

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

**MISE EN EVIDENCE DE LIENS ENTRE LA TEMPERATURE ET L'HUMIDITE RELATIVE AU SEIN DU
COUVERT ET LE DEVELOPPEMENT DU SCLEROTINIA EN COLZA D'HIVER**

C. SAGLIBENE^(1,2), S. GERVOIS⁽¹⁾, A. PENAUD⁽¹⁾, J.-L. LUCAS⁽³⁾

- ⁽¹⁾ Terres Inovia, 1 avenue Lucien Bretignères, 78850 THIVERVAL GRIGNON
s.gervois@terresinovia.fr
- ⁽²⁾ AGROCAMPUS OUEST - Centre de Rennes, 65 rue de Saint-Brieuc, 35000 RENNES
chloe.saglibene@agrocampus-ouest.fr
- ⁽³⁾ Terres Inovia, 10 avenue de Dallas, 21000 DIJON

RÉSUMÉ

Les essais mis en place pour évaluer les différents traitements contre le sclérotinia du colza nécessitent un développement relativement important de la maladie pour être significatifs. Un fort taux d'attaque du sclérotinia dépend de conditions climatiques (température et humidité) très strictes. Une modélisation des conditions météorologiques en faveur du développement du sclérotinia, reposant sur des données horaires de température et d'humidité du couvert est proposé dans cette étude. Ce modèle a été développé dans le but de classer différentes situations selon le risque épidémiologique et d'identifier les conditions climatiques limitant ou favorisant l'infection par *Sclerotinia sclerotiorum* dans les parcelles de colza d'hiver.

Mots-clés : Sclérotinia, Modélisation, Température du couvert, Humidité du couvert, Colza d'hiver.

ABSTRACT

**HIGHLIGHTING LINK BETWEEN TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY IN THE PLANT CANOPY
AND SCLEROTINIA STEM ROOT INFECTION IN WINTER OILSEED RAPE**

In order to test new treatments against sclerotinia stem root in oilseed rape, experimentations are carried out. Those field trials are significant only if there is enough sclerotinia infection, which is related to defined weather conditions of temperature and relative humidity. A model based on hourly data of temperature and relative humidity into the crop canopy is being developed in order to provide a modelisation of weather conditions in favor of sclerotinia stem root infection. This model is being developed to distinguish situations from the risk of disease with *Sclerotinia sclerotiorum* and to identify the weather conditions that are limiting or increasing sclerotinia stem root infection in winter oilseed rape.

Keywords: *Sclerotinia sclerotiorum*, Modelisation, Temperature and Relative Humidity into the canopy, Winter Oilseed Rape.

INTRODUCTION

La sclérotiniose, causée par *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, est une maladie très dommageable pour le colza qui peut engendrer des pertes de rendements importantes lors d'épidémies graves, comme en 2000 et 2007 (Dupeuble, 2008). Cette maladie est déclenchée par la chute de pétales infectés sur les feuilles et progresse avec le passage du pathogène aux feuilles puis aux tiges, ce qui entraîne un échaudage des plantes. Les attaques induisent des pertes de rendement uniquement lorsque les tiges sont attaquées. La fréquence des attaques nuisibles est de 1 à 2 années par décennie, du fait de conditions climatiques très souvent défavorables au cours du cycle infectieux du pathogène.

La stratégie de lutte contre le sclérotinia repose essentiellement sur l'utilisation quasi-systématique d'au moins un traitement fongicide préventif en début de floraison. Ce traitement est justifié par le fait qu'il n'existe pas de traitement curatif efficace. De plus, l'application de ce traitement comporte un effet positif appelé « effet vert » qui permet un gain de 1 à 3 quintaux par hectares, en absence de maladie, et ajourne ainsi l'aspect économique de son utilisation (Penaud et Duroueix, 2011). L'adoption d'autres moyens de lutte (génétique, agronomique et biologique) est encore peu fréquent, malgré le développement de nouvelles alternatives, comme par exemple la lutte biologique avec *Coniothyrium minitans* (Penaud et Michi, 2009).

L'homologation de nouveaux traitements nécessite la mise en place d'expérimentations au champ, au niveau de sites propices à l'apparition de la maladie. Cependant, un taux d'attaque conséquent étant dépendant de conditions climatiques strictes, de nombreux essais ne sont finalement pas retenus car ils ne présentent pas une évolution suffisante de la maladie. Dans le but d'améliorer le taux de succès de ces essais, la conception d'un Outil d'Aide à la Décision (OAD) pour le pilotage des essais fongicides a été lancé.

Cet OAD sera basé sur un modèle indiquant un risque d'infection à partir de données faciles à récolter, c'est-à-dire la température et l'humidité relative à l'intérieur du couvert. Ce même modèle permettra, à moyen terme, de prédire l'évolution dans le temps du risque infectieux.

L'étude présentée ici s'inscrit dans la première étape du développement du modèle et correspond à l'analyse de la phase infectieuse de la sclérotiniose et la mise en avant des facteurs limitants (la température et l'humidité dans le couvert) lors de la progression de l'infection vers la tige. Cette première partie vise à classer les situations à risque épidémiologique des différents sites étudiés localisés dans l'Est de la France.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

MATÉRIELS

Essais réalisés. Les essais mis en place pour cette étude correspondent aux témoins non traités d'essais fongicides menés par Terres Inovia pendant deux années consécutives : 2014 et 2015. Quatre lieux ont été retenus : les deux plateformes INRA d'Estrées-Mons (80) et de Bretenières (21), et des parcelles d'agriculteurs proches de Nancy (54) et de Troyes (10). Sur le site de Nancy, des modalités d'écimage ont été testées, afin de décaler les dates de floraison et d'étudier les conséquences sur l'évolution de la sclérotiniose.

Trois modalités ont été étudiées en 2014 sur la commune de Morville-sur-Seille (54) : témoin non écimé, colza écimé en coupe moyenne (45cm) et une coupe basse (20cm). En 2015, le site de Morville-sur-Seille a été reconduit avec les modalités non écimé et écimé coupe moyenne et un deuxième site situé à Saint-Hilaire (55) a été sélectionné.

A Troyes, deux essais sur deux sites distincts ont été suivis en 2014 ; le premier localisé à Saint-Mesmin, situé dans une cuvette et le second à Mergey, sur un coteau. En 2015, l'essai a été reconduit uniquement à Saint-Mesmin.

A Mons, l'essai reconduit en 2015 a été abandonné en raison d'importants orages de grêle ayant eu lieu le 5 juin.

Les micro-parcelles des essais ont toutes été conduites de manière conventionnelle, mais en absence de traitement fongicide. Les variétés utilisées dépendent des sites (DK Explicite à Nancy, DK Expertise à Mons, DK Extorm à Troyes, et un mélange de DK Extorm et Goya à Dijon), mais elles ne présentent

pas de différences d'un point de vue sensibilité au sclérotinia. La densité de peuplement, variable selon les micro-parcelles, est comprise entre 30 et 50 plantes/m². Aucune inoculation artificielle n'a été réalisée. Nous avons fait l'hypothèse que l'inoculum initial pour l'infection des pétales est non limitant en conditions naturelles, et est vérifiée par la réalisation d'un kit pétale au stade F1 (Penaud et al, 2009).

Données météorologiques. Les données horaires d'humidité relative et de température à l'intérieur du couvert ont été acquises à l'aide de sondes WatchDog[®] commercialisées par la société SDEC, placées au centre de chaque micro-parcelle. Ces sondes sont situées à environ 0.45m du sol, au sein d'abris météo Davis Instruments 7714, normalisés Météo France. Les données sont enregistrées toutes les heures entre les stades G1 et G4. Les sondes des sites de Nancy et de Mons ont été intercomparées sur 24 heures. En moyenne, pour la température, il y a une différence de 0.7°C avec un maximum de 2°C. Concernant l'humidité, il y a une différence moyenne de 1.3% avec un maximum de 6.5%. Les sondes étant identiques dans tous les sites, on généralise ces résultats à toutes les sondes utilisées.

Observations de l'état sanitaire de l'essai. Les observations au champ ont été réalisées par les techniciens de Terres Inovia, qui ont fait l'état sanitaire des essais. Les échantillonnages ont été réalisés aléatoirement et sont représentatifs de l'état général des micro-parcelles. En fonction des sites, entre 20 et 800 échantillons ont été pris en compte.

Les données biologiques relevées pour tous les sites sont : i/les résultats des kits pétale réalisés au stade F1, ii/la date d'apparition des premiers symptômes sur feuilles, iii/les taux d'attaque finaux sur tiges au stade G4.

De plus, en fonction des sites, des informations supplémentaires sont disponibles. Il s'agit des résultats des dénombrements de feuilles et tiges présentant des symptômes aux stades G1, G1+10 jours, G1+20 jours et G1+30 jours.

MÉTHODES

Développement du modèle. Le modèle SkleroPro (Koch et al., 2007) a servi de point de départ pour le paramétrage du modèle. Les équations développées ici, à partir des données météorologiques horaires sous couvert, permettent de calculer les heures journalières en conditions favorables pour la progression de la sclérotiniose. Les données climatiques de l'année 2014 ont servi à l'élaboration et à l'ajustement des équations d'humidité et de température du modèle, alors que celles de 2015 ont été utilisées pour tester le modèle et valider les interprétations des résultats. La programmation du modèle a été réalisée avec le logiciel statistique « R » (version 3.2.1).

Conditions météorologiques favorables au développement du sclérotinia. Les équations du modèle sont initialisées selon les conditions de développement du pathogène trouvées dans la littérature. Le sclérotinia se développe à des températures comprises entre 7 et 27°C, et présente un optimum entre 16 et 22°C associé à une humidité relative supérieure à 80% (Koch et al., 2007).

RÉSULTATS

Etat sanitaire des parcelles vis-à-vis du sclérotinia. L'année 2014 a été inégalement impactée vis-à-vis du sclérotinia en fonction des sites. On observe un fort gradient général Nord-Ouest/Sud-Est, au sein de la zone étudiée, du taux d'attaque sur tiges, avec environ 50% de plants touchés à Mons, contre 30% à Mergey, moins de 10% à Saint-Mesmin et Nancy et aucune attaque sur tiges observée à Dijon. Dans le cadre des modalités d'écimage étudiées à Nancy, des symptômes sur feuilles ont été observés uniquement pour la coupe moyenne, avec un taux de 20%, mais moins de 10% des tiges étaient atteintes au stade G4.

L'année 2015 a été marquée par un fort taux d'attaque sur feuilles pour les sites de Dijon (84%) et Saint-Mesmin, mais un taux d'attaque final sur tiges de 0% pour tous les sites. L'étude de l'année 2015 est intéressante, notamment pour analyser les conditions d'arrêt de la progression du sclérotinia, après infection des feuilles.

Mise en évidence de conditions limitantes pour le développement du sclérotinia. Les deux sites de Troyes, distants seulement de quelques kilomètres, sont soumis aux mêmes conditions climatiques. Pourtant, des résultats différents vis-à-vis du sclérotinia en 2014 ont été obtenus (Figure 1). Leur étude comparative nous a permis d'analyser les effets du microclimat au sein du couvert sur la progression de la sclérotiniose, et ainsi de préciser notre modèle.

Le site de Mergey présente un pourcentage de tiges atteintes de sclérotinia au stade G4 beaucoup plus important que celui de Saint-Mesmin. Par ailleurs, le taux de passage de feuilles à tiges (% tiges atteintes*100/ % feuilles atteintes) est de 92% pour le site de Mergey, et de 42% à Saint-Mesmin. Ce qui indique des conditions moins favorables pour la contamination des feuilles et la progression vers la tige à Saint-Mesmin.

D'un point de vue météorologique, la différence entre les deux sites est surtout importante en terme d'humidité relative du couvert (Figure 2).

Figure 1: Taux d'attaque (%) sur feuilles et sur tiges à Troyes, 2014 (Sclerotinia's attack rate (%) on leaves and stems, Troyes, 2014)

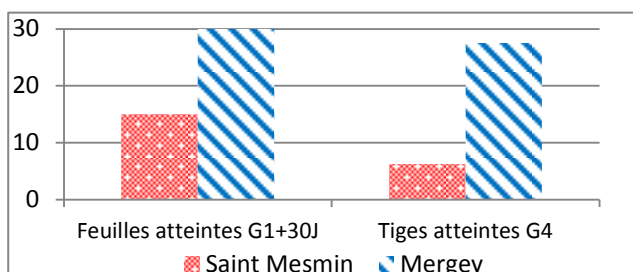
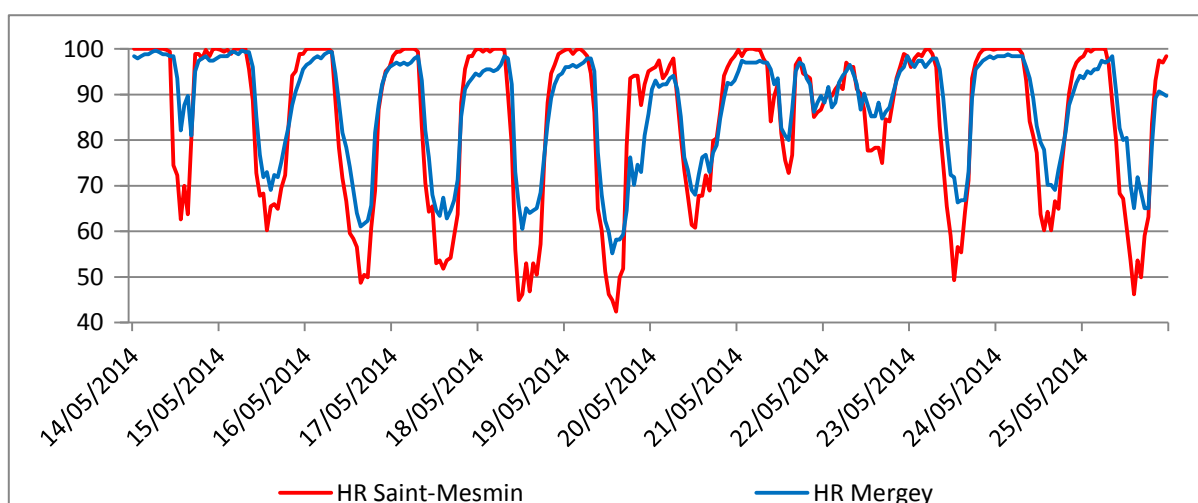


Figure 2: Evolution journalière de l'humidité relative du couvert (%) à Troyes en 2014 (Relative humidity's daily evolution (%) into the crop canopy, Troyes 2014)



En journée, l'humidité relative à Saint-Mesmin est plus faible par rapport à Mergey. On remarque qu'elle passe le seuil de 60% plus régulièrement et descend sous 50% les journées les plus chaudes. Au vu des différences de résultats vis-à-vis du sclérotinia et des données météorologiques du couvert, nous avons émis l'hypothèse qu'une humidité relative inférieure de 60% est défavorable à la progression du pathogène, et devient rapidement limitante pour des valeurs inférieures à 50%. Les résultats présentés en figure 2 sur une courte durée, par soucis de visibilité, sont généralisables sur l'ensemble de la période.

DESCRIPTION DU MODELE

Paramétrage du modèle pour la température. A partir des données horaires de température du couvert (notée T), le modèle calcule un coefficient Coeff_T par heure relatif à la température. Ce coefficient (Figure 3), permet de comptabiliser le temps relatif à chaque heure pour lequel les températures sont favorables au développement du sclérotinia. Les équations suivantes permettent le calcul de Coeff_T :

$$F(T) = \frac{10 - e^{\frac{-0.11(20-T)^3 - 2(20-T)^2 - 1.5(20-T)}{50}}}{9} \quad \text{Lorsque } F(T) \text{ est négatif, il est remis à zéro.}$$

Afin de pénaliser les heures définies en conditions défavorables (température inférieure à 7°C), une fonction correctrice est mise en place :

$$G(T) = \begin{cases} \frac{1}{1+0.04 T^3} & \text{si } 0 < T < 7 \\ 1 & \text{si } T < 0 \\ 0 & \text{si } T > 7 \end{cases}$$

Une heure est ainsi entièrement comptabilisée en heure favorable lorsque sa température est proche de 20°C (Coeff_T = 1). Plus la température s'écarte de cet optimum, moins la durée considérée en heure favorable est importante. Lorsque la température descend sous 7°C, les conditions sont définies comme « bloquantes » et l'heure est décomptabilisée.

Paramétrage du modèle pour l'humidité relative.

Les données horaires d'humidité relative du couvert (notée HR) permettent de calculer un coefficient horaire Coeff_HR (Figure 4). De façon analogue à la température, ce coefficient permet de comptabiliser les parts horaires favorables, en terme d'humidité relative, à la progression de l'infection du sclérotinia. Il est calculé à partir des équations suivantes :

$$F(HR) = \frac{1}{1 + e^{-0.5(HR-65)}}$$

Afin de considérer des conditions bloquantes pour la progression du sclérotinia, une fonction de correction est appliquée :

$$G(HR) = \begin{cases} e^{-0.09(HR-40)} & \text{si } HR > 40\% \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

On définit alors le coefficient de l'humidité relative :

$$\text{Coeff_HR} = F(HR) - G(HR)$$

On définit ainsi le coefficient de température :

$$\text{Si } T > 7, \text{ Coeff_T} = F(T)$$

$$\text{Si } T \leq 7, \text{ Coeff_T} = -G(T)$$

Figure 3: Fonction de détermination de Coeff_T (bleu) et sa fonction correctrice (rouge) (Temperature's coefficient function (blue) and correction (red))

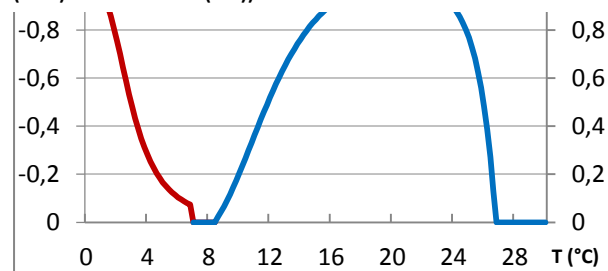
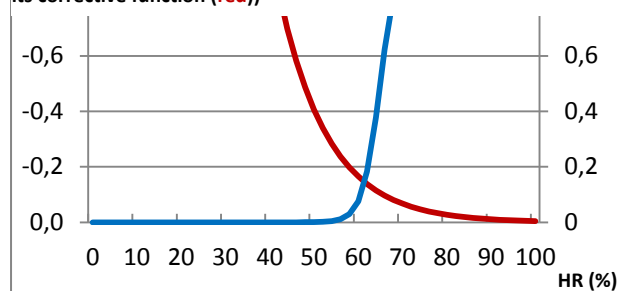


Figure 4: Fonction de détermination de Coeff_HR (bleu) et sa fonction de correction (rouge) (Relative humidity function (blue) and its corrective function (red))



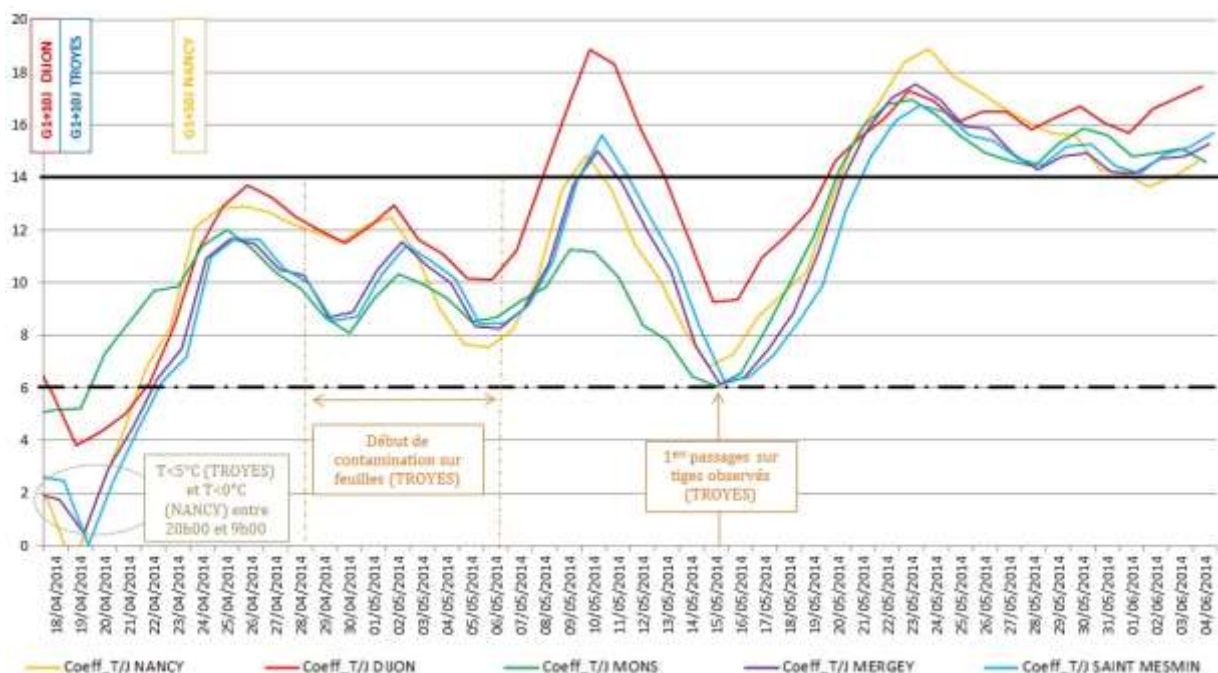
Transformation en données journalières. Le modèle somme par la suite, à pas de temps journalier, les coeff_T et Coeff_HR. Ceci permet de représenter, par jour, le nombre d'heures relatives où les conditions ont été optimales pour la progression de l'infection.

Afin de gagner en lisibilité, nous avons présenté les courbes sous forme de moyennes mobiles sur 5 jours des coefficients journaliers de température et d'humidité.

RESULTATS OBTENUS PAR LE MODELE

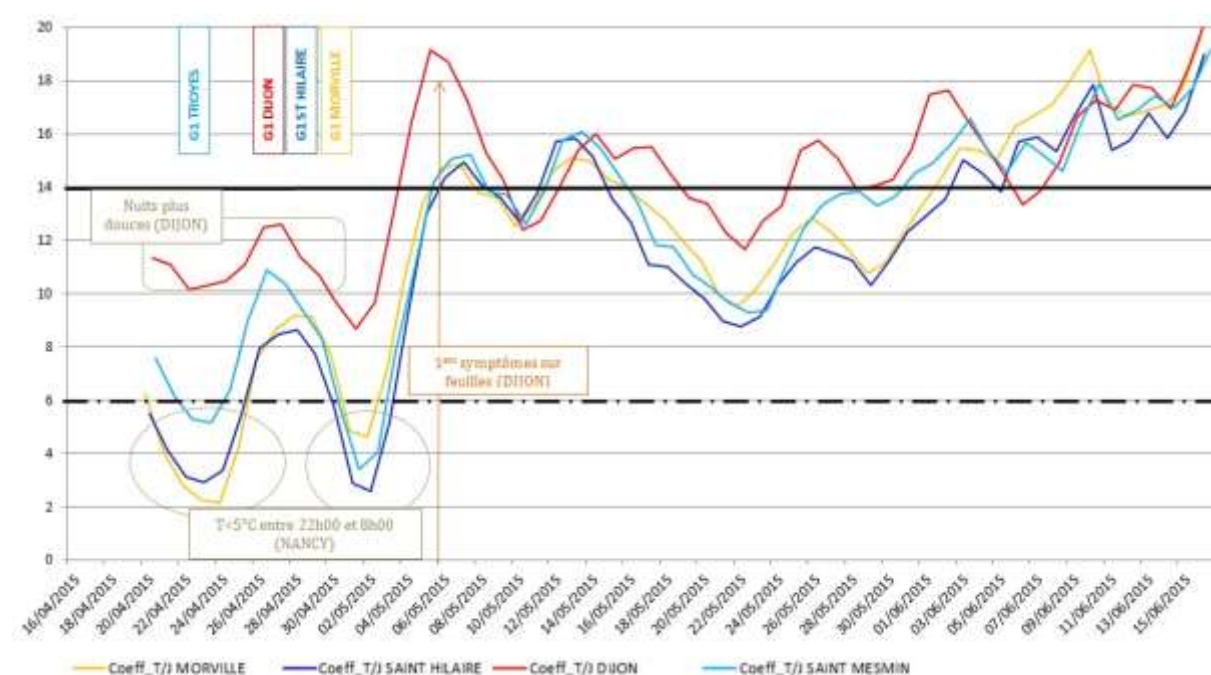
Description des conditions de température du couvert. Les courbes des moyennes mobiles des coefficients journaliers de température obtenues en 2014 (Figure 5) ont la même tendance générale avec une augmentation au cours du temps pour tous les sites. Ceci est représentatif de l'augmentation progressive des températures au printemps, et donc de celle du nombre d'heures en conditions favorables au sclérotinia pour ce facteur. Néanmoins, on distingue mi-avril des valeurs très faibles de ce coefficient pour les sites de Troyes et de Nancy. Les températures nocturnes du couvert sont respectivement inférieures à 5°C et 0°C, sur des durées de 10 heures, qui sont comptabilisées comme défavorables et diminuent ainsi drastiquement la somme des heures journalières en conditions favorables. Par la suite, pour tous les sites, les valeurs oscillent entre 6 et 14h/jour jusqu'à la mi-mai, où les coefficients dépassent 14h/j sur tous les sites.

Figure 5: Moyennes mobiles sur 5 jours du coefficient de température en 2014 (5 days average of the temperature's coefficient in 2014)



En 2015, on note une plus grande variabilité de ces coefficients de température en fonction des localités (Figure 6). Mais ils présentent tous une brusque augmentation du nombre journalier d'heures en conditions favorables début mai. Dijon se distingue des autres dès avril avec un coefficient toujours supérieur à 9h/jour. Les deux sites de Nancy sont caractérisés par un coefficient très faible fin avril et début mai, lié comme en 2014, à des températures nocturnes inférieures à 5°C sur plusieurs heures.

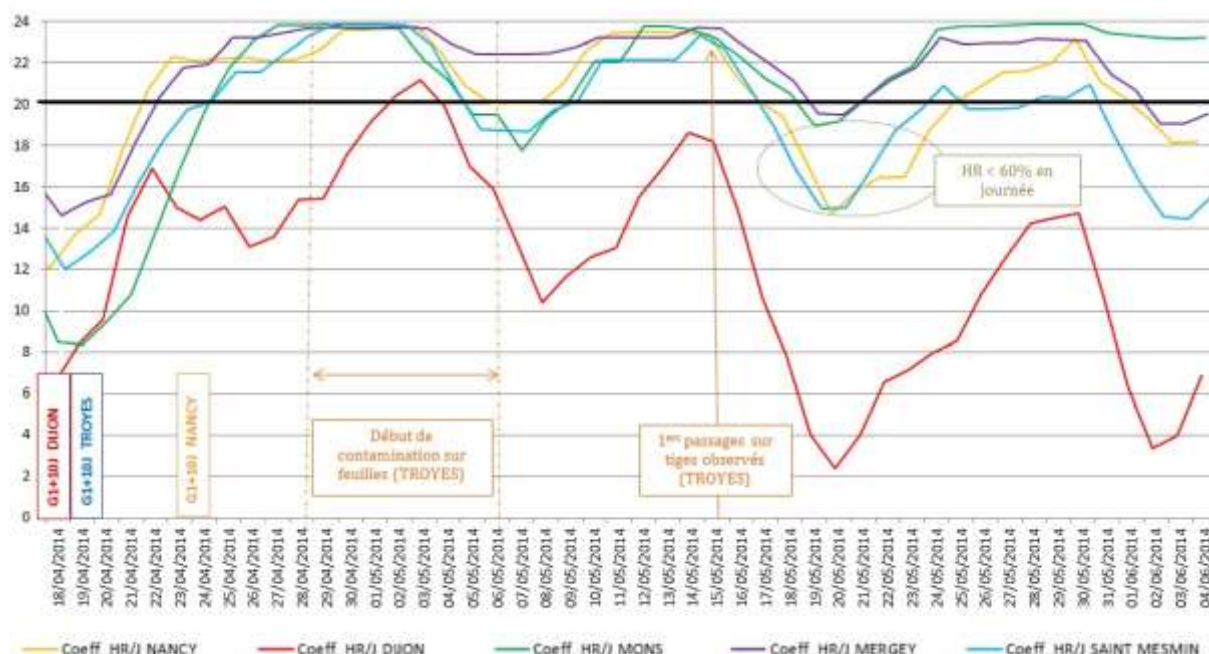
Figure 6: Moyennes mobiles sur 5 jours du coefficient de température en 2015 (5 days average of the temperature's coefficient in 2015)



Conditions d'humidité relative du couvert. Tous les sites en 2014, excepté Dijon présentent une même évolution globale de leur coefficient journalier d'humidité relative (Figure 7). Ce dernier oscille majoritairement entre 15 et 24h/j tout au long de la période étudiée. Dijon se distingue par son coefficient qui n'atteint pas les 21h/j et reste toujours beaucoup plus faible par rapport aux autres sites. Ce résultat est lié au fait que Dijon est l'unique site pour lequel l'humidité relative du couvert descend quasiment tous les jours sous la valeur de 50%. Les valeurs élevées des autres localités indiquent de bonnes conditions en terme d'humidité pour le développement du sclérotinia, soit une humidité relative

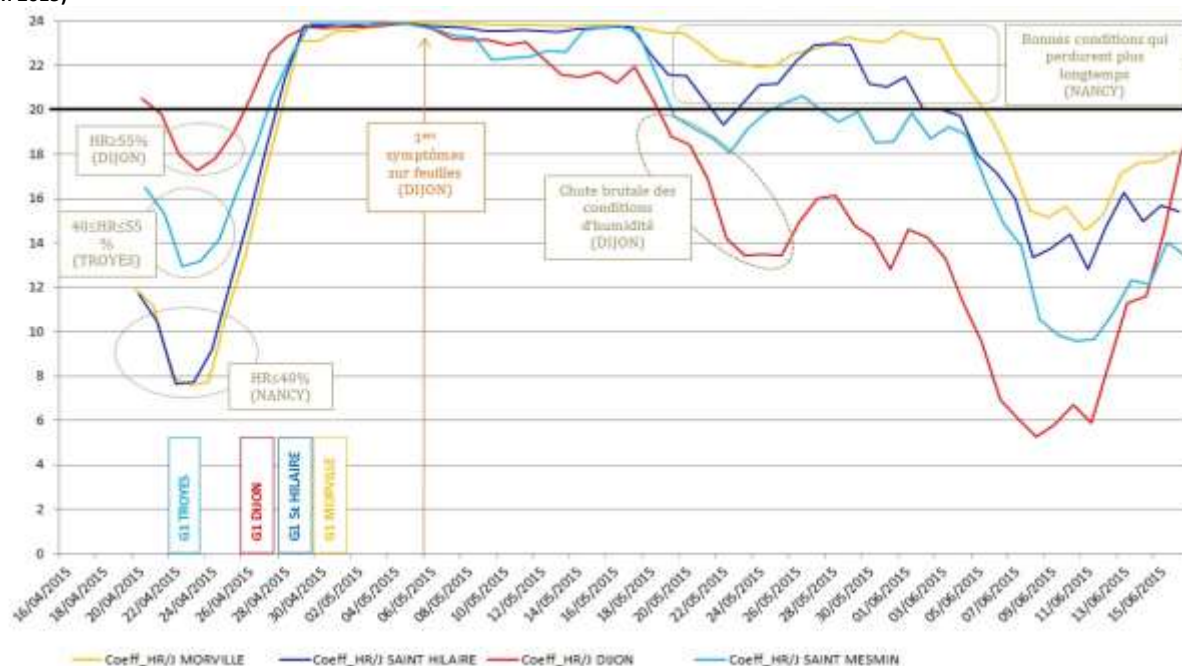
supérieure à 70%. On note toutefois une évolution du coefficient à partir de la mi-mai, séparant les sites par paire avec d'une part Mons et Mergey pour lesquels le coefficient reste au dessus de 20h/j et d'autre part Nancy et Saint-Mesmin où l'on observe une diminution importante du coefficient, qui descend sous les 20h/j.

Figure 7: Moyennes mobiles sur 5 jours du coefficient d'humidité relative en 2014 (5 days average of the relative humidity's coefficient in 2014)



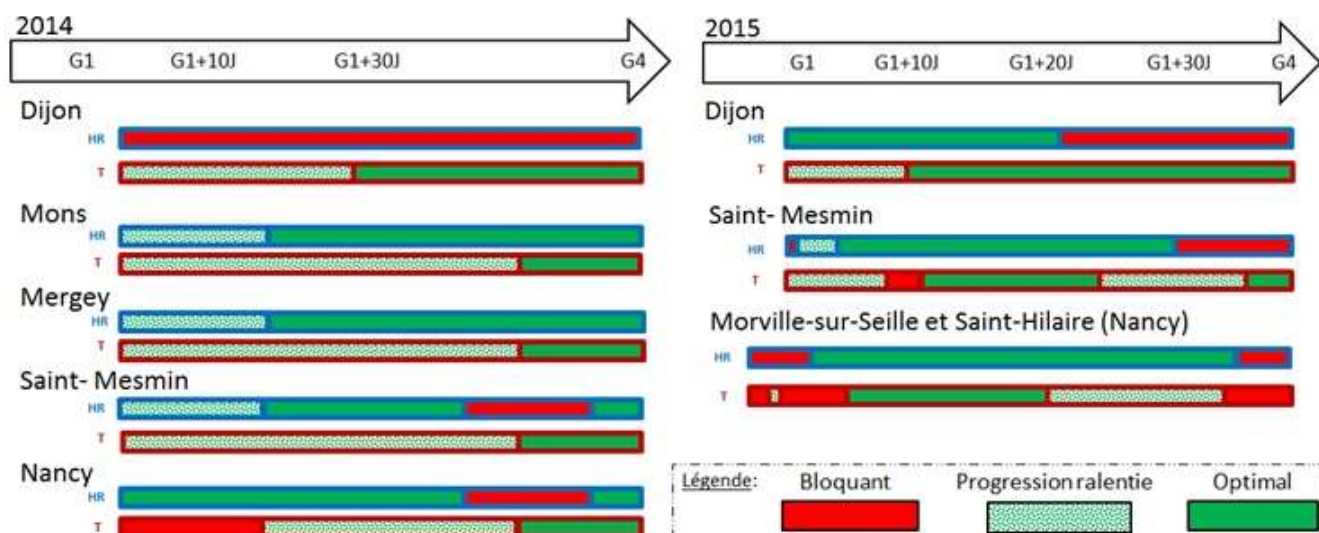
En 2015, les résultats obtenus diffèrent considérablement de ceux de 2014 et présentent une plus grande variabilité en fonction des sites (Figure 8). Dijon se distingue à nouveau des autres sites, mais avec un nombre d'heures journalier en conditions favorables plus élevé cette fois-ci. Pour Nancy, des conditions plus humides en journée ($HR \leq 40\%$ avant le 25 avril et $HR \geq 60\%$ ensuite) expliquent la brusque augmentation du nombre d'heures favorables par jour qui a lieu en début de période. Saint-Mesmin se positionne comme un intermédiaire avec une humidité relative pouvant descendre entre 50 et 40%. La diminution des coefficients, à partir de la mi-mai, en premier lieu à Dijon et Saint-Mesmin, puis à Nancy, reflète des humidités relatives de plus en plus faibles en journée.

Figure 8: Moyennes mobiles sur 5 jours du coefficient d'humidité relative en 2015 (5 days average of the relative humidity's coefficient in 2015)



Synchronisme des conditions météorologiques favorables au sclérotinia. Le modèle fournit séparément les coefficients de température et d'humidité relative reflétant les conditions favorables au sclérotinia. Hors, pour la progression de la sclérotiniose, il est nécessaire d'avoir une concomitance entre ces conditions d'humidité et de température favorables. Une synthèse sous forme de schéma mettant en parallèle les conditions d'humidité relative (HR) et de température (T) du couvert est proposée en figure 9.

Figure 9: Schéma synthétisant les conditions météorologiques pour le sclérotinia en 2014 et 2015 (Synthetic scheme of the weather conditions for sclerotinia in 2014 and 2015)



RELATION ENTRE CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET EVOLUTION DU SCLEROTINIA

Les forts taux d'attaque de sclérotinia sur feuilles observés à Mons et Mergey en 2014 sont en adéquation avec les résultats du modèle indiquant des conditions d'humidité relative du couvert favorables pendant plus de 20h/jour sur toute la période post-floraison. Le nombre d'heures en conditions favorables de température étant moindre, mais supérieur à 6h/j, la progression de la maladie est plus lente, mais continue. L'augmentation du nombre d'heures en conditions favorables de température, corrélée au maintien des conditions d'humidité relative permet le passage du pathogène sur les tiges pour ces deux sites, contrairement à Saint-Mesmin, où la diminution de l'humidité entraîne un assèchement des taches sur les feuilles et limite le passage sur les tiges. A Nancy, l'absence de symptômes sur feuilles, malgré un résultat du kit pétale (98%) indiquant un inoculum initial non limitant, fait émettre l'hypothèse de conditions bloquantes irréversiblement lorsque la température devient négative plusieurs heures consécutives sur plusieurs jours en début de phase infectieuse. Enfin, à Dijon, malgré des conditions de température favorables, l'humidité du couvert n'est pas suffisante pour permettre une infection.

En 2015, contrairement à l'année précédente, Dijon présente un fort taux d'attaque sur feuilles. Ce renversement de situation concorde avec la modélisation des conditions climatiques. Les bonnes conditions d'humidité, couplées au pic d'amélioration des conditions de température début mai précèdent l'apparition des premiers symptômes sur feuilles. Cependant, la chute drastique des conditions d'humidité qui a lieu 10 jours après ne permet pas le passage sur tiges. Il en est de même pour le site de Saint-Mesmin où les conditions d'humidité et de température à partir de G1+10j sont favorables à la contamination des feuilles, mais le passage sur tiges est bloqué par l'altération conjointe des conditions de température et d'humidité relative à partir de mi-mai. Tout comme en 2014, les conditions climatiques (température très faible la nuit et humidité basse en journée) à Nancy ne permettent pas d'accorder température et humidité pour permettre la contamination des feuilles lors de la chute des pétales, et bloque pour cette année-ci le développement de la sclérotiniose.

Effet du décalage de la floraison dans le temps. L'écimage réalisé sur le site de Nancy en 2014 a permis de décaler la floraison, par rapport au témoin, de 15 jours dans le cas de la coupe moyenne et d'un mois pour la coupe basse. Ce décalage a permis de favoriser la contamination des feuilles dans le cas de la

coupe moyenne, mais le passage sur tiges a été bloqué par la dégradation des conditions d'humidité relative qui a eu lieu mi-mai. Le décalage plus important des stades, pour la coupe basse, n'a pas permis la concomitance de conditions favorables d'humidité relative du couvert avec le cycle infectieux du sclérotinia pour cette année. L'écimage réalisé en 2015 à Morville-sur-Seille a permis de décaler la floraison de 15 jours, évitant ainsi les conditions dommageables pour le pathogène en début de période. Néanmoins, la chute du nombre d'heures en conditions favorables, vis-à-vis des deux facteurs climatiques étudiés, qui a lieu peu après le stade G1, ne permet par l'établissement de la sclérotiniose.

Mise en évidence de seuils clés pour la progression du sclérotinia. L'adéquation entre les sorties du modèle et les différentes évolutions du sclérotinia sur ces deux années a permis de déterminer des seuils caractérisant les conditions favorables à la progression de l'infection. Un seuil de 20h/j (moyennes mobiles sur 5 jours), correspondant au total des heures journalières en conditions optimales d'humidité relative semble être un facteur limitant la progression du sclérotinia. Le franchissement de ce seuil ne permet pas le passage sur tiges, même en conditions de température favorables. Concernant le coefficient de température, il semble très favorable à partir du seuil de 14h/j (moyennes mobiles sur 5 jours). Néanmoins, de plus faibles valeurs jusqu'au seuil de 6h/j ne s'avèrent pas bloquantes pour le pathogène, mais ralentissent sa progression.

DISCUSSION

Le modèle développé dans cette étude repose sur des données climatiques acquises dans quatre sites situés dans l'Est de la France. Les données de la première année ont permis le paramétrage des équations modélisant le nombre d'heures par jour favorables à la progression du sclérotinia. Ce modèle a été par la suite testé avec les données obtenues lors de la deuxième année d'expérimentation. La taille du jeu de données et la localisation géographique très précise des sites ne permettent pas de généraliser les résultats de modélisation obtenus. Néanmoins, les conditions météorologiques et les taux d'attaque par *S. sclerotiorum* ayant été suffisamment contrastés entre les deux années, les sites sélectionnés offrent malgré tout un bon panorama de situations favorables ou non au sclérotinia. Le modèle développé permet ainsi de classer différentes situations, à partir de données simples à acquérir que sont la température et l'humidité du couvert.

Les coefficients de température et d'humidité calculés par le modèle reflètent les conditions au sein du couvert selon les critères de progression du sclérotinia. Ils indiquent le nombre d'heures en conditions favorables pour l'évolution du pathogène. Des seuils clés ont été mis en évidence, permettant une détermination des facteurs limitants à l'expansion de la maladie. En effet, le seuil de 20h/j pour le coefficient d'humidité relative du couvert permet d'expliquer l'arrêt ou la progression du pathogène. Le seuil de 6h/j pour le coefficient de température indique le nombre d'heures journalier minimal propice à l'avancée du champignon, et celui de 14h/j reflète des conditions bien plus favorables pour une progression plus rapide des symptômes. Ces seuils sont en accord avec les conditions de développement du sclérotinia trouvées dans la littérature, soit une absence de symptômes lors d'humidités relatives inférieures à 70%, et une évolution plus lente en cas de températures plus faibles (Brun et al., 1983 ; Lamarque, 1983).

Par ailleurs, les résultats obtenus permettent d'avancer une hypothèse quant aux conditions létales pour *S. sclerotiorum* lorsque la température est négative et également lors d'humidités relatives descendant sous 40-45%, pendant plusieurs heures consécutives aux alentours du stade G1. La coïncidence de ces conditions avec la phase de pénétration du pathogène dans les feuilles bloque irrémédiablement la possible infection pour l'année en cours.

CONCLUSION

Le modèle développé dans cette étude a permis de classer différentes situations vis-à-vis de la contamination du colza par *S. sclerotiorum*. Les coefficients journaliers de température et d'humidité relative du couvert calculés par le modèle, et notamment les seuils mis en évidence permettent d'expliquer les facteurs ayant favorisé ou limité l'évolution du sclérotinia. En fonction des années et

des sites, nous avons vu que la température et/ou l'humidité relative du couvert ont joué le rôle de facteur limitant dans les cas étudiés.

Afin d'améliorer le modèle, il serait intéressant de prendre en compte des situations bloquantes, qui semblent être des températures négatives ainsi que des humidités relatives inférieures à 40-45% sur plusieurs heures aux environs du stade G1.

De plus, pour faciliter la lecture des courbes, un seul coefficient, qui prendrait en compte celui de la température et de l'humidité relative, serait avantageux.

L'application du modèle pour l'étude d'années supplémentaires reste à effectuer avant d'être en mesure de valider et généraliser les résultats.

Néanmoins, ce modèle permet d'expliquer les causes d'arrêt de progression du sclérotinia à partir de données climatiques facilement acquérables sur le terrain. Des travaux visant à relier les données météorologiques du couvert avec celles de stations situées à proximité des parcelles sont envisagés, ce qui permettrait une application du modèle moins nécessitante en matériel.

REMERCIEMENTS

Nous remercions chaleureusement les techniciens d'expérimentation des 4 stations de la zone Est de Terres Inovia et plus particulièrement Alexandre Chaillou, Sylvie Clerget, David Colin, Patrick Devaux, Guillaume Jolly et Olivier Mangenot.

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.

BIBLIOGRAPHIE

Brun H., Bautrais P., Renard M., 1983 – Importance de l'humidité relative de l'air et de la température sur la contamination du colza par *Sclerotinia sclerotiorum*. *VI Conférence internationale du colza*, 897-902.

Dupeuble F., 2008 – Le sclérotinia déroule son cycle. *Perspectives agricoles* 343 mars 2008, 14-16.

Koch S., Dunker S., Kleinhenz B., Röhrig M., Von Tiedemann A., 2007 – A Crop Loss-Related Forecasting Model for Sclerotinia Stem Rot in Winter Oilseed Rape. *Phytopathology* 97, 1186-1194.

Lamarque C., 1983 – Conditions climatiques qui favorisent le processus naturel de la contamination du colza par le *Sclerotinia sclerotiorum*. *VI Conférence internationale du colza*, 903-907.

Penaud A., Michi H., 2009 – *Coniothyrium minitans*, un agent de lutte biologique au service de la protection intégrée. *OCL* vol 16 (3), 158-163.

Penaud A., Wagner D., Makowski D. and Ruck L., 2009 – Evaluation d'un indicateur de risque en tant qu'outil d'aide à la décision d'une protection contre la sclérotiniose du colza. *AFPP – 9ème Conférence internationale sur les maladies des plantes*, 400-407.

Penaud A., Duroueix F., 2011 – Fongicides sur colza : la gamme se renforce. *Perspectives Agricoles* n°375, 56-58.