

LA HERNIE DES CRUCIFÈRES

Stratégies de lutte

Nicolas Tremblay, Ph.D, Agr., Carl Bélec, B.Sc., Hélène Laurence, B.Sc. et Odile Carisse, Ph.D. phytopathologiste.

En collaboration avec l'Association des Jardiniers Maraîchers du Québec (AJMQ) dans le cadre du Programme de partage des frais d'investissement en R&D de la Direction générale de la recherche.

La hernie des crucifères est une maladie fongique qui sévit partout dans le monde. Elle a été identifiée pour la première fois en Europe au XIII^e siècle et constitue aujourd'hui la maladie la plus importante des crucifères. Le Québec et l'Ontario sont particulièrement touchés par cette maladie en raison de l'importance des cultures auxquelles elle s'attaque.

La hernie¹ affecte surtout le brocoli, le chou chinois, le chou de Bruxelles, le chou-fleur, le chou frisé, le chou-rave, le chou vert, le navet, le radis et le rutabaga. La maladie peut également attaquer le canola, le colza et la moutarde noire. La barbarée vulgaire, le cresson d'hiver, le cresson de jardin et le raifort sont des crucifères résistants à la hernie.

D'importants efforts de recherche ont été déployés pour réprimer la maladie. Ce feuillet technique présente l'état actuel des connaissances quant aux stratégies de luttes offertes aux producteurs de crucifères canadiens qui doivent faire face à la hernie.

LA MALADIE

L'agent pathogène responsable de la hernie des crucifères est le champignon myxomycète *Plasmodiophora brassicae* (Wor.) qui vit dans le sol et qui existe en plusieurs races. Un feuillage sénescence, aux teintes jaune à vert pâle, un flétrissement et un rabougrissement de la plante sont les principaux symptômes observés sur la partie aérienne des plants infectés. Ces symptômes se manifestent surtout lors de journées chaudes. Sur les jeunes plants atteints, le feuillage peut flétrir mais il se rétablit généralement durant la nuit. **Avant l'apparition des symptômes aériens, la maladie peut déjà avoir progressé considérablement dans les racines.**

Dans le sol, les racines présentent de petits renflements qui prennent rapidement de l'expansion (Photo 1). À mesure que la maladie progresse, les racines hypertrophiées de couleur blanche sont envahies par des organismes secondaires. Les renflements deviennent noirs, de la pourriture se développe pouvant éventuellement causer la mort de la plante. C'est alors qu'une libération d'inoculum se produit dans le sol sous forme de "spores de repos". Ces spores de repos peuvent survivre pendant plus de 18 ans dans le sol en attendant un hôte à infecter.

Le cycle vital de *P. brassicae* inclut deux générations de zoospores (Figure 1). L'évolution des

zoospores est rapide et leur cycle de développement très court.

Au printemps, en présence de racines sensibles à l'infection, les spores de repos germent et produisent des zoospores qui nagent dans l'eau libre du sol.

L'agent pathogène pénètre facilement par les poils absorbants et parfois via les blessures racinaires. Le champignon se développe dans l'organisme hôte et une deuxième génération de zoospores est relâchée. **Si les plants sont infectés seulement par la première génération de zoospores, la maladie ne se développe pas.** La deuxième génération de zoospores requiert une plus grande humidité dans le sol pour être effective.

L'infection des plants par les zoospores de la seconde génération provoque une accentuation de la division cellulaire et l'élargissement des cellules, ce qui donne lieu aux renflements observés sur les racines.

Des températures diurnes entre 19,5 et 23,5°C, une humidité du sol élevée ainsi qu'un sol acide sont des conditions qui favorisent l'infection et le développement de la maladie. Les sols au pH au-dessus de 7,2 tendent à inhiber la germination des spores mais la maladie peut quand même se développer.

Les modes de dispersion de la maladie sont nombreux. Il faut donc être vigilant pour ne pas contaminer un champ exempt de hernie. Une attention particulière doit également être portée à certaines mauvaises herbes appartenant à la famille des crucifères (moutardes) qui peuvent servir de réservoir à l'agent pathogène. De plus, d'autres mauvaises herbes peuvent aussi être attaquées par la hernie (agrostide, dactyle pelotonné, houlque laineuse, ivraie vivace, oseille, patience et pavot). L'impact que pourraient avoir ces mauvaises herbes, qui ne sont pas des crucifères, sur l'évolution du potentiel infectieux du sol est mal connu.

LES PROBLÈMES CAUSÉS PAR LA HERNIE

Tendance au flétrissement et perte de rendement

Les racines fortement déformées sont incapables d'absorber l'eau et



Photo 1 : Hernie des crucifères; racines de chou saines (A) et infectées (B)

les éléments nutritifs. Si l'apport en eau est idéal, le plant infecté parvient quand même à s'alimenter et à croître mais au prix d'un développement végétatif réduit. Lorsque la quantité d'eau est insuffisante, la croissance s'arrête. Des pertes de rendement sont encourues dans un cas comme dans l'autre.

Rotation plus longue

Lorsque le champignon pathogène est présent dans un champ, il est fortement suggéré de pratiquer des rotations les plus longues possibles soit environ 7 ans sans crucifères, incluant les mauvaises herbes et toutes autres cultures susceptibles d'être affectées par la maladie.

Plus de nettoyage

La présence de hernie dans un champ exige de consacrer des soins particuliers au nettoyage de l'équipement agricole. Les outils doivent être nettoyés après être passés dans un champ infesté afin de limiter la dispersion de la maladie.

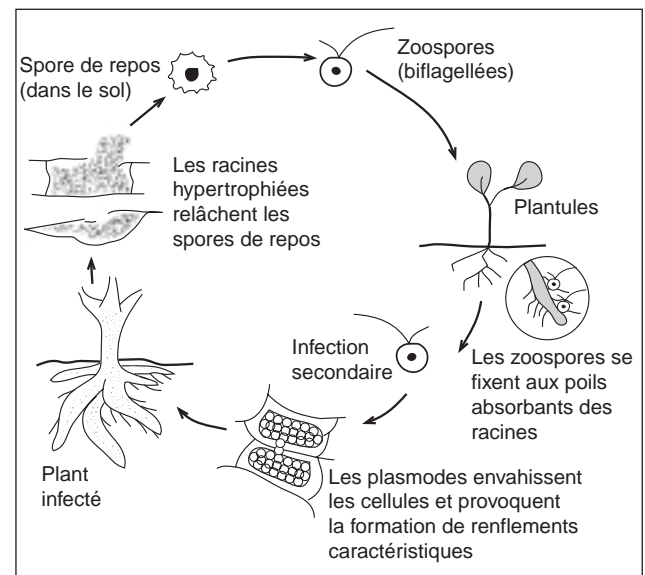


Figure 1 : Cycle vital de *Plasmodiophora brassicae*, champignon pathogène responsable de la hernie des crucifères (Source : The Ohio State University).

¹ Dans le texte, <<hernie>> abrège l'appellation officielle <<hernie des crucifères>>.

Aspect esthétique pour le marché frais

Les renflements disgracieux nuisent à la commercialisation des crucifères " racines " tels le chou-rave, le navet, le radis et le rutabaga.

LE DÉPISTAGE

La méthode la plus simple pour détecter la présence de hernie dans un champ consiste à observer les symptômes de la maladie directement sur les plants en cours de saison. Il faut toutefois faire attention de ne pas confondre la hernie avec des dommages causés par des herbicides ou avec des nodules d'hybridation visibles sur le système racinaire des cultures de canola, de navet et de rutabaga. Les nodules d'hybridation seraient d'origine génétique et n'ont rien à voir avec la présence de hernie. Contrairement aux conséquences de la hernie, les nodules d'hybridation présentent une texture uniforme et non marbrée lorsqu'on les coupe; ils ne pourrissent pas comme le font les renflements causés par la hernie.

Une seconde méthode de dépistage préventif fait l'objet de recherche. Elle consiste à estimer le potentiel infectieux d'un champ face à la hernie au moyen d'un échantillonnage du sol l'automne précédant la culture de crucifères. Une culture sensible (généralement le chou chinois) est cultivée en serre dans le sol prélevé. Après six semaines de croissance, l'importance des symptômes sur les racines est traduit en un " indice pathologique ".

LA PRÉVENTION

Si les champs ne sont pas déjà infectés par la hernie, différentes précautions peuvent être prises. " *Mieux vaut prévenir que guérir* ".

Sol bien drainé

La présence d'excès d'eau dans les champs pendant une période prolongée favorise grandement la maladie. Un sol bien drainé et pourvu d'une bonne structure s'avère essentiel au processus de prévention.

Transplants sains

Avant de mettre les plants en terre, il faut s'assurer qu'ils ont été produits dans un sol ou un terreau exempt de hernie.

Attention au transport de matériaux contaminés

Le transport de sol, d'équipements ou de végétaux provenant de champs infectés doit être évité. L'utilisation des équipements à l'intérieur de champs potentiellement infectés ou ayant été récemment utilisés pour la production de crucifères, exigent qu'ils soient bien nettoyés.

Eau d'irrigation

L'eau d'irrigation que vous utilisez ne doit pas être contaminée par le champignon de la hernie. Sournement, les eaux de ruissellement recueillies dans les bassins d'irrigation peuvent avoir été contaminées. Évitez également les eaux de lavage de légumes contaminés.

Attention à l'origine des fumiers

Le fumier appliqué aux champs ne doit pas provenir de troupeaux nourris aux déchets de légumes infectés par la hernie.

LES SOLUTIONS

Lorsque les champs sont contaminés, il est nécessaire d'agir pour éviter des pertes de rendement considérables. Il n'existe pour l'instant aucune méthode qui enrayer totalement la hernie. Les méthodes de contrôle qui suivent contribuent toutefois à atténuer les effets de la maladie.

a) Méthodes principales

Confinement

Si la hernie est présente dans un champ, il faut limiter son étendue et prévenir sa dispersion à l'aide des moyens énoncés à la section précédente sur la prévention.

Rotation

La rotation des cultures est fortement suggérée en présence de hernie. Dans la mesure du possible, aucune plante susceptible (cultures de crucifères et mauvaises herbes) ne doit occuper un champ infecté pour une période allant de cinq à sept ans. D'autres cultures peuvent être pratiquées entre-temps.

Chaulage

L'application de chaux est une méthode utilisée pour combattre la hernie depuis le début du XIX^e siècle. Il existe en effet une relation étroite entre le pH du sol et la hernie. En règle générale, un sol acide favorise le développement de la maladie.

L'application de chaux n'élimine pas le champignon responsable de la hernie mais elle crée des conditions défavorables à son développement. Afin de bénéficier des effets significatifs du chaulage, le pH du sol, extrait à l'eau, doit être progressivement augmenté et maintenu au-delà de 7,2.

Les chercheurs ne s'entendent pas quant à savoir si la répression de la hernie est causée par l'augmentation du pH ou par l'augmentation du calcium dans le sol résultant de l'application de chaux. Toutefois, selon une étude réalisée au Centre de R&D en horticulture (CRDH) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada en collaboration avec l'Association des Jardiniers Maraîchers du Québec (AJMQ), il existe peu de relation entre la teneur en calcium du sol et la présence de hernie. Par contre, l'étude confirme la relation étroite entre le pH et la hernie. La Figure 2 tirée de cette étude présente la relation entre la variation spatiale du pH dans un champ et l'indice pathologique associé à la hernie.

Dans une perspective de contrôle de la hernie, l'application de chaux doit viser à porter rapidement le pH du sol à un niveau adéquat. Dans ce contexte, des applications relativement massives de chaux peuvent être envisagées, au besoin avec des types de chaux

à réaction plus rapide que la chaux agricole. Puisque le sol a tendance à s'acidifier naturellement, les applications subséquentes doivent être réalisées chaque année, idéalement à l'automne, afin de maintenir les conditions de pH idéales. Pour les applications automnales, la chaux calcique [CaCO₃] est recommandée. Si le sol est pauvre en magnésium, l'utilisation de chaux dolomitique [CaCO₃ + MgCO₃] donne de meilleurs résultats. Il est possible d'augmenter l'efficacité du chaulage en utilisant une mouture plus fine et en s'assurant de **bien homogénéiser** la chaux dans la couche arable (Dobson et al., 1983). Ainsi, il est fortement recommandé de herser le sol avant de procéder au labour.

Si un chaulage au printemps est nécessaire, de la chaux hydratée peut être appliquée [Ca(OH)₂] un mois avant la mise en place de la culture. L'incorporation de chaux vive peut être envisagée en dernier recours (au moins une semaine avant la plantation) mais des précautions supplémentaires doivent être prises en raison de l'intensité de sa réaction (Respecter les normes provinciales en vigueur). Il existe également des produits de dépoussiérage des fours à ciment Portland qui peuvent être utilisés pour augmenter le pH du sol.

Quant à la quantité de chaux à appliquer, une recommandation générale est difficile à formuler en raison de la variation du pH dans les champs (Figure 2). De plus, le type de sol de même que son pouvoir tampon influenceront grandement l'effet de la chaux sur le pH du sol. Une application de chaux peut s'avérer suffisante voire même néfaste dans une zone à pH élevé mais insuffisante dans une zone à pH faible.

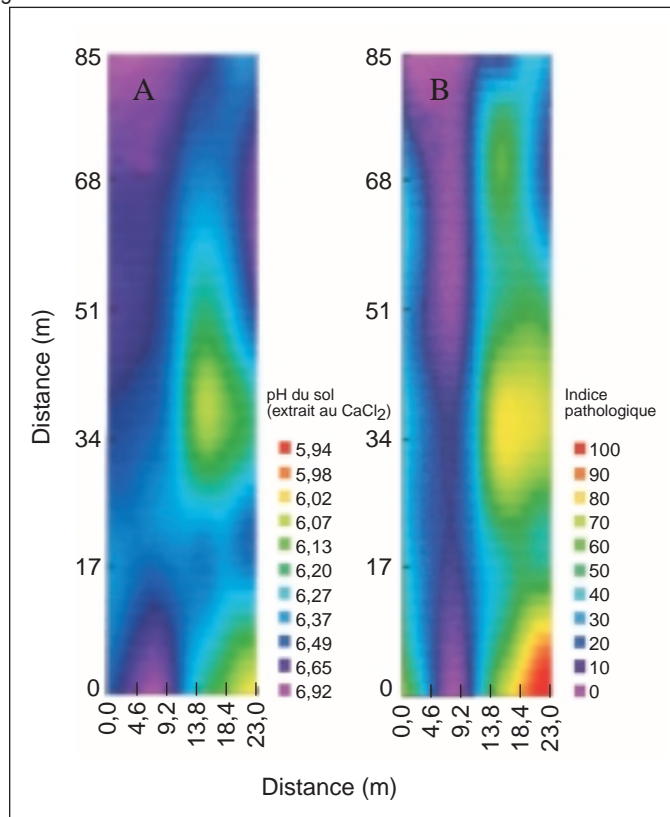


Figure 2 : Cartographie du pH (A) et de l'indice pathologique de la hernie (B) dans le même champ. Les zones de pH acides correspondent à la présence de hernie.

L'idéal est de réaliser une cartographie du pH à l'aide des technologies de " l'agriculture de précision " et de procéder à des applications de chaux à taux variables. À défaut d'une carte de pH, une localisation des zones affectées par la hernie à l'aide d'un système de positionnement global (SPG ou " GPS ") peut orienter les applications de chaux.

L'application massive ou répétée de chaux réduit la disponibilité du phosphore et d'autres éléments mineurs, entre autres le magnésium, le manganèse, le bore et le zinc et peut réduire le rendement. En effet, dans le cadre de l'expérience précitée, une baisse des rendements de choux de 7 % a été mesurée suite à l'application de 37 tonnes de chaux (équivalent CaCO_3) par hectare faite sur un loam argileux, fractionnée sur une période de 3 ans. Le pH extrait au CaCl_2 était alors passé d'une valeur moyenne de 5,41 à 6,14. Il faut donc s'assurer que les gains de rendements résultant d'un meilleur contrôle de la hernie viendront plus que compenser les risques inhérents à l'application massive de chaux.

Dans le même ordre d'idées, plusieurs études démontrent l'effet répressif du bore sur le développement de la hernie (Dixon, 1996). L'application de bore au sol pour atteindre un seuil de 2 ppm pourrait constituer un atout important dans le cadre d'un programme de lutte contre la maladie. Comme l'application de chaux est susceptible d'en diminuer la disponibilité et que les crucifères sont des cultures particulièrement exigeantes en bore, il est de toute façon prudent de prévoir un apport supplémentaire en bore dans le contexte du chaulage contre la hernie.

Fongicides

Pour combattre spécifiquement la hernie des crucifères, le quinzotozène (Terraclor) en poudre mouillable 75% est le seul produit présentement homologué au Canada. Appliqué lors de la transplantation et conformément aux directives du fabricant, ce produit peut réduire l'incidence et la sévérité de la maladie. Prière de consulter les agronomes de votre province pour les recommandations précises.

B) Autres méthodes

Plusieurs autres approches peuvent être mises à profit pour lutter contre la hernie. Ces approches ont parfois livré des résultats contradictoires et sont parfois encore l'objet de recherches. La plupart de ces alternatives sont présentées dans la liste qui suit:

Favoriser la santé générale de la culture

À l'exception des légumes racines, une bonne régie de production, soutenue par une irrigation et une fertilisation adéquates, est susceptible d'atténuer les effets de la maladie sur les rendements commercialisables.

Fumigation

La fumigation du sol peut faire partie d'un programme de lutte contre la hernie. Ce traitement est particulièrement recommandé en cas de doutes sur l'état sanitaire du sol utilisé pour la production de transplants en pépinière. Pour réduire les coûts dans les champs commerciaux, une application localisée de fumigants est envisageable. Les fumigants présentement disponibles, et les moins dommageables pour la

couche d'ozone, sont le métham-sodium, le métham-potassium et l'isothiocyanate méthylique. Prière de consulter les agronomes de votre province pour les recommandations précises et de lire les directives du fabricant avant l'utilisation.

Cultivars résistants

Une des façons de lutter contre la hernie serait l'utilisation de cultivars résistants. Malheureusement, ces cultivars sont rares et, en plus de n'être résistants qu'à certaines races du pathogène, ils ne répondent pas complètement aux normes du marché. Informez-vous auprès de votre ministère provincial de l'agriculture et de votre grainetier pour en connaître la liste.

Engrais verts

Selon certaines sources, l'enfouissement d'engrais verts, dont le seigle en particulier, inhiberait le développement de la hernie. Malheureusement, des essais conduits en ce sens au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) ainsi que par le CRDH en collaboration avec l'AJMQ n'ont pas permis de confirmer ces informations. Toutefois, l'utilisation d'engrais verts demeure une pratique recommandable au plan agronomique.

Les surfactants

L'utilisation d'un surfactant particulier a également fait l'objet d'expérimentations conduites par le CRDH en collaboration avec le Centre de recherches de l'Atlantique sur les aliments et l'horticulture et l'AJMQ. L'application du surfactant lors de la transplantation suivi d'une seconde application deux semaines plus tard a démontré une certaine efficacité. Le produit en question n'est toutefois **pas homologué pour cet usage au Canada**.

Source d'azote

L'usage de nitrate de calcium [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$] comme source d'azote est souhaitable étant donné ses propriétés alcalinisantes (Dobson et al., 1983). Cet engrais est par contre relativement cher et facilement lessivable. Une autre source d'azote aux propriétés herbicides et fongicides, le cyanamide de calcium (20% N), a montré un bon potentiel pour la répression de la maladie (Klasse, 1996) à condition que l'application soit faite une semaine avant la plantation, que l'engrais soit très bien homogénéisé dans le sol et qu'une irrigation soit prévue (s'il n'y a pas de précipitation) pour activer le produit. Le taux d'application recommandé correspondrait aux besoins en azote de la culture. Prière de consulter les agronomes de votre province pour les recommandations précises.

Cultures appâts

La culture d'une plante sensible à la hernie comme le canola ou la moutarde pendant quatre à cinq semaines en début de saison incitera les spores de repos du champignon à produire des zoospores qui nageront dans l'eau libre du sol pour aller pénétrer les poils absorbants des plantes. Si la culture appât est récoltée ou enfouie à ce moment, la première génération de zoospores n'a pas le temps de compléter son cycle et la maladie ne se développera pas sur la culture principale qui suivra. Selon Harling et Kennedy (1991), cette méthode donne de bons

résultats si l'infection n'est pas trop sévère et si elle est combinée à l'application de chaux. Cette pratique ne se prête toutefois qu'aux plantations tardives.

EN RÉSUMÉ

Pour atténuer les effets de la hernie sur les rendements, il est nécessaire de :

- Pratiquer la rotation des cultures;
- Appliquer et incorporer soigneusement la chaux pour augmenter et maintenir le pH_{eau} du sol à un seuil de 7,2;
- Prévenir la dispersion en limitant les déplacements de la maladie avec l'eau, le sol et l'équipement;
- Assurer un bon drainage du sol et éviter la présence de zones saturées en eau dans le champs;
- Utiliser des transplants sains; ne pas hésiter à fumiger le terreau ou le sol au préalable s'il y a des doutes sur leur état sanitaire;
- Selon les recommandations du ministère de votre province, intégrer une solution de quinzotozène dans l'eau de transplantation dans un champ à risques;
- Favoriser la santé de la culture par une irrigation et une fertilisation adéquates;
- Utiliser des cultivars résistants s'ils sont disponibles;
- Éliminer les mauvaises herbes susceptibles d'incuber la maladie.

Quelques suggestions d'ade sites internet :

<http://www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/hygfact/3000/3118.html>
<http://ppathw3.cals.cornell.edu/DiagLab/CLUBROOT.HTM>
<http://pmo.umext.maine.edu/factsht/clubroot.htm>
<http://www.ipm.ucdavis.edu/PMG/r108100111.htm>

Références

Dixon, G.R. 1996. Repression of the morphogenesis of *Plasmodiophora Brassicae* Wor. by boron - A review. *Acta Hort.* 407: 393-401.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Mme Danielle Roy, agr., M. Paul Hildebrand et M. Jean Coulombe, agr., pour leur aide lors de la rédaction de ce bulletin ainsi que l'Université de l'Ohio pour nous avoir accordé la permission d'utiliser leur cycle vital.

COMMANDE POSTALE

Ce feuillet technique est disponible gratuitement à l'adresse suivante :
Demande de publications
Centre de R&D en horticulture
430, boul. Gouin
Saint-Jean-sur-Richelieu, QC
CANADA J3B 3E6

- Dobson, R. L., R. L. Gabrielson, et al. 1983. Effects of Lime Particle Size and Distribution and Fertilizer Formulation on Clubroot Disease caused by *Plasmodiophora brassicae*. *Plant Disease* 67(1): 50-52.
- Harling, R. and S. H. Kennedy. 1991. Biological control of *Plasmodiophora brassicae* using a bait crop. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent*. 56(2a) : 159-170.
- Klasse, H.J. 1996. Calcium Cyanamide - An effective tool to control clubroot - A review. *Acta Hort.* 407: 403-409.