HAL
open science

Conception et simulation de scenarios de gestion durable des resistances au phoma du colza avec une version améliorée du modèle spatio-temporel SIPPOM-WOSR

Laure Hossard, Véronique Souchère, Elise Pelzer, Xavier Pinochet, Marie-Helene Jeuffroy

To cite this version:

Laure Hossard, Véronique Souchère, Elise Pelzer, Xavier Pinochet, Marie-Helene Jeuffroy. Conception et simulation de scenarios de gestion durable des resistances au phoma du colza avec une version améliorée du modèle spatio-temporel SIPPOM-WOSR. 10. Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes, Dec 2012, Tours, France. 7 p. hal-01173344

HAL Id: hal-01173344

https://hal.science/hal-01173344v1

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AFPP – 10e CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES MALADIES DES PLANTES
TOURS – 3, 4 et 5 DÉCEMBRE 2012

CONCEPTION ET SIMULATION DE SCENARIOS DE GESTION DURABLE DES RESISTANCES AU PHOMA DU COLZA AVEC UNE VERSION AMELIOREE DU MODELE SPATIO-TEMPOREL SIPPOM-WOSR

L. HOSSARD[1,2,3,4], V. SOUCHERE[3,4], E. PELZER[1,2], X. PINOCHET[5], M.H. JEUFFROY[1,2]

[1] INRA, UMR211 Agronomie, F-78850 Thiverval-Grignon, France
laure.hossard@grignon.inra.fr

[2] AgroParisTech, UMR211 Agronomie, F-78850 Thiverval-Grignon, France

[3] INRA, UMR1048 SADAPT, F-78850 Thiverval-Grignon, France

[4] AgroParisTech, UMR1048 SADAPT, F-78850 Thiverval-Grignon, France

[5] CETIOM, BP-04, F-78850 Thiverval-Grignon, France

RÉSUMÉ

Le modèle spatio-temporel de gestion durable des résistances variétales au phoma SIPPOM-WOSR a été amélioré, en particulier au niveau temps de calcul. Ceci a permis, en collaboration avec des acteurs de terrain, de procéder à des simulations de plusieurs centaines de scénarios. Une synthèse de la démarche et des résultats obtenus en matière d'évolution des populations virulentes avrlm7 de *L.maculans* est présentée.

Mots-clés : modèle spatialisé, nécrose du collet, colza, pratiques agronomiques, gestion durable des résistances

SUMMARY

Conception and simulation of scenarios of durable management of plant resistance to Blackleg, using the improved spatio-temporal model SIPPOM-WOSR.

The spatio-temporal model SIPPOM-WOSR, designed for a durable management of plant resistance to blackleg, has been improved, especially concerning execution time. In collaboration with stakeholders, this allowed the elaboration of several hundred of scenarios, their simulation with the model, and their eventual evaluation with the stakeholders. The approach and the results relative to the evolution of virulent avrlm7 *Leptosphaeria maculans* population are presented.

Keywords: spatial simulation model, phoma stem canker, winter oilseed rape, cropping practices, durable resistance management

INTRODUCTION

Depuis l'avènement des variétés de colza double zéro à la fin des années 80, le Phoma constitue, avec le Sclérotinia, l'une des principales maladies auxquelles l'agriculteur producteur de colza doit faire face. Parmi les leviers disponibles à l'échelle de la parcelle, le levier génétique a été le principal mis en œuvre depuis 20 ans. Les différentes constructions génétiques utilisées ont permis le développement des surfaces, avec néanmoins quelques difficultés. En effet, la résistance spécifique Rlm1, introduite avec succès, a été rapidement contournée quelques années plus tard alors qu'elle était largement utilisée (Rouxel *et al.,* 2003). Aujourd'hui une plus large gamme de solutions génétiques est présente, avec néanmoins l'utilisation d'une nouvelle résistance spécifique jusqu'à présent efficace, Rlm7. La disponibilité de nouveaux gènes de résistance spécifique efficaces est faible et invite donc à travailler la recherche des conditions de culture permettant un relatif contrôle de l'évolution des populations du pathogène et une durabilité des solutions génétiques mises en œuvre. Ce type de démarche se heurte rapidement à la nécessité d'élargir les échelles de travail à la fois dans le temps et dans l'espace. Ceci nécessite d'associer à des démarches expérimentales classiques, des démarches virtuelles par modélisation. C'est l'esprit dans lequel a été construit le modèle spatialement explicite SIPPOM-WOSR (Lô-Pelzer *et al.,* 2010). L'élargissement de l'échelle spatiale de la parcelle au paysage agricole pose également la question des interactions entre acteurs de cet espace, agriculteurs eux-mêmes, acteurs associés participant au conseil technique ou acteurs économiques, comme par exemple les organismes de collecte et de stockage. Cette communication fait état des améliorations apportées au modèle et présente une première expérience d'utilisation après un exercice de co-conception de scénarios avec les acteurs de deux territoires différents (Hossard *et al*., a, submitted).

MATERIELS ET MÉTHODES

Amélioration de SIPPOM :
Plusieurs améliorations ont été réalisées. Au niveau de la spatialisation : le passage du mode raster (pixel) au mode vectoriel (parcelle) pour le formalisme des aspects spatiaux, avec l'utilisation d'Arcgis pour digitaliser le parcellaire et l'utilisation de Califlopp (Bouvier *et al*., 2009) pour calculer la dispersion des spores de parcelle à parcelle en fonction de la distance, de l'orientation et de l'intensité du vent. La deuxième modification porte sur l'amélioration de la prévision de la note G2 avec l'ajout de conditions climatiques nécessaires à l'infection (durée d'humectation foliaire nécessaire en fonction de la température; Magarey *et al*., 2005). D'autres améliorations plus secondaires ont été réalisées pour l'estimation de la date de levée en fonction des temps thermiques et de l'humidité du sol et sur les pertes azotées par lessivage.

Etapes de la co-construction :
Dans chacune des deux régions de travail, nous avons réuni à plusieurs reprises différents acteurs : semenciers, groupes coopératifs, techniciens de chambres d'agriculture, collègues de la recherche, agriculteurs et représentants locaux du CETIOM. Le travail a comporté plusieurs phases :

1. Lors de la première réunion : Discussion sur le phoma, sa perception, les leviers de gestion connus et compléments de connaissances sur le sujet
2. une ou deux réunion(s) de brain storming sur la description de tendances possibles d'évolution du contexte et d'évolution de la situation du colza dans les assolements de leur région. Pour chaque tendance, les acteurs ont ensuite ébauché des propositions de scénarios (description des systèmes de culture), utilisés par la suite pour les simulations avec SIPPOM-WOSR.
3. Après la réalisation des simulations avec SIPPOM-WOSR sur les scénarios précédemment construits par les acteurs, une à deux réunion(s) ont été réalisées dans

chacun des terrains pour restituer les résultats des simulations et débattre sur la base de ceux-ci.

Régions de travail :
Deux régions différentes ont été choisies, la région Picardie et la région Centre. La Picardie est une région de systèmes de culture et de rotations assez diversifiés et d'introduction assez récente du colza, à l'exception de la zone du Tardenois où le colza est déjà bien représenté. La région Centre est une zone de forte production de colza avec une forte dominante de rotations triennales à base de colza et de céréales à paille d'hiver.

Données d'entrée des simulations :
Pour les simulations de la région Centre, nous avons utilisé le parcellaire de Civray (Cher), déjà pris en compte dans des études antérieures (Lô-Pelzer *et al.,* 2010), et un parcellaire équivalent de la région de Beauvais pour la région Picardie. Ces deux zones font environ 17 Km^2 et comportent de 120 à 160 parcelles chacune. Pour chaque scenario, trois tirages aléatoires de la répartition des parcelles de colza et des pratiques sur ce parcellaire sont réalisés. Les simulations sont faites sur cinq ans (une année d'initialisation et quatre années de simulation). Les climats utilisés sont ceux enregistrés par Météo France sur les stations de Beauvais et de Bourges.

Variables de sortie :
Au niveau des sorties de SIPPOM, sont principalement regardées les sorties suivantes : pourcentage de virulents avrlm7 (a7), taille de la population pathogène et pertes estimées de rendement associées au phoma.

Analyse des résultats :
Les variables de sorties sont considérées au bout des cinq années (une année initiale suivie de quatre années de simulation). Les variables de sortie font l'objet de régressions multiples en prenant les scénarios par tendance d'évolution du contexte et en utilisant comme facteurs de régression les données de climat, la fréquence de colza et les différentes pratiques faisant l'objet d'alternatives dans la conception des scénarios (Hossard *et al*., b, submitted).

RESULTATS

Améliorations du modèle :
Les améliorations du modèle testées sur le parcellaire de la région Centre avec le climat et les pratiques de la période 2004-2008 de Civray ont permis principalement un gain de temps de calcul important : 15 minutes par scénario testé (121 parcelles – 16 km^2, simulation sur cinq ans), contre 8-9 heures précédemment.
Les modifications faites relatives à la prévision de la note G2 (index de sévérité en fin de cycle) se sont avérées mineures. La prise en compte de nouvelles conditions d'infection, *a priori* plus contraignantes, a très peu modifié les résultats de notes G2 simulées.

Contextes définis par les acteurs
Le tableau ci-dessous présente les tendances dégagées par les acteurs pour les deux régions. Il s'agit de tendances issues de discussions classiques du milieu professionnel actuel. Les conséquences au niveau des variables d'entrée du modèle portent principalement sur la part du colza dans la SAU, sur des aspects de travail du sol et de gestion des pailles de colza, et sur la répartition entre types variétaux de colza.

Régions	Tendances	Principales données d'entrée modifiées	Nbre de scénarios (1 répétition)
Centre	Prolongement de la situation actuelle avec augmentation de la demande en biocarburant	% SAU en colza / an (33 à 50%) % labour après colza (0 à 20%) % des types variétaux (RSpe/RQuanti : 100/0-50/50-0/100)	162
	Surfaces de colza en baisse avec des réglementations nouvelles sur l'azote et les couvertures. Des subventions pour allonger les rotations	%SAU en colza / an (27 à 30%) % de fertilisation N à l'automne (10 à 35%)	18
	Interdiction du glyphosate et le gène de résistance spécifique Rlm7 contourné	% SAU en colza / an (30 à 42%) % labour après colza (30 à 50%) % des types variétaux 100% R.quanti	54
Picardie	Pour le Tardenois : politique de réduction des IFT et diminution des surfaces de colza	% labour après colza (0 à 50%) % des types variétaux (40 à 100 % Rlm7)	192
	Un type variétal domine. Pas de fertilisation d'automne	Nature du type variétal climats	40 x 3
	Augmentation du non labour après colza	% non labour (10 à 30%)	6 x 3
	Pour l'Oise et la Somme : augmentation des surfaces de colza	% SAU en colza / an (15 à 25%)	24 x 2
	Labour / non Labour avec pratiques actuelles	Labour (0 ou 100%)	2 x 3

Tableau 1 : Tendances d'évolution du contexte dégagées par les acteurs et nature des scénarios à simuler par le modèle SIPPOM-WOSR issus de ces tendances.
Trends and scenarios inputs given by the stakeholders for simulations with the SIPPOM-WOSR model.

Simulations

Les résultats de simulations sont présentés de façon synthétique ci-dessous (Figure n°1) pour les deux principales variables de sortie principales qui sont le pourcentage d'individus virulents avrlm7 et la taille de la population du pathogène. Trois points principaux apparaissent :

1) La taille de la population est étroitement liée à la part de colza dans le paysage.
2) La fréquence d'individus virulents est plus forte lorsque la part des variétés portant la résistance spécifique Rlm7 augmente.
3) On constate, néanmoins, au-delà des points principaux précédents une grande gamme de variations des résultats parmi les scénarios balayés.

Parmi les autres facteurs affectant les variables de sortie, le travail du sol après colza semble le plus important ainsi que le niveau de résistance quantitative des variétés.

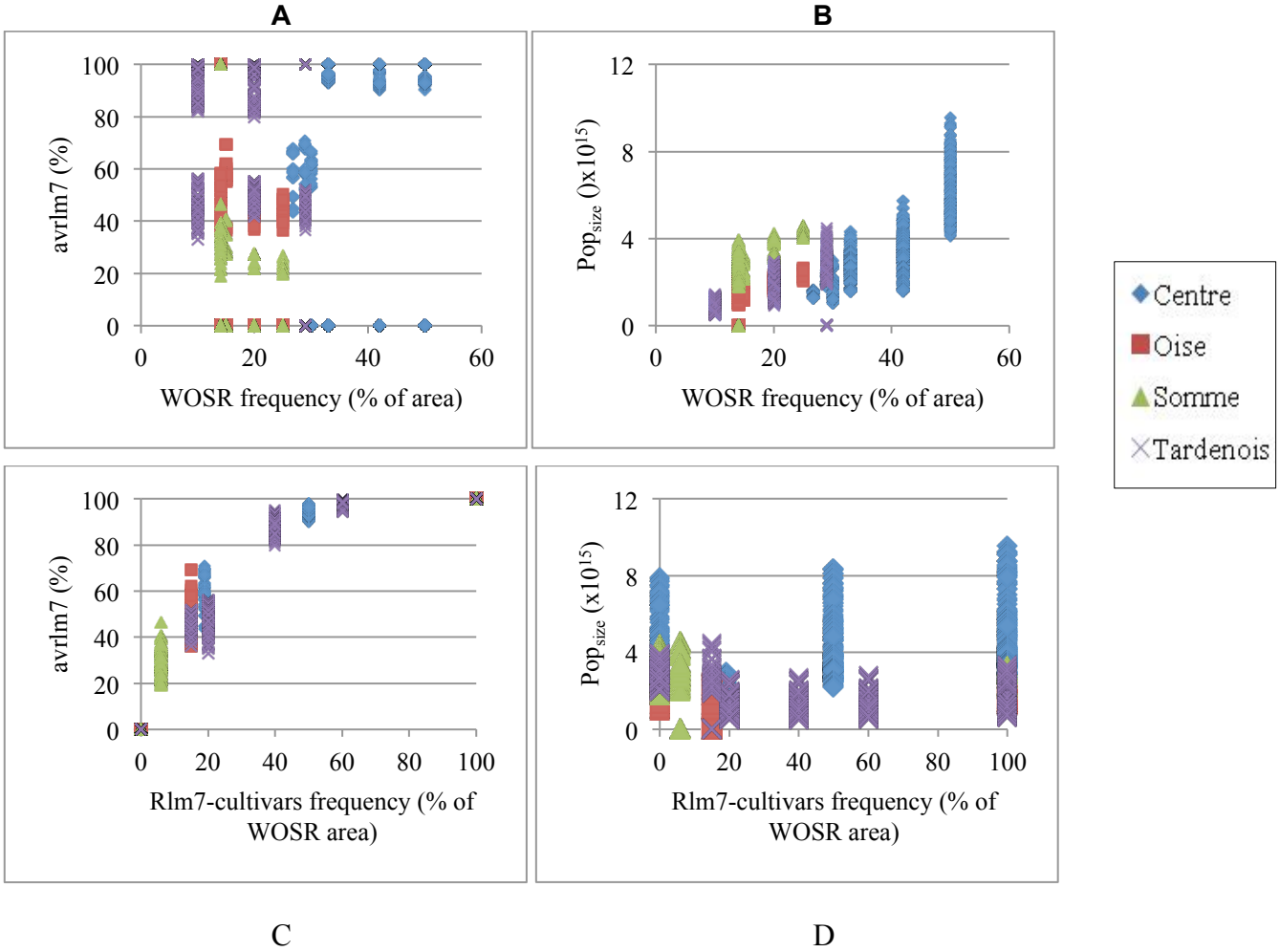

Figure n°1: résultats des simulations (A et C : fréquence de avrlm7; B et D: taille de la population du pathogène) pour les différentes tendances et scénarios, exprimés en fonction de la fréquence des parcelles de colza (A et B) ou de la fréquence des variétés portant Rlm7 parmi les parcelles de colza (C et D)

Simulation outputs for the different trends and scenarios, expressed in front of oilseed rape field frequency or of Rlm7 genotype frequency among oilseed rape fields.

DISCUSSION

Les stratégies de contrôle du phoma à l'échelle de la parcelle reposent principalement sur des leviers agronomiques (date de semis, travail du sol après la récolte du colza) et sur le choix de variétés résistantes. Les résistances variétales et en particulier, les résistances spécifiques peuvent faire l'objet de contournements de résistance. En France et en Europe, la résistance spécifique Rlm1, déployée dans les années 90, a été contournée quelques années après, consécutivement au développement de populations du pathogène ne portant plus l'avirulence Avrlm1 (Rouxel *et al*., 2003, Balesdent *et al*., 2006, Stakowiack *et al*., 2006). Malgré quelques différences entre lieux, cette évolution a été constatée à des échelles spatiales larges. D'une part la pression de sélection des variétés portant Rlm1 a été largement exercée par l'ensemble des acteurs, et d'autre part les ascospores de

Leptosphaeria maculans ont une capacité de dissémination large dans l'espace. Le renforcement des stratégies de contrôle du pathogène, et en particulier, la nécessité de préserver les efficacités des résistances spécifiques, passent par la prise en compte d'échelles de travail plus larges dans le temps et dans l'espace. C'est avec cet objectif qu'a été développé l'outil SIPPOM-WOSR, modèle spatialement explicite permettant de simuler le devenir des populations du pathogène, quantitativement et qualitativement, ainsi que les impacts en matière de productivité du colza pour un paysage constitué de 100 à 160 parcelles. L'élaboration de stratégies à une échelle spatiale élargie est nécessairement plus complexe dans la mesure où il y a intervention de nombreux acteurs : les agriculteurs de la zone, mais aussi les acteurs techniques et économiques auxquels ils sont liés. Il y a donc des méthodologies de travail et de définitions de scénarios à mettre en place qui sont spécifiques.

L'amélioration du modèle SIPPOM, et en particulier de son temps de calcul, a permis son utilisation dans une démarche participative impliquant les acteurs locaux. Ce type de démarche n'a encore été que très peu utilisé en agriculture, la capacité à enchainer définition collective des scénarios avec les acteurs et simulation par un modèle spatio-temporelle intégrant les systèmes de culture et les pratiques des agriculteurs, est une démarche très originale. Elle n'avait en particulier jamais été utilisée pour raisonner et concevoir des stratégies de gestion durable des résistances.

Les acteurs ont proposé des évolutions de contexte et défini des scénarios pour la région Centre et différents secteurs de la région Picardie. Bien que les réunions aient commencé par des séances de rappel de connaissances sur le phoma et sur les moyens de le contrôler, avec un état de l'art le plus récent, on constate que les propositions de scénarios à simuler restent très ancrées sur des modalités de variations à l'échelle de la parcelle. Dans cette première série de simulation, la dimension spatiale n'a été introduite que par le biais du pourcentage de parcelles de colza dans le paysage. Les modalités introduites reposent sur des répartitions de choix variétaux entre résistance spécifique, niveau de résistances quantitatives, modalités de travaux du sol, en particulier après colza, climat, et d'autres modalités faisant référence à l'itinéraire technique. Dans ces conditions, les résultats obtenus sont en phase avec l'état des connaissances, et soulignent les effets connus que constituent l'enfouissement des pailles, la part de colza dans le paysage, ou la part des variétés portant une résistance spécifique comme Rlm7. Néanmoins selon les tendances d'évolution du contexte ou les zones géographiques les hiérarchies sont différentes. Les résultats suggèrent qu'avec ces éléments il est déjà possible de freiner un éventuel contournement de résistance et de restreindre la population pathogène.

Les acteurs semblent avoir eu du mal à pousser davantage leur imagination et leurs suggestions pour aller vers des scenarios utilisant davantage les possibilités d'organisation spatiale des parcelles de colza. Plusieurs raisons peuvent l'expliquer : scepticisme sur une capacité à leur mise en œuvre, imagination bridée par le vécu, souhait d'évaluation du modèle par des scénarios *a priori* mieux connus, manque de temps pour poursuivre la démarche. Néanmoins les auteurs de cette communication envisagent pour leur part des simulations de scénarios plus innovants sur les aspects spatiaux.

Par ailleurs, il faut également rappeler que le modèle garde une marge d'amélioration possible importante. C'est le cas sur la partie croissance et développement et prévision du rendement en grain. Ceci passe en particulier par une meilleure estimation des surfaces foliaires. Il y a également des éléments à introduire sur des aspects de pathologie : gradients de niveaux de résistance quantitative, coûts de fitness liés à la perte de l'avirulence par exemple.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié du soutien du projet CTPS EVOLEP (2009-11), et s'inscrit dans le cadre de l'UMT Pivert. Laure Hossard a bénéficié d'un Contrat Jeune Scientifique (INRA et école doctorale ABIES). Les auteurs remercient ces soutiens.

BIBLIOGRAPHIE

Aubertot, J.N., Pinochet, X., Reau, R., Dore, T., 2004b. SimCanker: a simulation model for containing phoma stem canker of oilseed rape through cultural practices. *Proceedings of the 4th international crop science congress.* Brisbane, Australia.

Balesdent M.H., Louvard K., Pinochet X., Rouxel T., 2006 – A large-scale survey of races of *Leptosphaeria maculans* occuring on oilseed rape in France. *European Journal of Plant Pathology 114, 53–65.*

Bouvier A., Kiêu K., Adamczyk K. et Monod H., 2009. Computation of the integrated flow of particles between polygons. *Environmental Modelling & Software 24, 843-849*.

Hossard, L., Jeuffroy, M.H., Pelzer, E., Pinochet, X., Souchere, V., a,. A participatory approach to design spatial scenarios of cropping systems and assess their effects on phoma stem canker management at a regional scale. Soumis à *Environmental Modelling and Software.*

Hossard, L., Souchere, V., Pelzer, E., Pinochet, X., Jeuffroy, M.H., b,. Cropping systems management at a regional scale for the sustainable management of phoma stem canker: a model-based assessment of locally-designed spatial scenarios. Soumis à *Agriculture, Ecosystems and Environment.*

Lo-Pelzer, E., Bousset, L., Jeuffroy, M.H., Salam, M.U., Pinochet, X., Boillot, M., Aubertot, J.N., 2010. SIPPOM-WOSR: A Simulator for Integrated Pathogen POpulation Management of phoma stem canker on Winter OilSeed Rape I. Description of the model. *Field Crops Research 118, 73-81.*

Magarey, R. D., Sutton, T. B., Thayer, C. L., 2005. A simple generic infection model for foliar fungal plant pathogens, *Phytopathology* **95**(1)**:**92-100.

Rouxel T., Penaud A., Pinochet X., Brun H., Gout L., Delourme R., Schmit J., Balesdent M.H., 2003 - A ten-year survey of populations of *Leptosphaeria maculans* in France indicates a rapid adaptation towards the *Rlm1* resistance gene of oilseed rape. *European. Journal of Plant Pathology 109, 871-881.*

Stachowiak A., Olechnowicz J., Jedryczka M., Rouxel T., Balesdent M.H., Happstadius I., Gladders P., Latunde-Dada A. and Evans N., 2006 - Frequency of avirulence genes in field populations of *Leptosphaeria maculans* in Europe. *European Journal of Plant Pathology 114, 67–75.*