

Mise au point de la protection intégrée du colza : exemple du phoma (*Leptosphaeria maculans*)

Oléagineux, Corps Gras, Lipides. Volume 10, Numéro 3, 202-7, Mai 2003, Colza : enjeux et nouvelles synergies de la recherche, RECHERCHE

Auteur(s) : Jean-Noël AUBERTOT, Raymond REAU, Florent DUPEUBLE, Stéphane GRIPPON, Annette PENAUD, Xavier PINOCHET, Marie TAVERNE, CETIOM (Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains) BP 4, 78850 Thiverval-Grignon. UMR d'Agronomie INRA\INA P-G, BP 1, 78850 Thiverval-Grignon.

Résumé : En France, le phoma est considéré comme la maladie la plus préoccupante du colza. Il n'existe aucune méthode de lutte à la fois efficace, rentable et respectueuse de l'environnement. Il apparaît donc nécessaire de développer la lutte intégrée de la culture contre cette maladie. Cette communication présente les résultats d'un programme de recherche visant à analyser et à modéliser les effets des systèmes de culture sur le développement de la maladie. Des pistes concrètes pour la mise en œuvre de la lutte intégrée contre le phoma sont proposées.

Mots-clés : phoma, *Leptosphaeria maculans*, colza, Brassica napus, lutte culturale, protection intégrée, expérimentation, diagnostic, modèle.

ARTICLE

Auteur(s) : Jean-Noël AUBERTOT², Raymond REAU¹, Florent DUPEUBLE¹, Stéphane GRIPPON¹, Annette PENAUD¹, Xavier PINOCHET¹, Marie TAVERNE¹

¹ CETIOM (Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains) BP 4, 78850 Thiverval-Grignon.

² UMR d'Agronomie INRA/INA P-G, BP 1, 78850 Thiverval-Grignon

En France, le phoma est actuellement considéré comme la maladie la plus préoccupante du colza. Cette maladie est en effet présente dans toutes les zones de production. On estime que la perte moyenne de rendement due au phoma serait comprise entre 5 et 20 % de la production nationale selon l'année considérée (source CETIOM).

Contre la maladie, différents moyens de contrôle existent. Mais il est aujourd'hui impossible de baser la protection du colza sur un seul moyen de lutte. En effet, parmi les variétés très peu sensibles actuelles, certaines ont des résistances spécifiques qui peuvent être rapidement contournées. Et les fongicides ont une efficacité qui semble aléatoire.

C'est pourquoi, il est important de mettre au point des stratégies de protection intégrée du colza contre le phoma. Un programme de recherche a été mis en place sur ce sujet. Il s'articule autour de

3 axes méthodologiques complémentaires : diagnostic en parcelles agricoles, expérimentation et modélisation. L'objectif de cette communication est de faire la synthèse des principales connaissances acquises jusqu'à présent par ce programme et de proposer des pistes pour la protection intégrée de la culture contre le phoma pour quelques situations types.

Leptosphaeria maculans, le champignon responsable de la maladie, se transmet par les résidus de culture contaminés sur lesquels il produit des fructifications (périthèces) qui émettent des ascospores initiant les contaminations primaires à l'automne. Après la phase de contamination, les macules foliaires produites initient un cycle secondaire en émettant des pycniospores. Le champignon progresse ensuite dans la plante par voie systémique et colonise le collet et le bas de la tige, provoquant une nécrose susceptible d'entraîner la section de la tige et la verse de la plante [1, 2].

L'incidence du phoma dépend de l'état du colza au moment de la contamination

Une expérimentation a été mise en place en 2000/2001 à Grignon (Yvelines) afin d'analyser les effets de la date de semis, et de la disponibilité en azote à l'automne sur les attaques de phoma, en interaction avec la sensibilité variétale [3]. Les traitements analysés résultent du croisement de deux dates de semis (l'une précoce, début août ; l'autre normale, début septembre), de deux disponibilités en azote à l'automne (aucun apport à l'automne ou 250 kg/ha apportés en 3 fois) et de deux variétés (Bristol, sensible et Pollen, très peu sensible). Le dispositif utilisé est un split-split plot avec 3 répétitions. La gravité de la maladie est caractérisée par l'observation des nécroses au collet. Ces observations sont synthétisées par un indice, appelé « note G_2 », variant de 0 pour une culture exempte de nécrose, à 9 pour une culture versée à cause du colza. La maladie est caractérisée également à l'automne par une estimation du taux de plantes avec au moins une macule, que l'on appelle « incidence ».

Ce sont dans les situations pour lesquelles le peuplement se trouvait à un stade de développement peu avancé (2 feuilles) au moment des premières contaminations que les nécroses au collet sont les plus graves (*figure 1*). Lorsque les contaminations ont eu lieu à un stade de développement plus avancé (7-8 feuilles), les nécroses au collet étaient moins développées pour tous les traitements. Ces observations sont cohérentes avec d'autres résultats de la bibliographie qui indiquent que plus l'inoculation a lieu tardivement et moins les nécroses au collet sont sévères [4, 5]. L'analyse des résultats des taux de plantes avec macules à l'automne indique aussi que plus la contamination est précoce par rapport au développement phénologique de la culture, plus l'incidence du phoma est élevée ; et que de plus pour un stade du colza au moment de la contamination donné, l'incidence du phoma s'accroît avec la biomasse par plante du colza.

Ce comportement est observable également sur les données issues d'une enquête en parcelles agricoles réalisée dans la région Centre en 2000/2001 sur près d'une centaine de parcelles (*figure 2*). L'évolution du cycle du phoma (macules à l'automne et nécroses avant la maturité stade « premières siliques bosselées ») a été suivie de manière à mettre en relation une large gamme de conditions pédo-climatiques et de systèmes de culture, les états du peuplement générés, et les niveaux d'attaque de la maladie. Ce diagnostic a permis de confirmer que l'incidence du phoma dépendait de l'état de croissance à l'automne. Ce sont pour les peuplements à faible biomasse par plante en sortie d'hiver que les incidences minimum observées sont les plus faibles, pour les trois classes de croissance au moment de l'observation des macules. Pour des biomasses fraîches par plante

supérieures à 70 g, l'incidence observée à l'automne n'est jamais inférieure à 80 %. Ce résultat pourrait résulter d'au moins deux processus ; l'un physique, l'autre biochimique. Tout d'abord, une plante ayant une plus forte biomasse à l'automne, et donc une surface foliaire plus développée, a une probabilité plus grande d'être mise en contact avec une spore qu'une plante ayant une biomasse plus faible. Ensuite, la probabilité de germination des spores pourrait être supérieure dans le cas des plantes à plus forte biomasse à cause d'une composition biochimique des tissus plus favorable au développement du pathogène (par exemple, les fortes biomasses par plante correspondent régulièrement à des plantes riches en azote, ce qui serait favorable au développement du champignon dans le colza). Ces deux dispositifs confirment ainsi que l'incidence du phoma à l'automne dépend de deux variables d'état du colza : son stade de développement (stade phénologique), mais aussi l'état de croissance de ses feuilles au moment de la contamination.

La gravité des nécroses dépend de l'incidence à l'automne, en interaction avec les états de croissance du colza, du collet et du bas de la tige en hiver

Ces dispositifs indiquent également que la gravité du phoma à maturité est liée à l'incidence du phoma à l'automne. Plus l'incidence est élevée, plus la note G₂ des nécroses est élevée (*figure 3*). Cette figure suggère l'existence d'une courbe enveloppe maximale entre l'incidence observée à l'automne et la gravité de la nécrose observée après floraison, valable pour ces deux variétés. Les notes G₂ restent peu élevées quand l'incidence du phoma est inférieure à 60 % des plantes avec macules. Ces notes sont plus élevées et plus variables au-delà, on note en particulier une interaction avec la biomasse en sortie d'hiver : les notes au dessus de 4 ont été obtenues exclusivement avec des biomasses fraîches de plus de 1,2 kg/m².

La *figure 4* obtenue avec les observations du suivi de parcelle confirme l'existence d'une courbe enveloppe maximale entre l'incidence observée à l'automne et la gravité de la nécrose observée après floraison pour une variété donnée. De plus, elle montre que cette courbe potentielle peut varier fortement avec la variété ; la pente pour Capitol est plus forte que celles des 3 autres variétés. Une analyse approfondie des données de la variété Pollen indique également que les notes G₂ les plus graves correspondent à de fortes biomasses en hiver, mais aussi à des colzas où des élongations de tiges ont été observées en hiver (plus de 2,9 cm).

Ce comportement de Pollen est valable pour des diamètres au collet de plus de 8 mm. Par ailleurs, on observe exceptionnellement une note G₂ très élevée dans une parcelle où l'incidence du phoma à l'automne a été faible : celle-ci a la particularité d'avoir des collets de faible diamètre moyen (5 mm). Cela suggère que le diamètre au collet serait un facteur de risque à prendre en compte. Les contaminations des plantes ayant de petits diamètres au collet se traduiraient par des nécroses plus graves.

Ces deux dispositifs confirment que la note G₂ potentielle dépend de l'incidence du phoma à l'automne pour une variété donnée, pour des collets dont le diamètre est suffisant (plus de 8 mm). Ce sont la biomasse et les phénomènes d'élongation qui seraient à l'origine de la variabilité des notes G₂ dans le cas des fortes incidences du phoma à l'automne. Tout se passe comme si les fortes croissances à l'automne entraînaient des phénomènes d'élongation du bas de la tige, qui rendraient ces tiges plus sensibles aux contaminations secondaires pendant l'hiver, ce qui conduirait à des nécroses plus graves.

Les fongicides peuvent être efficaces pour limiter les nécroses

Des fongicides à base de triazole et de carbendazime sont testés pour lutter contre les contaminations de phoma. Cependant, la rémanence de ces matières actives qui est de l'ordre de 2 à 3 semaines, est parfois insuffisante notamment lorsque le stade du colza est peu avancé au moment de la contamination. Cela rend la lutte chimique basée sur une application aléatoire en terme d'efficacité (*figure 5*). L'efficacité de ce traitement fongicide serait-elle plus régulièrement efficace dans les parcelles où la levée est précoce et la biomasse en hiver est élevée ?

A cause de cette difficulté à maîtriser la lutte fongicide contre le phoma, associée à la demande sociale pour une réduction de l'usage des produits phytosanitaires, la maîtrise du phoma du colza ne peut pas se baser uniquement sur la lutte chimique.

Un modèle pour représenter les relations entre l'état du colza et le phoma et concevoir cette protection intégrée

Sur la base des connaissances ci-dessus, un modèle synthétisant l'ensemble des connaissances acquises ou disponibles dans la bibliographie est en cours de développement. Son schéma conceptuel est présenté *figure 6*. Les variables de sortie prévues par le modèle sont la distribution des nécroses et les pertes de rendement engendrées. Les variables d'entrée ont été regroupées en trois grandes catégories : variable décrivant l'inoculum primaire (concentration atmosphérique en ascospores), le climat (température, pluviométrie, durée d'humectation) et les techniques culturales (date et densité de semis, disponibilité en azote dépendante de l'historique de la parcelle et des épandages, et choix variétal).

La pollution primaire (mise en contact des ascospores et du peuplement) dépend de la concentration atmosphérique en ascospores, et de l'importance des surfaces réceptrices. Les techniques culturales (date et densité de semis, disponibilité en azote du sol) et le climat « pilotent » les stades de développement qui influencent la taille des surfaces réceptrices. Les spores arrivant sur une plante ont une probabilité de la contaminer qui dépend des conditions de température et d'humidité, du stade phénologique de la plante, de la sensibilité variétale et du niveau de protection lié à l'application d'un traitement fongicide.

La contamination a deux conséquences : l'apparition d'un cycle secondaire via les pycniospores et le développement de la nécrose au collet qui dépend du stade phénologique au moment de la contamination, et de la sensibilité variétale. De plus, le passage de la phase de contamination à la nécrose dépend également de la biomasse en hiver, et de l'état de la tige et du collet (diamètre, biomasse, élongation). La pollution de l'inoculum secondaire a lieu lors des séquences pluvieuses (les pycniospores sont dispersées par « splashing » lors des pluies). Les pertes de rendement sont estimées grâce à une fonction de nuisibilité reliant gravité des nécroses et pertes à la récolte. Une fois développé et évalué, ce modèle constituera le module « phoma » d'un modèle de culture plus global utilisé pour la mise au point d'itinéraires techniques intégrés pour le colza.

Des techniques culturales efficaces contre le phoma

D'après les résultats ci-dessus, différentes techniques culturales sont envisageables pour réduire les risques de pertes graves par le phoma. Suivant les cas, il s'agit soit d'amélioration de la conduite du colza, soit de gestion de l'interculture avant le colza, soit d'organisation de l'assolement.

Dans l'assolement

- Un premier moyen de lutte consiste à réduire la production d'inoculum primaire, et en particulier celle qui est issue des chaumes et pailles de colza restés en place depuis la récolte, afin d'éviter qu'elles soient une source d'inoculum pour les jeunes cultures de colza des parcelles voisines. Le broyage et l'enfouissement des résidus contaminés des précédents colzas semblent une solution efficace, à condition que le retournement des parcelles de colza récoltées ait été réalisé avant la levée des nouveaux colzas : par un labour dès juillet ou août, ou par un déchaumage dès la récolte (en cas de labour à partir de septembre ou en l'absence de labour). Pour espérer un effet sur la pression du phoma, ces pratiques devraient être généralisées à l'échelle de la micro-région, du fait du transport des spores sur plusieurs centaines de mètres, voire quelques kilomètres [6]. En effet, quel est l'effet des pailles laissées en surface sur quelques parcelles seulement quand elles sont mieux gérées sur le reste du secteur ? La remontée en surface des pailles mal dégradées des années précédentes ne pourrait-elle pas contribuer significativement à la pression phoma du secteur ? Les conditions pratiques de la réussite de la gestion des résidus de colza pour réduire de façon significative la production d'inoculum primaire à l'échelle d'une petite région sont encore mal connues. Des travaux de recherche sont en cours pour mieux prendre en compte le risque de production d'inoculum primaire dans les systèmes de culture comportant du colza.
- Une seconde stratégie consiste à faire durer dans le temps la résistance des variétés à bon comportement vis-à-vis du phoma. En effet, plusieurs résistances variétales au phoma actuelles sont de nature mono-génique. Or, les souches de phoma évoluent et contournent ces résistances. Une solution consiste à diversifier les variétés dans l'assolement d'une région, afin de réduire la pression de sélection sur les souches de phoma, et d'éviter le contournement des résistances disponibles. *Ce volet est développé dans l'article ci-joint de X. Pinochet et al.*

Dans l'interculture

- Les fortes croissances à l'automne constituent un facteur aggravant pour la contamination et les dégâts de phoma. Elles proviennent principalement de fortes disponibilités en azote dans le sol, issues notamment de la fertilisation organique réalisée entre le blé et le colza. Gérer les apports de matière organique pour ne pas dépasser 100 unités disponibles à l'automne, et exclure les apports d'azote minéral à l'automne limiterait l'incidence de la maladie à l'automne. Il reste à établir dans quelles conditions ces améliorations de la gestion de l'azote sont envisageables et faisables dans les exploitations.
- En situation de non labour, exporter ou enfouir superficiellement les pailles de la céréale précédente réduirait la gravité de la maladie. En effet, la levée du colza au milieu d'un mulch de paille provoque une élongation de l'hypocotyle, une réduction de son diamètre et des nécroses plus graves.

Dans la culture du colza

Plusieurs techniques culturales du colza interagissent avec le développement épidémiologique du phoma. Certaines sont largement connues, d'autres méritent encore d'être évaluées.

- Choisir une variété tolérante au phoma est une solution efficace pour réduire les contaminations et les dégâts de phoma, tant que les gènes de résistance ne sont pas contournés.
- Semer le colza à une date moins précoce, est une solution pour éviter de très fortes croissances automnales et les élongations dans les sols profonds et riches en azote des régions au climat doux, ce qui est défavorable au phoma. Seulement ces levées moins précoces accroissent les risques de coïncidence entre les projections de spores et un stade sensible, ce qui est favorable au phoma. C'est pourquoi cette tactique de déplacement des dates de semis pour les sols riches en azote mérite une évaluation globale et approfondie avant d'être proposée dans la pratique.
- Réduire la densité de semis peut conduire à des diamètres au collet plus élevés et contribuer à réduire les risques d'élongation. Des observations révèlent que pour une même quantité de macules, les notes G₂ seraient moins graves en cas de faible densité de peuplement (diamètre des tiges plus important, tiges moins fragiles).
- Utiliser un fongicide peut s'avérer pertinent dans certaines situations notamment. Des efficacités intéressantes ont été notées sur de gros colzas (cf. *figure 5* : variété Madrigal) avec une application unique sur avertissement basé sur un suivi épidémiologique régional de la maladie. Par ailleurs, le fractionnement de la dose homologuée en deux demi-doses (une sur avertissement, puis une 2 à 3 semaines plus tard) permettrait peut-être de mieux contrôler la maladie sur la durée. A ce sujet, nous disposons aujourd'hui de peu de références ; des essais en place cette année devraient fournir des éléments de réponse.

Mise au point de la protection intégrée : adapter les conduites du colza pour contrôler le phoma

Parmi ces techniques de lutte contre le phoma, aucune n'est aujourd'hui en mesure de résoudre seule de façon durable le problème du phoma, tel qu'il se pose dans les champs de colza. C'est pourquoi, à court et moyen terme, il est nécessaire de combiner entre elles ces techniques en s'adaptant aux différentes situations rencontrées dans le cadre d'une protection intégrée. Le choix proposé ici pour le phoma consiste à privilégier les méthodes préventives de lutte les plus efficaces contre les dégâts du phoma comme pour la durabilité des gènes de résistance disponibles. Ensuite, il s'agit de considérer la lutte fongicide comme un moyen de rattrapage mis en œuvre quand le risque reste élevé malgré tout et que son efficacité est garantie, dans le cadre d'une protection raisonnée. Sur la base des connaissances rassemblées dans le schéma (*figure 6*), nous avons conçu une adaptation de la conduite du colza dans certaines situations de production du colza, dans des régions où la pression de phoma est forte. Ces conduites restent à tester à grande échelle.

- Dans les sols superficiels et « pauvres » en azote, la croissance du colza à l'automne est modérée, ce qui limite la surface capable de recevoir des spores, et qui évite les risques d'élongation. Dans cette situation, la stratégie à privilégier à l'implantation semble être celle des semis précoces, afin de réduire les risques de projections de spores pendant sa phase la plus sensible (esquive). Ensuite, de deux choses l'une : soit les projections de spores se produisent effectivement après la période de sensibilité du colza et cette lutte préventive est suffisante, soit la projection de spores a lieu pendant

la période sensible du colza (en cas de levée tardive, ou de projections précoces) ce qui peut justifier l'utilisation d'un fongicide si la variété n'est pas tolérante.

- Dans les sols profonds et « riches » en azote des régions à climat doux, la croissance des feuilles est forte et la biomasse par unité de surface est élevée. Le risque de phoma serait alors essentiellement lié à la surface foliaire par plante disponible pour recevoir les spores et à la forte biomasse qui favorise l'expression des macules en nécroses. Réduire la densité est une première piste préventive, afin de rechercher des diamètres au collet élevés. A cause des fournitures en azote du sol, on peut difficilement envisager de limiter la surface foliaire par plante à l'automne sans retarder le semis. C'est pourquoi la stratégie du semis moins précoce pour éviter forte croissance et élongation mérite une analyse plus approfondie. La protection fongicide raisonnée en fonction de la variété cultivée et de l'état du colza au moment de la projection des spores semble une solution de rattrapage essentielle dans ces situations.

Conclusion

La synthèse des connaissances aujourd'hui disponibles sur le phoma a permis de proposer des pistes pour contrôler efficacement le phoma du colza. Demain, la formalisation de ces connaissances dans des modèles et des outils devraient nous aider à préciser les stratégies de protection intégrée à proposer contre cette maladie.

D'ores et déjà, des expérimentations sont en cours pour tester des règles de décision pour la protection fongicide raisonnée et l'adaptation de la conduite du colza dans les parcelles riches en azote.

RÉFÉRENCES

1. Hall R. Epidemiology of blackleg of oilseed rape. Canadian Journal of Plant Pathology 1992 ; 14 : 46-55.
2. CETIOM, 2002. Les maladies du colza. Point technique du CETIOM 2002 : 80 p.
3. Aubertot JN, Crivineanu C, Le Floch D, Doré T. Analyse des effets de la date de semis et de la disponibilité en azote à l'automne sur le développement du phoma chez deux variétés de colza. 2^{ème} conférence internationale sur les moyens alternatifs de lutte contre les organismes nuisibles au végétaux. 4-6 mars, Lille, France 2002.
4. Brunin B, Lacoste L. Recherches sur la maladie du colza due à *Leptosphaeria maculans* (Desm.) Ces. Et de Not. II. Pouvoir pathogène des ascospores. Annales de Phytopathologie 1970 ; 3 : 477-88.
5. Alabouvette C, Brunin B, Louvet J. Recherches sur la maladie du colza due à *Leptosphaeria maculans* (Desm.) Ces. Et de Not. IV. Pouvoir infectieux des pycniospores et sensibilité variétale. Annales de Phytopathologie 1974 ; 6 : 265-75.
6. West JS, Kharbanda PD, Borbetti MJ, Fitt BDL. Epidemiology and management of *Leptosphaeria maculans* (phoma stem canker) on oilseed rape in Australia, Canada and Europe. Plant pathology 2001 ; 50 : 10-27.

Illustrations

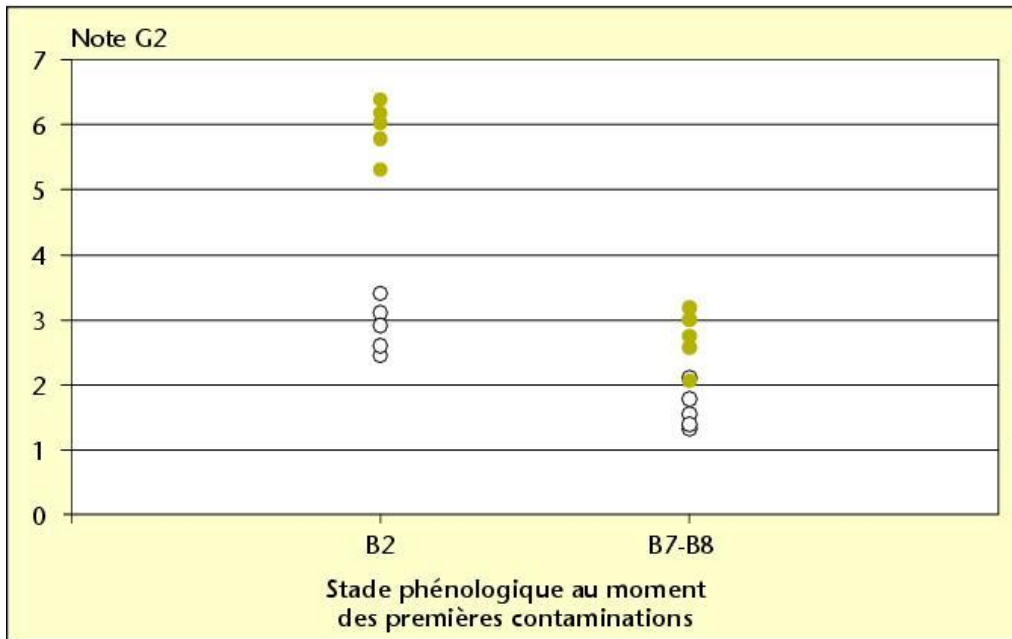


Figure 1. Note G_2 à maturité physiologique en fonction du stade phénologique du peuplement au moment des premières contaminations en ascospores de *Leptosphaeria maculans*. Les observations sont issues d'une expérimentation conduite en 2000/2001 à Grignon (Yvelines). Biomasse par plante en sortie d'hiver : < 15 g, > 35 g.

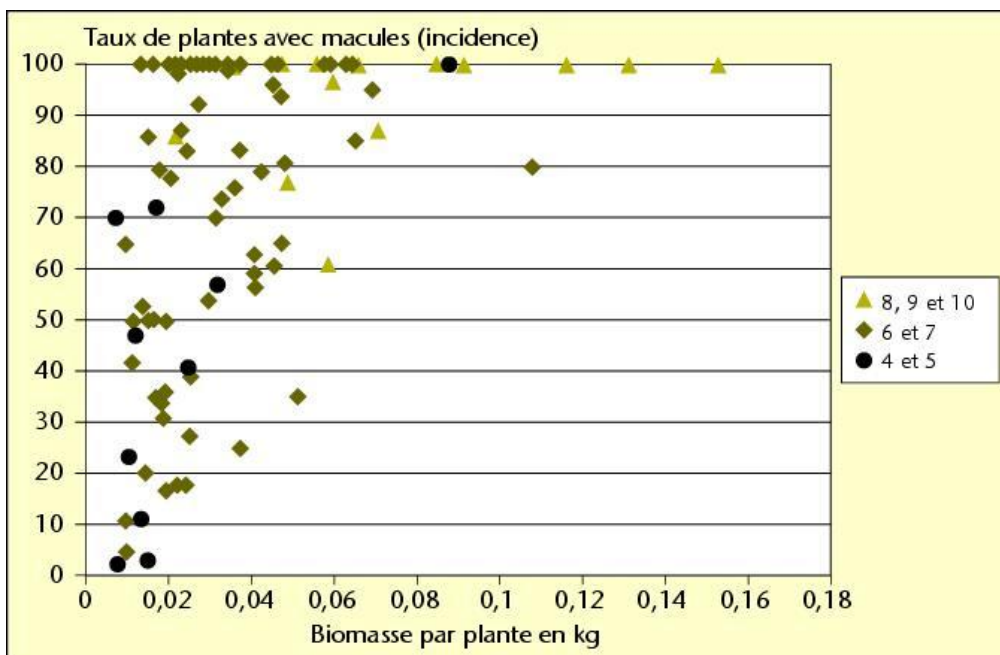


Figure 2. Taux de plantes présentant au moins une macule (incidence) en fonction de l'état de croissance du colza. Les parcelles sont réparties en 3 catégories en fonction des stades de développement du colza au moment de l'observation (4 ou 5 feuilles, 6 ou 7 feuilles, et 8, 9 ou 10 feuilles). La biomasse est mesurée en sortie d'hiver. Les observations sont issues du suivi du réseau de parcelles 200-2001 en région Centre.

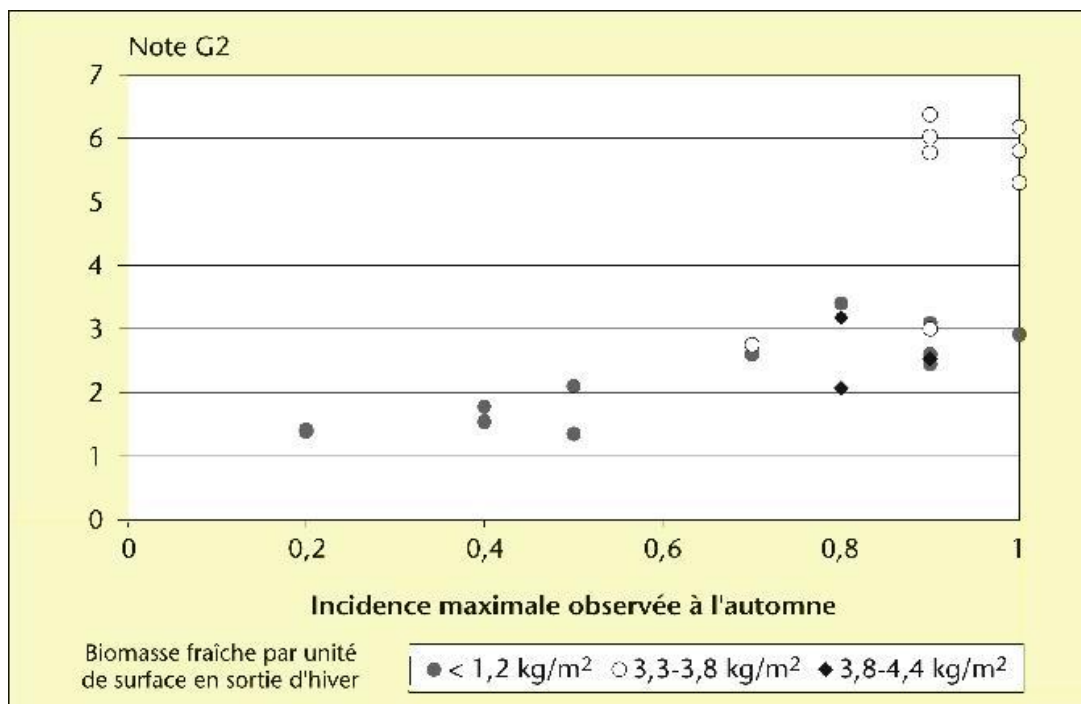


Figure 3. Gravité des nécroses observées en fonction de l'incidence maximale de la maladie à l'automne. Variétés Pollen et Bristol. Les observations sont issues de l'expérimentation de Grignon citée ci-dessus.

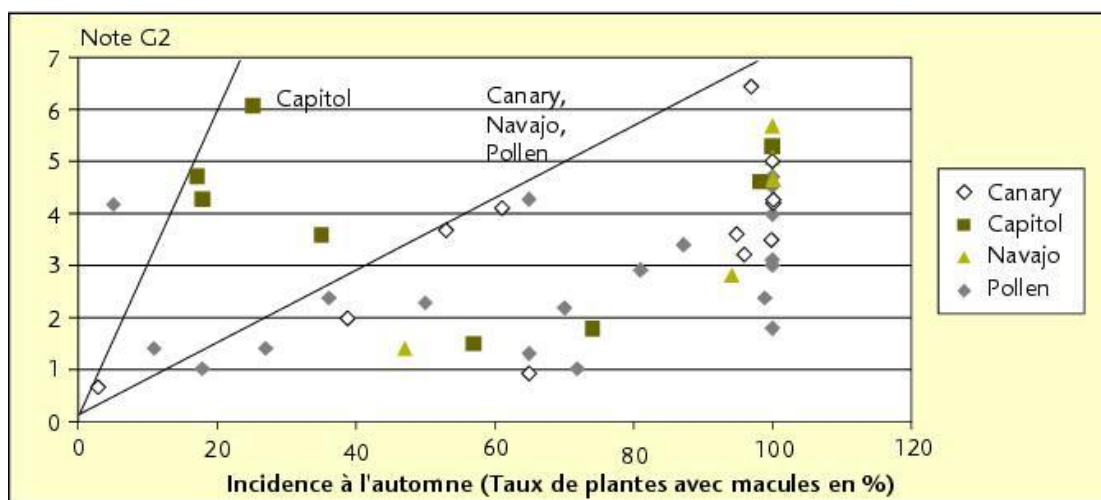


Figure 4. Gravité des nécroses observées en fonction de l'incidence de la maladie à l'automne pour 4 variétés. Les courbes représentent le potentiel maximum de note G_2 atteint par les 4 variétés sur le réseau, pour une incidence des macules donnée. Les observations sont issues du suivi de parcelles en région Centre, cité ci-dessus.

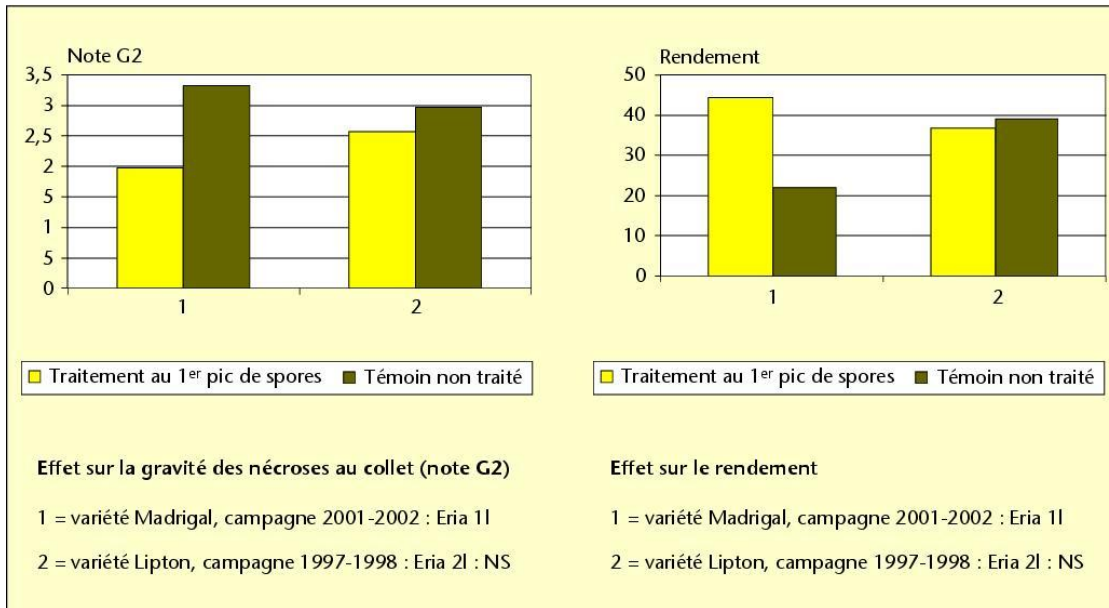


Figure 5. Exemple d'effets d'une application de fongicide au 1^{er} pic de projection des spores sur la gravité des nécroses et sur le rendement dans deux essais distincts. La variété Madrigal a été cultivée en situation de fortes fournitures en azote du sol à l'automne (croissance importante).

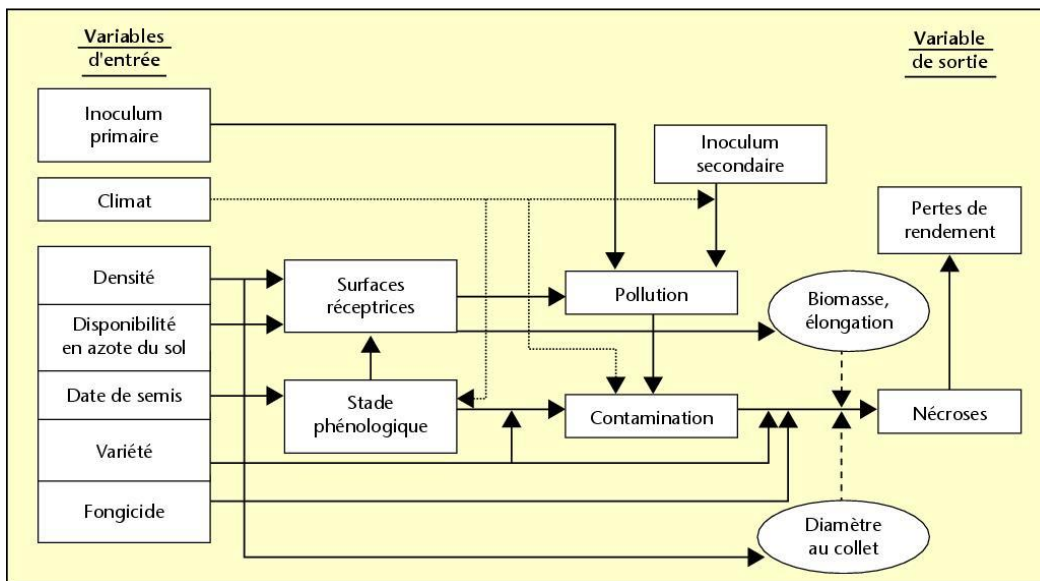


Figure 6. Schéma conceptuel du modèle représentant les effets de certains éléments de l'itinéraire technique sur le développement du phoma.