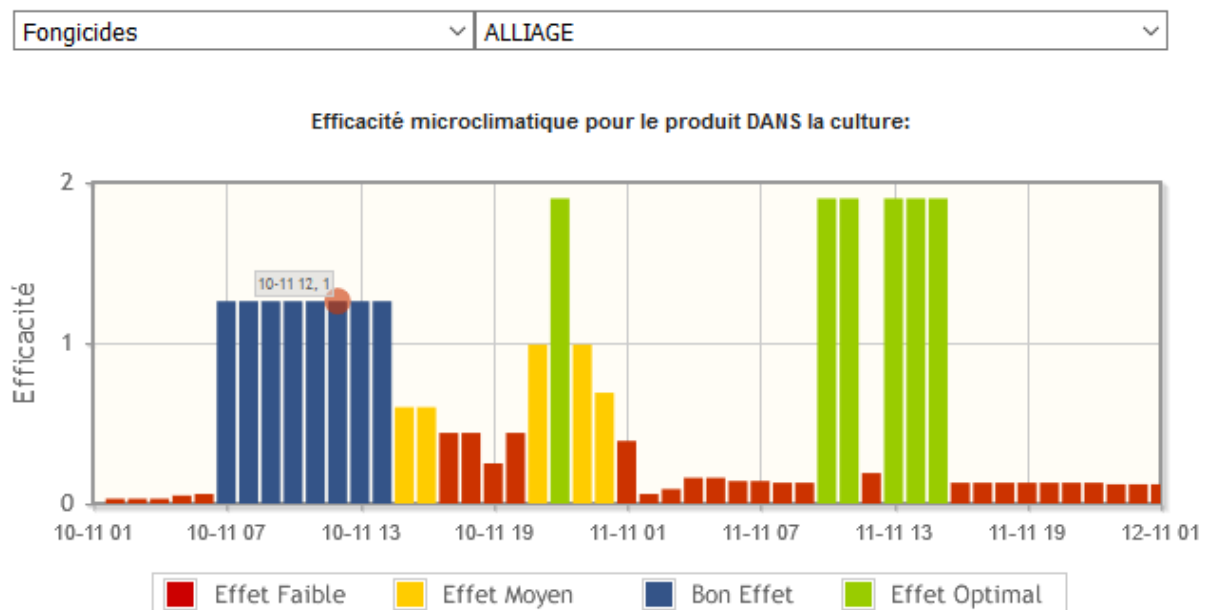
les valeurs de 1 à 1.5 sont considérées comme conditions correctes ;

les valeurs de 0.5 à 1 comme conditions moyennes ;

et les valeurs de 0 à 0.5 comme conditions défavorables pour un résultat correct lors de l'application du produit envisagé au moment donné.

Une visualisation claire par tranche horaire permet d'appréhender l' EFFICACITE climatique dans le temps.

Figure 2 : Visualisation des efficacités climatiques horaires d'un produit
View of the hourly efficiencies of a chemical



DISCUSSION

Une liste des produits phytosanitaires (<https://ephy.anses.fr/>) homologués en France est intégrée dans l'application finalisée sur base de la modélisation. La plupart des cultures sont implémentées.

L'utilisateur choisit sa culture et son stade.

Il va évaluer l'efficacité climatique d'un herbicide, fongicide, insecticide ou régulateur de croissance de la liste.

Figure 3 : Choix de la culture, du produit et de la date
Choice of crop, chemical and date

Culture
Pommier

Date
10-11-2016

novembre 2016

Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

Soumettre

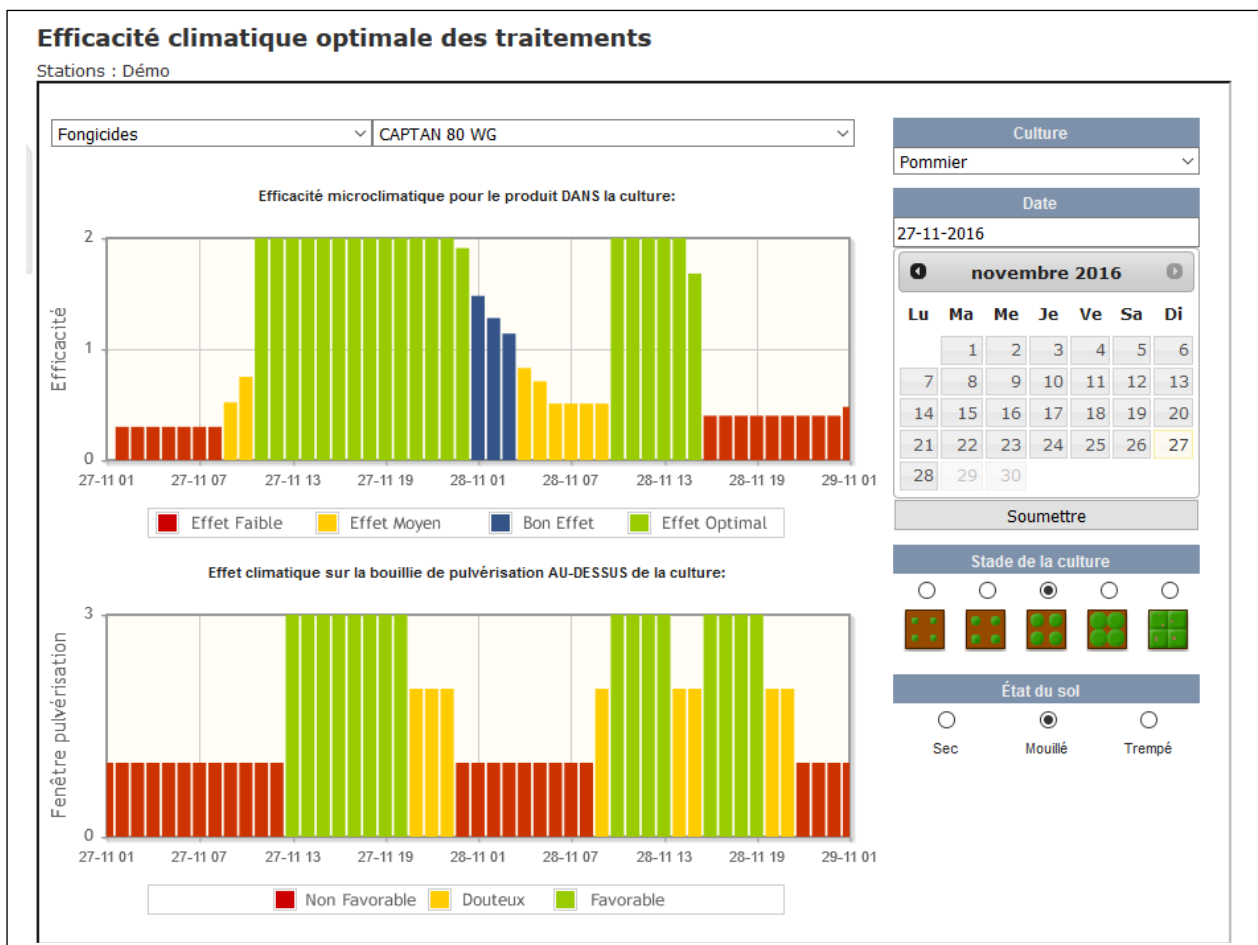
Stade de la culture

État du sol

Sec Mouillé Trempé

Une interface pour intégrer automatiquement les données météo dans l'application a été mise en place par l'auteur. Pour les données passées, l'idéal est de disposer de données enregistrées à proximité de la parcelle à pulvériser ; un système de station météo virtuelle (simulation atmosphérique et spatialisée) a également été intégré dans le cas où l'utilisateur ne dispose pas de station météo dans sa parcelle. Les prévisions météo horaires haute définition calculées pour le lieu de la parcelle servent pour les 48 prochaines heures. Les données météo passent dans le modèle SVAT avant d'être soumises au système expert de calcul de l'EFFICACITE climatique.

Figure 4 : Visualisation de l'interface de l'application
View of the web application



Il est à noter que les résultats d'efficacité sont mis en parallèle avec les fenêtres de pulvérisation pour la parcelle ; la fenêtre de pulvérisation évalue les conditions climatiques au-dessus de la culture permettant ou non d'utiliser un pulvérisateur aux différentes tranches horaires (vent, pluie, température et humidité).

Les résultats d'efficacité sont utilisés et éprouvés depuis plusieurs années par des agronomes et des producteurs (essentiellement hollandais et depuis 2 ans en France). Les développeurs adaptent et améliorent les algorithmes en fonction de l'évolution des recherches scientifiques et retours des utilisateurs.

CONCLUSION

Avec l'aide de cet outil d'aide à la décision, il est possible de planifier une intervention au moment de la plus grande efficacité pour un traitement phytosanitaire. Les interventions avec les fongicides, insecticides, herbicides et régulateurs de croissance sont analysées par tranche horaire. L'outil est dédié à trouver les meilleures heures d'application pour optimiser l'utilisation des produits (indépendamment de leur utilité contre la cible qui n'est pas analysée ici).

L'agriculteur évitera évidemment les moments défavorables à l'efficacité du produit et de manière prévisionnelle, il pourra comparer l'efficacité de différents produits à un même moment afin de choisir celui qui, pour le même objectif phytosanitaire, aura l'efficacité probable la plus élevée.

Ayant effectué un traitement et ayant des doutes sur son efficacité *a posteriori*, il pourra visualiser les efficacités calculées avec les conditions météo réelles correspondant au moment de la réalisation du traitement et donc d'en apprécier l'efficacité probable, pour éventuellement ré-intervenir ou diagnostiquer un échec.

Les relations entre produits phytosanitaires et cibles ne sont pas toujours visibles ou évidentes sur le terrain. L'application résultant de cette modélisation aide les agriculteurs à prendre conscience de phénomènes complexes et devient un véritable outil d'aide à la décision dans le quotidien de l'exploitation agricole.

BIBLIOGRAPHIE

- Baker, EA (1980) Effect of cuticular components on foliar penetration. *Pesticide Science* 11, 367—370.
- Baker, EA & Hunt, GM (1986) Erosion of waxes from leaf surfaces by simulated rain. *New Phytologist* 102, 161—173.
- Baker, EA & Procopiou, J (1980) Effect of soil moisture status on leaf surface wax yield of some drought-resistant species. *Journal of Horticultural Science* 55, 85—87.
- Beysens, D (1995). The formation of dew. *Atmosphere Research* 39: 215 - 237
- Bouma, E (1995) [How weather affects plant protection]. *Pflanzenschutz-Praxis* 3 26-27 (in German)
- Bouma, E (1998) Gewis, a weather-based DSS for timing the application of agrochemicals. In : *Abstracts of the 7th International Congress of Plant Pathology* 3, 3.1. 19. Edinburgh (GB).
- Bouma, E (1999) Practical aspects of Epidemiology. *Journal of Plant Pathology* (1999), 81 (3), 219-223
- Bouma, E (2000) The Dutch approach: a combination of meteo-based decision support systems. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 30, 65-68.
- Bouma, E (2003) Gewis, a weather-based decision support system for timing the application of plant protection products. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 33, 483-487.
- Bødker, L & BJ Nielsen (2002) Influence of irrigation on the wash-off of fungicides in field grown potato. In: *PAV Special Report* 8, 163—167. PAV, Lelystad (NL)
- Caseley, JC, Coupland, D (1985) Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake, movement and activity. In: *The Herbicide Glyphosate*, ed. E. Grossbard & D Atkinson, 92-124. Butterworths, London.
- Cutler, DF, Alvin, KL & Price, CE (1982) *The Plant Cuticle*. Academic Press, London (GB)
- Emery, D, Culiez, L, Duvauchelle S. (2000). Perfecting a biological test assessing the resistance of anti late blight fungicide to rainfastness. In: *PAV Special Report* 6, 235—240. PAV, Lelystad (NL)
- Evenhuis A, Schepers, HTAM, Bus, CB, Stegeman, WLM, (1998) Rainfastness of mancozeb and Curzate M on potato leaves. In: *PAV Special Report* 3, 218—225. PAV, Lelystad NL
- Garratt, JR, Segal M (1988). On the contribution of atmospheric moisture to dew formation. *Boundary-Layer Meteorology* 45: 209-236

Hull, HM, Morton, HL, Wharrie, JR (1975) Environmental influences on cuticle development and resultant foliar penetration. *Botanical Review* 41: 421-452.

Jacobs, AFG, Boxel van JH, El-Kilani RMM, (1994) Night time free convection characteristics within a plant canopy. *Boundary-Layer Meteorology* 71: 375-391.

Jacobs, AFG, Nieveen JP (1995) Formation of dew and the drying process within crop canopies. *Meteorological Applications* 2: 249-256

Jacobs, AFG, Boxel van JH, El-Kilani RMM, (1995) Vertical and horizontal distribution of wind speed and air temperature in a dense vegetation canopy. *Journal of Hydrology* 166: 3 13-326.

Jacobs, AFG, Heusinkveld BG, Kessel GJT, (2005) Stimulating of leaf wetness duration within a potato canopy. *Neth.J.Agric.Sciences (in press)*

Lundkvist, A (1996) Weather effects on herbicide efficacy at reduced doses, *Acta niversitatis Agriculturae Sueciae Agraria* 14.

Mathiasen, SK, Kudsk, P, Kirknel, E & Schlutz, H (1996) Rain fastness and residual activity of some *Phytophthora* fungicides. In: *PAV Special Report 1*, 91—97. PAV,Lelystad (NL)

Mathiasen, SK, Schlutz, H, Kudsk, P, (1998) Influence of rain on the activity of fungicides against potato late blight. In: *PAV Special Report 3*, 209-217. PAV,Lelystad (NL)

Schepers, HTAM (1996) Rain fastness of fungicides used to control *Phytophthora infestans*. In: *Abstracts of the 13th European Association of Potato Research Conference*, 374—375.

Wander JGN, Nugteren W, Kalkdijk JR, Esselink LJ and Schepers HTAM (2004) Influence of remoistening of leaves on efficacy of fungicides. In: *PPO-Special Report no 10*,299-302.

Wartena, L & Bouma, E (1998) *Agrarisch Weerboek*, p. 175. Uitgeverij Roodbont, Zutphen