

**AFPP – ONZIÈME CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES MALADIES DES PLANTES
TOURS – 7 AU 9 DÉCEMBRE 2015**

**UN OUTIL D'ANALYSE DES DYNAMIQUES EPIDEMIOLOGIQUES POUR LE BULLETIN DE SANTE DU
VEGETAL: APPLICATION A LA SEPTORIOSE DU BLE.**

L. MICHEL^{(1,2)*}, A. DECARRIER^(3a), M. FRANCHE^(3a), V. BOCHU⁽⁴⁾, K. BENREDJEM⁽⁴⁾, G. HUGEROT⁽⁵⁾
D. SIMONNEAU^(3b), F. PIRAUX^(3b), E. GOURDAIN^(3b), J. VESLOT⁽¹⁾, D. MAKOWSKI⁽²⁾, F. BRUN^{(1)*}.

(1) ACTA, 149 rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12, France

(2) INRA/AgroParitech, UMR Agronomie, avenue Lucien Brétignière 78850 Thiverval-Grignon, France

(3a) Arvalis – Institut du végétal, Complexe du mont Bernard Route de Suippes 51037 Chalons en Champagne,
France

(3b) Arvalis – Institut du végétal, Station Expérimentale, 91720 Boigneville, France

(4) CRA Champagne-Ardenne, Complexe du mont Bernard Route de Suippes 51037 Chalons en Champagne,
France

(5) DRAAF Champagne-Ardenne, 37 avenue Hoche Reims, 51686 Reims Cedex 2, France

*francois.brun@acta.asso.fr, lucie.michel@acta.asso.fr

RÉSUMÉ

Dans les réseaux d'épidémiosurveillance, de nombreuses données sont collectées en routine sur les principales cultures en vue d'établir un diagnostic phytosanitaire et faire état de son évolution. Dans le cas de la Septoriose du blé (*Septoria tritici*, synonym : *Zymoseptoria tritici*), environ 70 parcelles sont suivies de manière hebdomadaire durant chaque campagne en Champagne-Ardenne. Un outil statistique d'analyse des dynamiques épidémiologiques est proposé pour rendre compte de ces dynamiques, en y intégrant un effet de groupe de risque en fonction de la résistance variétale et de la date de semis. Il permet de réaliser des prédictions à l'horizon d'une ou plusieurs semaines, en intégrant les observations déjà réalisées, et de comparer l'année en cours par rapport aux campagnes précédentes. Des tests de l'utilisation de cet outil en cours de campagne ont été menés en 2014 et 2015, en réalisant les prédictions sur la base des données mises à jour et en diffusant les résultats sous la forme d'un rapport destiné aux acteurs en charge de la rédaction des Bulletins de Santé du Végétal.

Mots-clés : Surveillance Biologique du Territoire, réseau d'observation, modélisation statistique, prédiction d'incidence, *Septoria tritici*, *Zymoseptoria tritici*.

ABSTRACT

AN ANALYSIS TOOL OF EPIDEMIOLOGICAL'S DYNAMICS FOR HEALTH PLANT BULLETIN: APPLICATION TO SEPTORIA TRITICI BLOTCH OF WHEAT.

In epidemiological surveillance networks, many data are routinely collected in order to establish a phytosanitary diagnostics and report on its evolution. In the case of *Septoria tritici* blotch of wheat caused by *Septoria tritici* (synonym : *Zymoseptoria tritici*), approximately 70 plots are monitored weekly during each growing season in Champagne-Ardenne. A statistical analysis tool of epidemiological dynamics is proposed to account for these dynamics, including a risk group effect based on varietal resistance and sowing dates. This tool was used to compare the disease incidence dynamic of the current year relative to the dynamics obtained in the past and to make predictions for one-or two-week horizons, incorporating the observations already collected. Realtime tests during the growing season were conducted in 2014 and 2015. A report including the predictions, based on updated observations, was proposed to the regional agricultural extension services in charge of the development of health plant bulletin

Keywords: disease monitoring program, observation network, statistical modelisation, incidence prediction, *Septoria tritici*, *Zymoseptoria tritici*.

INTRODUCTION

En France, à la suite du Grenelle de l'Environnement, le plan Ecophyto a été mis en place en 2009. Il vise une réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires tout en maintenant un niveau de production agricole élevé (MAAF, 2008). L'axe 5 de ce plan concerne la surveillance des bio-agresseurs (ravageurs, maladies, adventices) et les effets non intentionnels des pratiques agricoles. Un réseau de Surveillance Biologique du Territoire (SBT) a alors été déployé dans l'ensemble des régions avec pour principal objectif de fournir, chaque semaine, une photographie de l'état sanitaire des cultures à l'échelle régionale. La SBT concerne l'ensemble des productions agricoles : grandes cultures, viticulture, horticulture/pépinière, maraîchage, arboriculture mais aussi les parcs, jardins et autres Zones Non Agricoles (ZNA). Cette connaissance de l'état sanitaire du territoire est une clé indispensable pour le raisonnement des pratiques agricoles en termes de protection des plantes dans le but de réduire l'utilisation globale des produits phytosanitaires. Les différents partenaires en région impliqués dans ce dispositif de SBT sont : la Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF), les Chambres d'Agriculture (CA), les instituts techniques, la Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles (FREDON), le Service Régional de l'Alimentation (SRAL), les négociants, les coopératives et d'autres structures du secteur agricole selon les régions.

Les données épidémiologiques sont collectées selon un protocole harmonisé par les différents partenaires sur des réseaux de parcelles du dispositif SBT et sont enregistrées dans un système d'information dédié à la filière.

Le traitement de ces observations, accompagnées d'informations issues de modèle épidémiologique (dans le cas où il en existe pour le couple organisme nuisible/culture) et des expertises régionales, est réalisé par des animateurs filières (en fonction des régions : instituts techniques, FREDON, Chambres d'Agriculture) afin d'évaluer le risque pour les principaux problèmes phytosanitaires. Ce document est amendé de manière collégiale par un comité de relecture.

La diffusion de l'ensemble de ces informations se fait sous la forme du Bulletin de Santé du Végétal (BSV) qui doit contenir la description de l'état sanitaire par filière pour chaque culture et chaque maladie, la synthèse des observations du réseau, la dynamique des organismes nuisibles estimée à partir des observations et/ou des modèles épidémiologiques ainsi que l'évaluation du risque. Ce bulletin à destination des agriculteurs et des conseillers agricoles peut être accompagné d'informations de nature agronomique et météorologique, mais également de photographies afin de faciliter la reconnaissance des organismes nuisibles. Ce document est distribué gratuitement chaque semaine et ne doit contenir aucune préconisation (MAAF, 2009).

Le projet SynOEM ("Mieux profiter de la synergie entre réseau d'observations, expertise et modélisation pour l'élaboration du Bulletin de Santé du Végétal") porté par l'ACTA (Le Réseau des Instituts des filières animales et végétales) sur la période 2013 à 2016, vise à apporter des outils permettant de mieux valoriser et combiner ces différentes sources d'information pour l'analyse du risque. Ce projet est décrit dans une communication associée au CIMA 2015 (Brun et al., 2015).

Les travaux présentés portent sur la septoriose du blé, maladie très répandue (Eyal et al., 1987) et responsable d'importantes pertes de rendement pour le blé dans de nombreux pays européens et particulièrement en France. Cette maladie est causée par le champignon *Zymoseptoria tritici* (mieux connu sous le nom de *Mycosphaerella graminicola*) (Fuckel) Schröter (anamorph *Septoria tritici*). Les jeunes plantes sont infectées durant l'automne par les ascospores présents sur les résidus de cultures. La septoriose se propage alors de feuille en feuille durant le développement de la plante au printemps. Dès qu'une feuille est atteinte, elle devient un potentiel d'inoculum pour les feuilles des étages supérieurs et les plantes voisines. La maladie se propage essentiellement par effet « splashing » (Eyal et al., 1987).

L'intensification de l'agriculture (incluant par exemple l'augmentation de la densité de semis, des doses de fertilisation azotée et de la fréquence du blé dans les rotations) a conduit à une augmentation de la quantité d'inoculum de septoriose en Europe (Ansar et al., 2010). Malgré l'utilisation de variétés

résistantes et de stratégies de protection non chimiques pour réduire le risque de septoriose (par exemple des possibilités de biocontrôle), des fongicides sont nécessaires pour contrôler la maladie (autour de 2 ou 3 traitements par an, Arvalis 2015). L'incidence de la septoriose varie selon les années et les parcelles, et l'ajustement des fongicides à la parcelle selon la sensibilité de la variété est une voie d'amélioration dans les pratiques. Les modèles existants (en particulier Septo-LIS® développé par ARVALIS- Institut du végétal, Gouache et al. 2013, Gouache et Couleaud, 2009) permettent de positionner au mieux le 1^{er} traitement et d'opter pour une stratégie en 1, 2 ou 3 traitements en fonction de la date de déclenchement. Mais à ce jour, aucun modèle ne permet de prévoir la nuisibilité attendue de la septoriose et de moduler les doses des différents passages.

La Champagne-Ardenne est une des principales régions productrices de blé en France (DRAAF-CA 2014), avec une surface d'emblavement en 2014 de 387980 ha et une production de 3.3 Mt (source : Agreste, 2015). Le risque de septoriose y est assez élevé et peut varier considérablement d'une année sur l'autre (10 à 30 quintaux de nuisibilité ; Decarrier et Gagliardi, 2015).

L'objectif de notre étude est de **proposer un modèle statistique** permettant **d'estimer l'incidence de la maladie à l'échelle régionale à partir des observations du réseau de BSV**, collectées régulièrement durant la campagne agricole.

Un modèle mixte linéaire généralisé, ajusté sur les observations collectées depuis 2009 en Champagne-Ardenne, a été proposé. Ce modèle peut être mis en œuvre en l'absence de données météorologiques et ne nécessite pas de systèmes de prévision météorologique. Nous montrons comment ce modèle peut contribuer à l'analyse dynamique de la situation sanitaire décrite dans le BSV et, ainsi, aider les agriculteurs et conseillers à estimer le niveau de risque de septoriose en fonction de leurs pratiques (date de semis et variété).

MATÉRIEL ET MÉTHODE

ANALYSE DE L'ÉLABORATION ACTUELLE DU BSV ET PROPOSITIONS D'AMÉLIORATION

Élaboration actuelle du BSV pour la septoriose du blé en Champagne-Ardenne

L'incidence de la septoriose dans la région est suivie sur environ 70 parcelles chaque année. L'incidence (utilisée pour le BSV) est le rapport du nombre de feuilles atteintes par la maladie sur le nombre total de feuilles observées alors que la sévérité (non utilisée pour le BSV) est le rapport de la surface de feuille atteinte sur la surface totale de feuille. Dans chaque parcelle, 20 plantes sont prélevées dans une zone témoin non traitée au printemps et les 3 dernières feuilles déployées sont inspectées. Les observations d'incidence sont alors reportées chaque semaine dans le BSV Champagne-Ardenne. Ces données ne sont actuellement soumises à aucune analyse statistique. Seuls quelques indicateurs simples (incidence moyenne, minimale et maximale) et une comparaison à des seuils de nuisibilité sont actuellement publiés dans le BSV afin de fournir une information globale de la semaine passée. Par ailleurs, un niveau de risque (faible, moyen et fort) est ajouté se basant sur le modèle agro-climatique Septo-LIS®.

Notre diagnostic, partagé avec les acteurs du BSV, est le suivant : bien que l'objectif du BSV soit de fournir une photographie de l'état sanitaire au niveau régional à un instant « t », l'incidence régionale n'est pas estimée formellement pour la semaine en cours. Aucun élément concernant la dynamique des observations n'est présenté. Les observations du réseau sont sous-utilisées faute de temps et d'outils appropriés. Il n'existe pas de modèle de prédiction de l'évolution de l'épidémie de septoriose en temps réel basé sur les observations du réseau.

Propositions d'amélioration

Nous proposons de décrire la dynamique de l'incidence de la maladie en 1) estimant l'incidence de la maladie depuis le début de la campagne à partir des observations réalisées et 2) en prédisant l'incidence des semaines suivantes à l'échelle régionale et selon le groupe de risque établi *a priori* (en fonction de la date de semis et de la variété : voir paragraphe ci-après).

Cette dynamique de l'épidémie de la campagne en cours sera représentée conjointement avec celles des années passées qui servent de référence aux acteurs.

L'ensemble de ces propositions sera agrégé dans un rapport distribué aux acteurs du BSV afin qu'ils aient un outil supplémentaire pour élaborer le BSV.

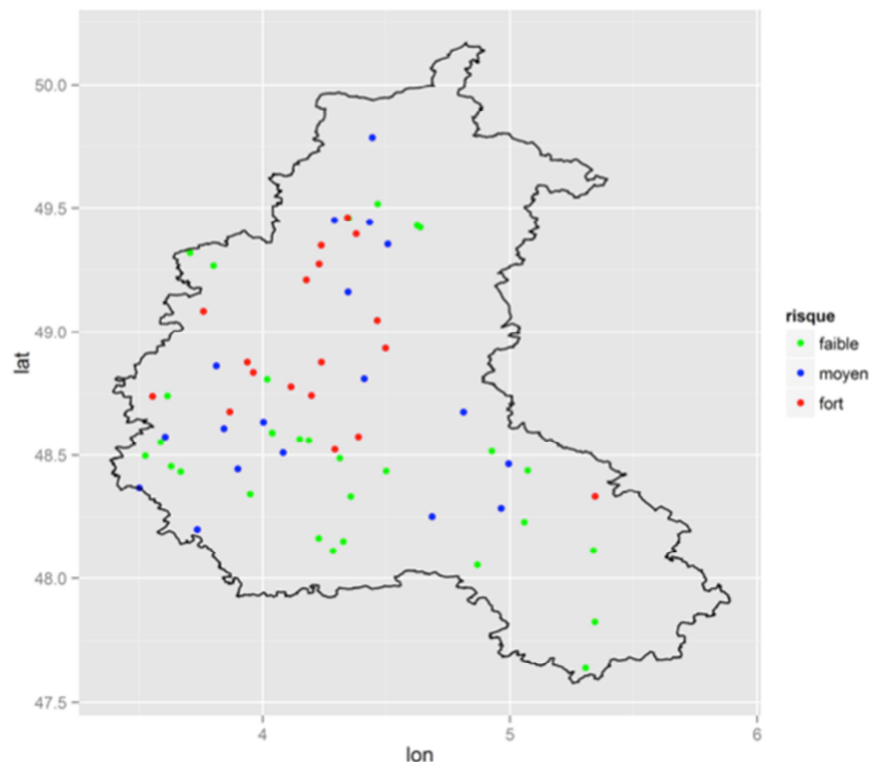
DONNÉES ET MODÈLE STATISTIQUE

Les données

Les données d'incidence ont été extraites de la base de données Vigicultures® (Siné et al. 2010). Cette base de données agrège les observations collectées sur les réseaux d'épidémiosurveillance en France pour la plupart des maladies des cultures depuis 2009. Nous utilisons les observations effectuées pour *S. tritici* en Champagne-Ardenne. Nous avons extrait l'ensemble des données de 2009 à 2014 pour l'analyse statistique du modèle et une extraction complémentaire est réalisée chaque semaine pour l'année en cours. Le réseau de parcelles pour 2015, campagne correspondant à l'exemple de rapport fourni aux acteurs, est cartographié sur la Figure 1.

Figure 1 : Localisation des parcelles de blé observées du réseau de Surveillance Biologique du Territoire en région Champagne-Ardenne pour l'année 2015 selon leur groupe de risque (rouge : fort, bleu : moyen et vert : faible).

Location of wheat fields observed of disease monitoring program in Champagne-Ardenne for 2015 according to their risk group (red: high, blue: medium and green: low).



Entre 65 et 94 parcelles sont sélectionnées chaque année pour constituer le réseau de SBT de 2009 à 2014. Les parcelles sont choisies avant le début de chaque campagne agricole et sont réparties de manière à couvrir l'ensemble du territoire. Aucun relevé météorologique et aucune observation de sévérité n'a été réalisé sur ces parcelles. En accord avec le protocole harmonisé de Vigicultures®, la date de semis, la variété et le stade de la culture sont également renseignés dans la base de données pour chaque observation de *S. tritici* mesurée, au mieux chaque semaine, de mars à juin dans une zone témoin laissée non traitée fongicides et insecticides (taille de 18m sur 22m) de chaque parcelle du réseau. Des observations sur d'autres maladies sont également collectées, mais non considérées dans cette étude. A chaque date d'observation, l'incidence est mesurée sur les trois dernières feuilles déployées (feuilles du moment), pour un échantillon de 20 plantes de blé sélectionnées au hasard dans chaque zone témoin non traitée. Chaque feuille est inspectée visuellement pour déterminer la présence ou non de septoriose (Simonneau et al. 2011). Une règle de décision basée sur le stade de la plante permet de transformer le numéro de la feuille du moment en feuille définitive (F1, F2 et F3) permettant ainsi de travailler sur le même étage foliaire sur toutes les parcelles. Chaque parcelle n'étant suivie qu'une année, l'effet de la parcelle est alors confondu avec l'effet de l'année, ainsi, les observations sont groupées par combinaison site*année (« site-année »).

Chaque site-année est caractérisé par un groupe de risque (faible, moyen, fort) issu d'une évaluation qualitative du risque septoriose à partir d'une règle de décision, définie par les acteurs en région, basée sur la date de semis et la note de résistance publiée par le Groupe d'Etude et de contrôle des Variétés Et des Semences (GEVES) lors de l'inscription de la variété et corrigé par Arvalis – institut du végétal en post-inscription.(Tableau I).

Tableau I : Définition des trois groupes de risque utilisés pour caractériser les sites-année.
Definition of the three risk ratings used to categorize site-years

Groupe de risque	Date de semis	Résistance variétale à la septoriose
Faible	Toutes dates	6.5-7
Faible	Après le 24 octobre	5-5.5-6
Moyen	Après le 25 octobre	4-4.5
Moyen	Avant le 25 octobre	5-5.5-6
Fort	Avant le 25 octobre	4-4.5

La résistance est la capacité de la variété à limiter le développement de la maladie. Les notes de résistance sont comprises entre 1 (variété peu résistante) et 9 (variété très résistante). Une variété très résistante a un risque faible de développer la maladie, alors qu'une variété moins résistante a un risque plus élevé de développer la maladie. Le nombre de sites-année observés entre 2009 et 2014 est de 421, avec 6793 observations d'incidence (Tableau II).

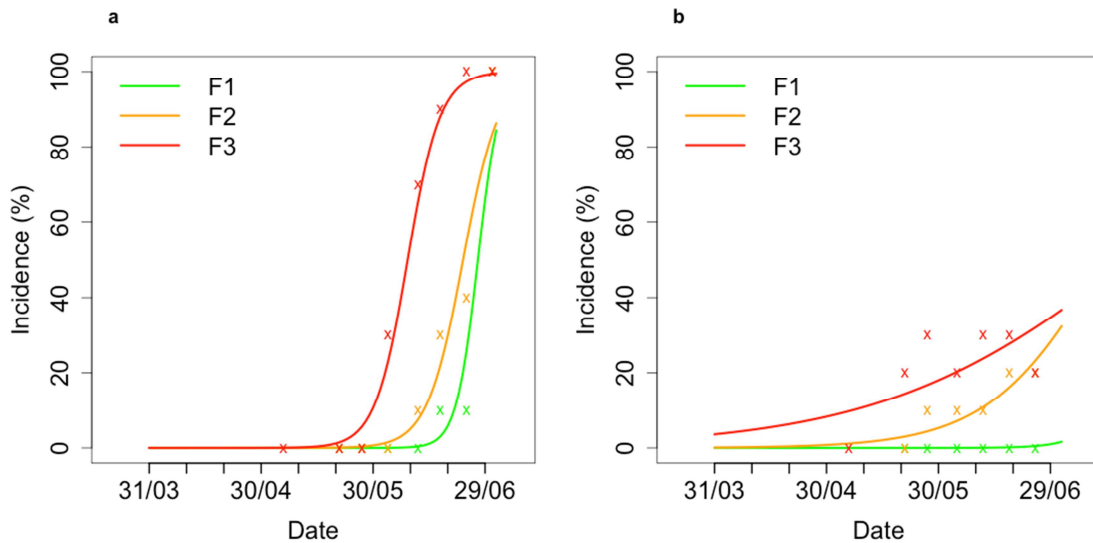
Tableau II : Caractéristiques des données d'incidence pour les feuilles définitives 1,2 et 3.
Characteristics of disease incidence data for leaves 1, 2 and 3.

Feuille	Valeurs d'incidence observées (%)									Nombre de site-année du groupe faible	Nombre de site-année du groupe moyen	Nombre de site-année du groupe fort	Nombre total de site-année	Nombre total d'observations
	Avril			Mai			Juin							
	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max					
F1	0	0	0	0	0.80	100	0	23.98	100	92	196	115	403	1948
F2	0	2.12	70	0	5.53	100	0	43.41	100	93	198	117	408	2238
F3	0	2.31	100	0	19.47	100	0	61.54	100	97	205	119	421	2607

Pour une feuille définitive donnée, le nombre d'observations par site-année varie de 1 à 18. Par exemple, les données d'incidence de la maladie collectées sur 2 sites-année en 2013 pour les feuilles F1, F2, F3 sont présentées sur la Figure 2.

Figure 2: Données d'incidence de la maladie (%) collectées en 2013 pour les 3 dernières feuilles définitives (F1, F2, F3) pour un site-année du groupe de risque fort (a) et pour un site-année du groupe de risque faible (b). Les estimations des sites-année spécifiques obtenues avec le modèle (ligne continue) sont également reportées.

Disease incidence data (%) collected in 2013 (points) for the three final wheat leaves (L1, L2, L3) in one site with high risk (a) and in one site with low risk (b). Site-specific estimations obtained with the model (solid lines) are also reported.



Le modèle statistique

Afin de prédire l'incidence de la septoriose du blé en fonction du temps, nous utilisons un modèle linéaire généralisé mixte (modèle permettant de prendre en compte des effets aléatoires). Ce choix est notamment justifié par la structure de corrélation temporelle liée aux observations répétées dans le temps sur les mêmes parcelles. Le modèle de régression intègre des effets aléatoires par site-année et des effets fixes communs à l'ensemble des sites-années. Ce modèle est ajusté séparément sur les observations collectées pour les feuilles F1, F2 et F3.

Dans le modèle, le nombre de feuilles infectées est supposé suivre une distribution de probabilité binomiale définie par $Y_{ij} \sim \text{Binomial}(n, \pi_{ij})$, où Y_{ij} est le nombre de feuilles infectées à la $j^{\text{ème}}$ date d'observation, $j=1$ à M_i , parmi $n=20$ feuilles prélevées dans le $i^{\text{ème}}$ site-année, $i=1$ à N (N est égal à 403, 408, 421 pour la feuille F1, F2 et F3, respectivement) et π_{ij} est la probabilité qu'une feuille soit atteinte par la septoriose à la $j^{\text{ème}}$ observation dans le $i^{\text{ème}}$ site-année.

Le modèle de régression est défini ainsi: $\text{logit}(\pi_{ij}) = \alpha_0 + \beta_{0i} + g_M \times Z_{Mi} + g_H \times Z_{Hi} + (\alpha_1 + \beta_{1i}) \times t_{ij}$, où t_{ij} est la date de la $j^{\text{ème}}$ observation dans le $i^{\text{ème}}$ site-année (exprimée en jours depuis la première date d'observation), α_0 et α_1 sont deux paramètres fixes (ordonnée à l'origine et pente), β_{0i} et

β_{1i} sont deux paramètres aléatoires distribués selon $\begin{pmatrix} \beta_{0i} \\ \beta_{1i} \end{pmatrix} \sim N(0, \Sigma)$, $\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{\beta_0}^2 & c \\ c & \sigma_{\beta_1}^2 \end{bmatrix}$, $\sigma_{\beta_0}^2$ et

$\sigma_{\beta_1}^2$ sont les variances des paramètres aléatoires qui déterminent la variabilité des paramètres aléatoires entre sites-année et \mathbf{C} est la covariance entre les deux paramètres aléatoires. Z_{M_i} et Z_{H_i} sont deux variables indicatrices ($Z_{M_i} = 1$ indique que le $i^{\text{ème}}$ site-année est caractérisé par le groupe de risque « moyen », avec $Z_{H_i} = 0$ d'autre part, ($Z_{H_i} = 1$ indique que le $i^{\text{ème}}$ site-année est caractérisé par le groupe de risque « fort », avec $Z_{M_i} = 0$ d'autre part), g_M et g_H sont deux paramètres fixes.

Les paramètres du modèle sont estimés par la méthode de maximum de vraisemblance, en utilisant la fonction glmer du package lme4 de R (R Development Core Team 2014) (package lme4 version 1.1-6).

CALCULS DES PREDICTIONS ET EVALUATION DU MODELE

Deux types d'estimation sont établis pour le modèle : estimation médiane et estimation par site-année. Les estimations médianes de l'incidence au temps t_{ij} sont calculées par :

$$\pi_{ij} = \frac{\exp(\alpha_0 + g_M \times Z_{M_i} + g_H \times Z_{H_i} + \alpha_1 \times t_{ij})}{1 + \exp(\alpha_0 + g_M \times Z_{M_i} + g_H \times Z_{H_i} + \alpha_1 \times t_{ij})} \quad (1)$$

où les valeurs des paramètres α_0 , α_1 , g_M , g_H , $\sigma_{\beta_0}^2$, $\sigma_{\beta_1}^2$ et c sont estimés par maximum de vraisemblance.

Les dynamiques d'incidences de septoriose sont estimées pour chaque site-année en utilisant les valeurs ajustées de β_{0i} et β_{1i} . Ainsi, la dynamique pour le $i^{\text{ème}}$ site-année est obtenue à partir de l'expression suivante :

$$\pi_{ij} = \frac{\exp(\alpha_0 + \beta_{0i} + g_M \times Z_{M_i} + g_H \times Z_{H_i} + (\alpha_1 + \beta_{1i}) \times t_{ij})}{1 + \exp(\alpha_0 + \beta_{0i} + g_M \times Z_{M_i} + g_H \times Z_{H_i} + (\alpha_1 + \beta_{1i}) \times t_{ij})} \quad (2)$$

où α_0 , α_1 , g_M , g_H sont estimés par maximum de vraisemblance, et β_{0i} et β_{1i} sont estimés par leur meilleur estimateur linéaire sans biais (BLUP : Best Linear Unbiased Predictors).

Le modèle décrit ci-dessus a été évalué et comparé à d'autres modèles en utilisant plusieurs critères : analyse graphique des résidus, calcul d'Akaike Information Criterion (AIC), erreur quadratique moyenne (RMSE : Root Mean Square Error), erreur quadratique moyenne des prédictions par validation croisée (RMSEP : Root Mean Square Error of Prediction). Voir Michel et al. (2015) pour plus d'information.

RESULTATS

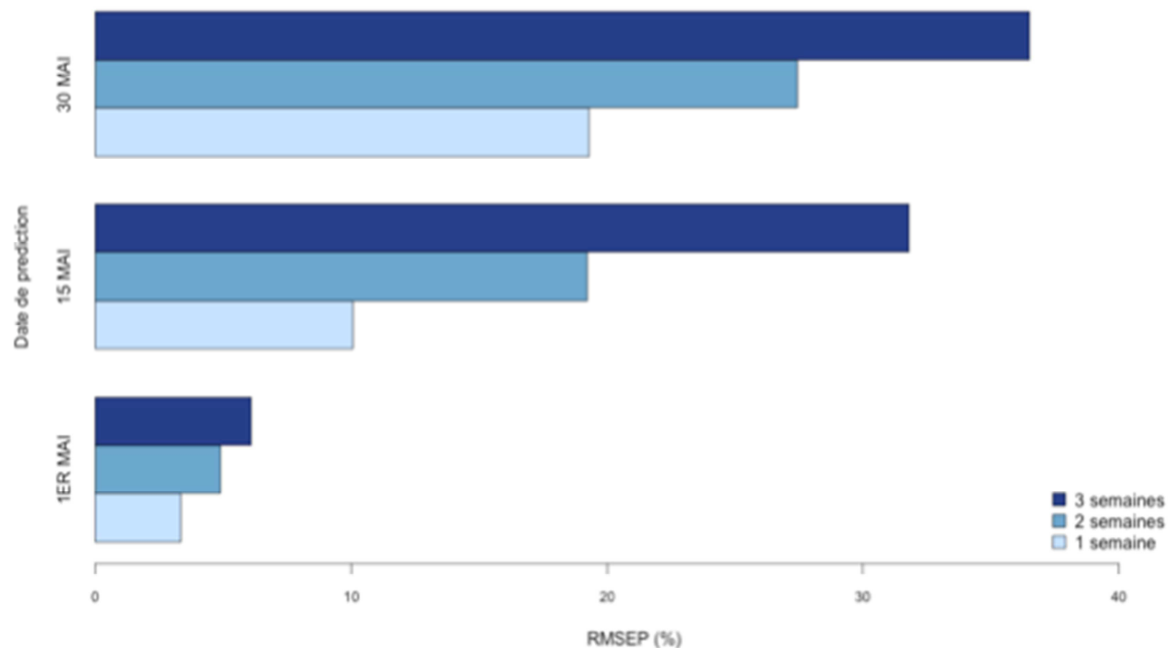
Performance du modèle

Nous ne décrivons pas ici l'ensemble des résultats, une comparaison de différents modèles a été réalisée par Michel et al. en 2015. A titre d'illustration, la Figure 3 montre les valeurs de RMSEP décrivant le niveau des erreurs de prédiction du modèle dans différentes conditions d'utilisation. Ces résultats indiquent que la qualité de prédiction pour la feuille définitive F2 dépend de la date à laquelle la prédiction est réalisée et de la période de temps sur laquelle l'incidence est prédite (1 semaine, 2

semaines, 3 semaines après la date de prédiction). Plus l'incidence est prédite loin dans le temps, plus l'erreur est grande. Les dates de prédictions tardives conduisent également à des erreurs plus grandes.

Figure 3: Erreur quadratique moyenne des prédictions (RMSEP %) pour trois différentes dates de prédiction (1^{er} Mai, 15 Mai, 30 Mai) et trois pas de temps (prédictions faites 1 semaine, 2 semaines, 3 semaines plus tôt). Les histogrammes représentent les RMSEP du modèle pour la feuille définitive F2.

Root mean square error of prediction (RMSEP %) for three different prediction dates (1st May, 15th May, 30 May) and three time lags (predictions made 1 week, 2 weeks, 3 weeks in advance). Bars indicate the RMSEP of model for final leaf L2.



Appropriation du modèle par les acteurs du BSV

Chaque semaine, un rapport est envoyé 24h avant la rédaction du BSV après avoir fait l'extraction des observations de la semaine à partir de Vigicultures®. Ces données sont ajoutées à celles des années et des semaines passées afin d'ajuster le modèle (présenté ci-avant) sur l'ensemble des données disponibles. Les sorties du modèles sont représentées sur la Figure 4 qui illustre un extrait du rapport envoyé aux acteurs du BSV en Champagne-Ardenne avant la rédaction du BSV.

Le rapport est composé de 5 parties :

- l'en-tête : avec les différents partenaires qui collaborent à la réalisation de ce rapport, ainsi que des informations telles que la culture, la maladie, la région, la date et le numéro du BSV pour lequel ce rapport a été élaboré.
- **La partie A** présente les données disponibles à ce jour avec le nombre de parcelles observées pour les feuilles définitives F1, F2, F3, ainsi que le nombre d'observations correspondant.
- **La partie B** est la synthèse de la semaine, on retrouve le nombre de parcelles observées pour l'année en cours (ici 2015) à l'échelle régionale et selon le groupe de risque (faible, moyen, fort), le nombre de parcelles observées pour la semaine considérée (ici la semaine 20), on remarque que l'ensemble des parcelles du réseau n'est pas suivi toutes les semaines. Nous avons l'information du nombre de nouvelles parcelles observées lors de la semaine en cours (ici 0, étant donné que nous nous trouvons au 28 mai vers la fin de la campagne; cette information est intéressante surtout en début de campagne). Les deux dernières colonnes du tableau de la partie B sont l'estimation de l'incidence de la septoriose à l'échelle régionale et selon le groupe

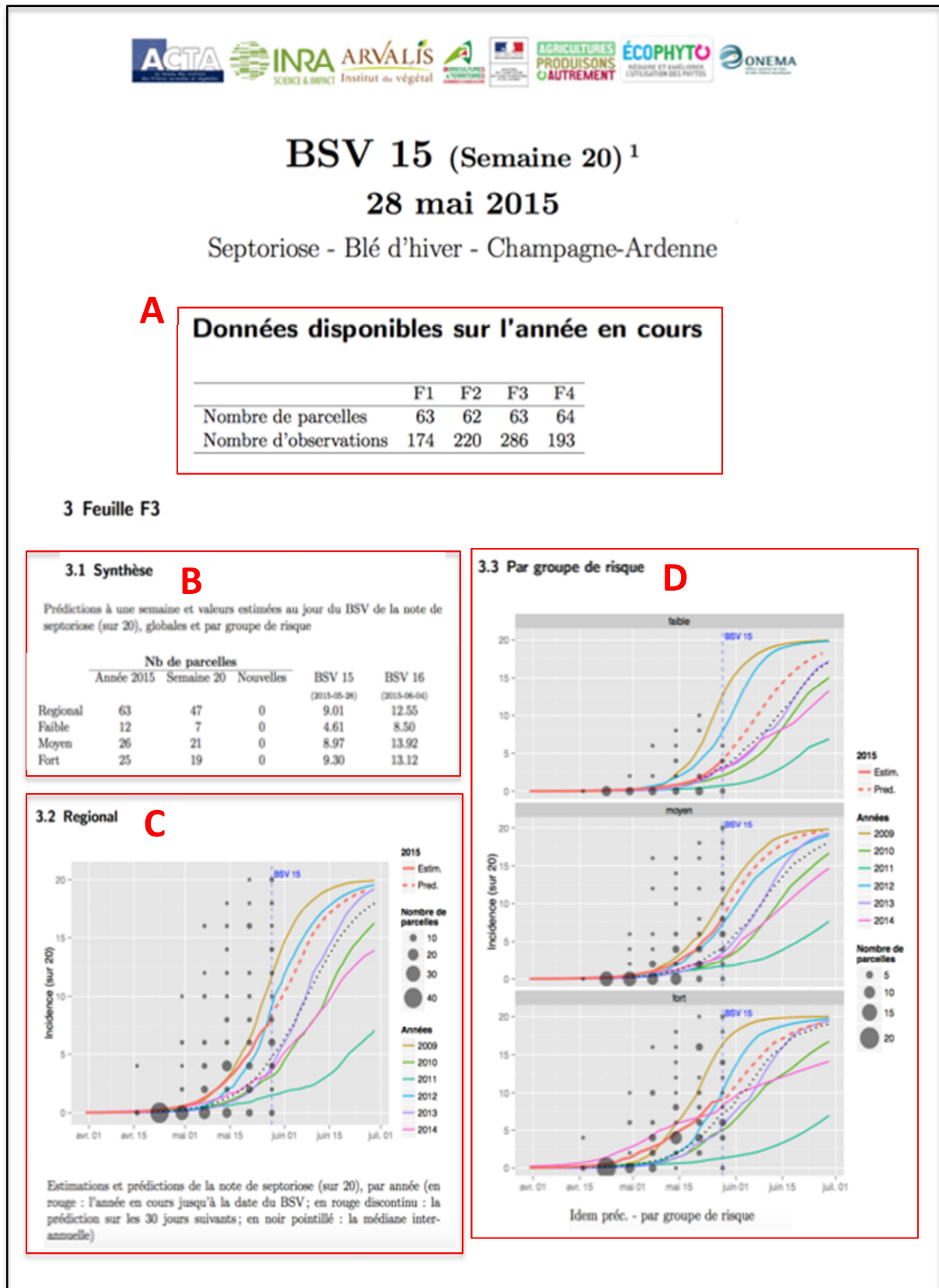
de risque à la date du BSV qui paraîtra le lendemain et la prédiction de l'incidence à une semaine soit à la date du BSV de la semaine suivante.

- **La partie C** du rapport présente la dynamique de l'incidence médiane de la septoriose à l'échelle régionale. En abscisse, on retrouve la variable temporelle et, en ordonnée, l'incidence de septoriose (nombre de feuilles atteintes sur 20). La courbe rouge continue représente l'estimation médiane de l'incidence pour l'année en cours de la maladie depuis le début de la campagne et celle en tirets représente les prédictions médianes d'incidence pour les 30 prochains jours. Cette courbe peut être comparée aux estimations médianes d'incidence des années passées représentées par les autres courbes continues (jaune : 2009, vert prairie : 2010, vert d'eau : 2011, bleu : 2012, violet : 2013 et rose : 2014). Cette représentation graphique permet de situer l'année en cours par rapport aux années passées qui sont souvent des repères pour les agriculteurs et les conseillers. La courbe noire pointillée est l'incidence médiane de l'ensemble des années. L'évolution des observations est représentée par les ronds gris dont la taille est proportionnelle au nombre de parcelles observées atteignant la valeur d'incidence située en ordonnée.
- **La partie D** montre la dynamique de l'incidence médiane de la septoriose pour chaque groupe de risque. L'interprétation est la même que pour la dynamique régionale (graphique de la partie C) hormis le fait qu'il y a un graphique pour chaque groupe (faible, moyen et fort). Les courbes annuelles médianes sont construites uniquement à partir des courbes des parcelles du groupe de risque considéré.

Les parties B, C et D sont ici représentées pour la F3 définitive. Dans chaque rapport hebdomadaire l'ensemble des feuilles définitives pour lesquelles l'information est disponible et suffisante est exposé (parmi F1, F2 et F3).

Figure 4 : Extrait du rapport du 28 mai 2015 pour la septoriose du blé en Champagne-Ardenne, outil pour l'élaboration du BSV n°15.

Extract from the report of May 28 2015 for wheat *Septoria tritici* Blotch wheat in Champagne-Ardenne, tool for developing Health Plant Bulletin No. 15.



DISCUSSION

Les observations d'incidence de la maladie montrent des dynamiques très différentes selon les sites-année, l'incidence de la maladie peut augmenter rapidement durant la campagne (Figure 2a), alors qu'elle peut augmenter beaucoup plus doucement dans d'autres sites-année (Figure 2b).

Globalement, la qualité de prédiction est satisfaisante, en comparaison à d'autres modèles.

Contrairement à d'autres modèles simulant l'infection de *S. tritici*, comme SeptoLIS® (Gouache 2013) et Proculture (El Jarroudi et al. 2009), notre modèle n'a pas besoin de données de température et de précipitations comme variables d'entrées. Il peut être ajusté en l'absence de données et de prévisions météorologiques. C'est un avantage dans la mesure où les données climatiques ne sont pas systématiquement collectées dans les réseaux SBT en France. Cependant, il nécessite l'observation régulière de l'incidence de la maladie au cours de la campagne.

Le choix de représenter la médiane a été discuté lors de nos différentes rencontres avec les acteurs en région ; la médiane correspond à la valeur d'incidence dépassée dans 50% des sites-année. En début de campagne, la plupart des parcelles ont une incidence de 0 ; à la différence de la moyenne, la médiane ne va pas prendre en compte le signal de la faible proportion de parcelles infectées. Néanmoins, la moyenne ou un quantile supérieur pourrait être une bonne représentation en début de campagne afin de détecter le début du développement de la maladie.

En 2014, les rapports ont été diffusés uniquement à la personne en charge de rédiger la partie du BSV concernant le blé et une discussion a eu lieu en bilan de campagne. Après une réunion de début de campagne (février 2015) qui a permis de présenter la démarche plus largement, il a été décidé d'élargir le cercle de diffusion à tous les partenaires de la filière blé.

Sur les 31 destinataires des rapports envoyés chaque semaine par email en 2015 (10 rapports envoyés en 2015), 7 ont répondu à notre enquête sur l'utilisation de ce rapport pour l'élaboration du BSV. Ces 7 personnes ont des rôles différents au sein du BSV (observateurs, animateur du réseau, rédacteur du BSV, relecture du BSV avant publication, responsable filière). Ils ont tous lu au moins une fois les rapports envoyés lors de la campagne 2015, la fréquence de lecture du rapport variant de toutes les semaines à une fois par mois (les relecteurs du BSV avant publication sont sollicités une fois par mois car c'est un comité de relecture tournant, expliquant sans doute pourquoi la fréquence de 1 fois par mois).

Ils ont découvert les rapports cette année ; une analyse plus approfondie en fin de campagne, lors du bilan, est nécessaire (septembre 2015), en lien avec la nuisibilité de la septoriose dans les essais. La valorisation de ces observations leur semble être une approche intéressante, complémentaire du modèle épidémiologique ; la comparaison entre les années est intéressante pour positionner le risque de l'année. Les prédictions d'incidence issues des rapports envoyés aux acteurs pourront permettre aux agriculteurs et aux conseillers d'accéder à un diagnostic de la situation régionale en fonction des groupes de risque et d'intégrer cette information dans leur prise de décision de traitement en cours de campagne.

Pour faciliter l'utilisation de ce nouvel outil, mais également les autres, il faudrait aller plus loin dans l'articulation des différents outils existant pour raisonner le risque septoriose, mais aussi en lien avec les autres problèmes sanitaires. Il s'agirait notamment de préciser l'objectif, l'utilisation et la période d'intérêt de chaque outil d'analyse.

Le modèle statistique proposé peut facilement être adapté à d'autres analyses de dynamiques d'incidence sur d'autres maladies et/ou dans d'autres régions: c'est en cours pour la septoriose du blé en région Centre, ainsi que pour le Mildiou de la Vigne en région Midi-Pyrénées. D'autres perspectives sont envisageables sur les maladies des orges et l'oïdium du blé.

CONCLUSION

A travers cette étude, nous avons fait des propositions basées sur un modèle statistique de régression afin de mettre à disposition des acteurs du BSV en région un outil d'analyse de risque. Les premiers tests réalisés lors de la campagne agricole 2015 semblent être prometteurs et bien reçus par les acteurs dans la mesure où il y avait beaucoup d'attente de leur part.

La démarche mise en place a pour objectif d'être transférée dans d'autres régions et à d'autres bio-agresseurs.

REMERCIEMENTS

Cette étude fait partie du projet SynOEM - *Mieux profiter de la synergie entre réseaux d'observations, expertise et modélisation pour l'élaboration du Bulletin de Santé du Végétal*, financé par l'Organisme National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) dans le cadre de l'APR "Pour et Sur le Plan ÉCOPHYTO (PSPE)" soutenu par le Ministère chargé de l'Agriculture. Ce travail a été cofinancé par une subvention de doctorat de l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT).

Nous sommes reconnaissants envers D. Gouache pour ses commentaires sur nos résultats.

Nous remercions l'ensemble des acteurs du réseau de SBT en charge du suivi du blé en Champagne-Ardenne.

BIBLIOGRAPHIE

Agreste., 2015 - Statistiques agricole annuelle. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne> consulté le 28/07/2015.

Ansar M., Cheema N. M., & Leitch M. H., 2010 - Effect of agronomic practices on the development of Septoria leaf blotch and its subsequent effect on growth and yield components of wheat. *Pakistan Journal of Botany*, 43,3, 2125–2138.

Arvalis - Institut du végétal., 2015 - Actualités phytosanitaires. *Choisir & Décider - Synthèse nationale 2014-2015*, 6–17.

Brun F, Cichosz B., Petit A., Veslot J., Michel L., & Makowski M., 2015 - Quelles pistes d'amélioration pour mieux valoriser les données et les simulations dans le bulletin de sante du végétal ? Paper at: AFPP CIMA, Tours, Dec. 2015.

Decarrier A., & Gagliardi E., 2015 - Stratégies régionales fongicides. Normandie, Picardie, Nord-Pas-de-Calais, Champagne-Ardenne. Contre les résistances à la septoriose. *Perspectives agricoles*, 418, 17.

DRAAF-CA. (Direction régionale de l'alimentation, de l'Agriculture et de la forêt de Champagne-Ardenne, S. régionale de l'information statistique et économique.), avril 2014. Agreste Champagne-Ardenne 2013: une campagne en demi-teinte. 4p.

El Jarroudi M., Delfosse P., Maraite H., Hoffmann L., & Tychon, B., - 2009. Assessing the accuracy of simulation model for Septoria leaf blotch disease progress on winter wheat. *Plant Disease*, 93,10, 983–992.

Eyal Z., & International Maize and Wheat Improvement Center., 1987 - *The Septoria diseases of wheat: concepts and methods of disease management*. Mexico, D.F.: CIMMYT, 46p. ISBN : 968-6127-06-2

Gouache D., & Couleaud G., 2009 - Le positionnement des traitements fongicides : enjeu pour la septoriose et intérêt du modèle "Septolis". *AFPP. 9ème conférence Internationale sur les maladies et les plantes – Tours – 8 et 9 Décembre 2009*

Gouache D., Bensadoun A., Brun F., Pagé C., Makowski D., & Wallach D., 2013 - Modelling climate change impact on Septoria tritici blotch (STB) in France: Accounting for climate model and disease model uncertainty. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 242–252. doi:10.1016/j.agrformet.2012.04.019

MAAF (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt), 2008. Plan Ecophyto 2018. 21p. <http://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecophyto-2018-septembre>

MAAF, 2009 – Circulaire CAB/2009-002 Note d'orientation et de cadrage pour la mise en œuvre d'un réseau d'épidémiosurveillance dans le domaine végétale. 9p.

Michel L, Brun F., Piraux F., Makowski D., 2015 - Predicting the incidence of Septoria tritici blotch in wheat crops from in-season field measurements. *European Journal of Plant Pathology*. Soumission de l'article corrigé : 3 juillet 2015.

R Development Core Team, 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0, <http://www.r-project.org>.

Simonneau D., Taupin P., Couleaud G., MaufRAS J.-Y., & Robin N., 2011 - Vigicultures® Mode opératoire observation Blés hiver. 25p

Siné M., Morin E., Simonneau D., Brochard M., De Cosnac G., & Escriou H., 2010 - VIGICULTURES—An early warning system for crop pest management. In *Scientific and Technical Information and Rural Development IAALD XIIIth World Congress, Montpellier* (pp. 26–29).