

Références

- Coulombe, J., Lamy, P., Bélec, C. et Tremblay N., 2001 et 2002. Rapports progrès des saisons 2000 et 2001 dans le cadre du projet « Développement de méthodes de lutte intégrée contre la hernie des crucifères », CDAQ, 61 p. et 54 p.
- Coulombe, J., Lamy, P., Bélec, C., Tétreault et Tremblay, N., 2003. Rapport final dans le cadre du projet « Développement de méthodes de lutte intégrée contre la hernie des crucifères », CDAQ, 65 p.
- Dobson, R. L., Gabrielson, R. L., Baker, A.S. et Bennet, L., 1983. Effects of lime particle size and distribution and fertilizer formulation on clubroot disease caused by *Plasmodiophora brassicae*. Plant Disease 67(1) : 50-52.
- Donald, E. C., Porter, I. J., Faggian, R. et Lancaster, R., 1997. Towards integrated control of clubroot, I. Field evaluation of treatments for clubroot control. Proc. 11th Austr. Plant Path. Soc. Conference 38.
- Klasse, H. J., 1996. Calcium Cyanamide – An effective tool to control clubroot – A review. Acta Horticulturae 407 : 403-409.
- Myers, D. F. et Campbell, R. N., 1985. Lime and the control of clubroot of crucifers : effects of pH, magnesium, and their interactions. Phytopathology 75 (6) : 670-673.
- Osawa, S., Iwama, H. et Kubota, T., 1994. Effect of soil aeration on the occurrence of clubroot disease of crucifers. Soil Sci. Plant Nutr. 40 (3) : 445-455.
- Robak, J., 1994. Crop rotation effect on clubroot disease decrease. Acta Horticulturae 371 : 223-226.
- Tremblay, N., Bélec, C., Laurence, H. et Carisse, O., 1999. La hernie des crucifères – stratégies de lutte (feuillet technique). CRDH/AAC. 4 p. http://res2.agr.ca/stjean/publication/bulletin/plasmodiophora_brassicae_f.pdf
- Webster, M. A. et Dixon, G. R., 1991. Calcium, pH and inoculum concentration influencing colonization by *Plasmodiophora brassicae*. Mycol. Res. 95 (1) : 64-74.

Réalisation

Fédération des producteurs maraîchers du Québec

Limite de responsabilité

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans cette brochure émanent des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

Le contenu de cette brochure est présenté à titre de renseignement et n'engage aucunement les auteurs.

Texte et photos

Jean Coulombe, M. Sc., agronome, 1551 Chemin Royal, Saint-Laurent, Île d'Orléans (Québec) G0A 3Z0

Carl Bélec, B. Sc. A, CRDH, Agriculture et Agroalimentaire Canada,
430 boul. Gouin, Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec) J3B 3E6

Nicolas Tremblay, Ph. D., agronome, CRDH, Agriculture et Agroalimentaire Canada,
430 boul. Gouin, Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec) J3B 3E6

Financement de la présente publication

Cette publication a été réalisée grâce à l'aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et l'Alimentation du Québec et du Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec.

Graphisme

André Cordeau acordeau@caractera.com

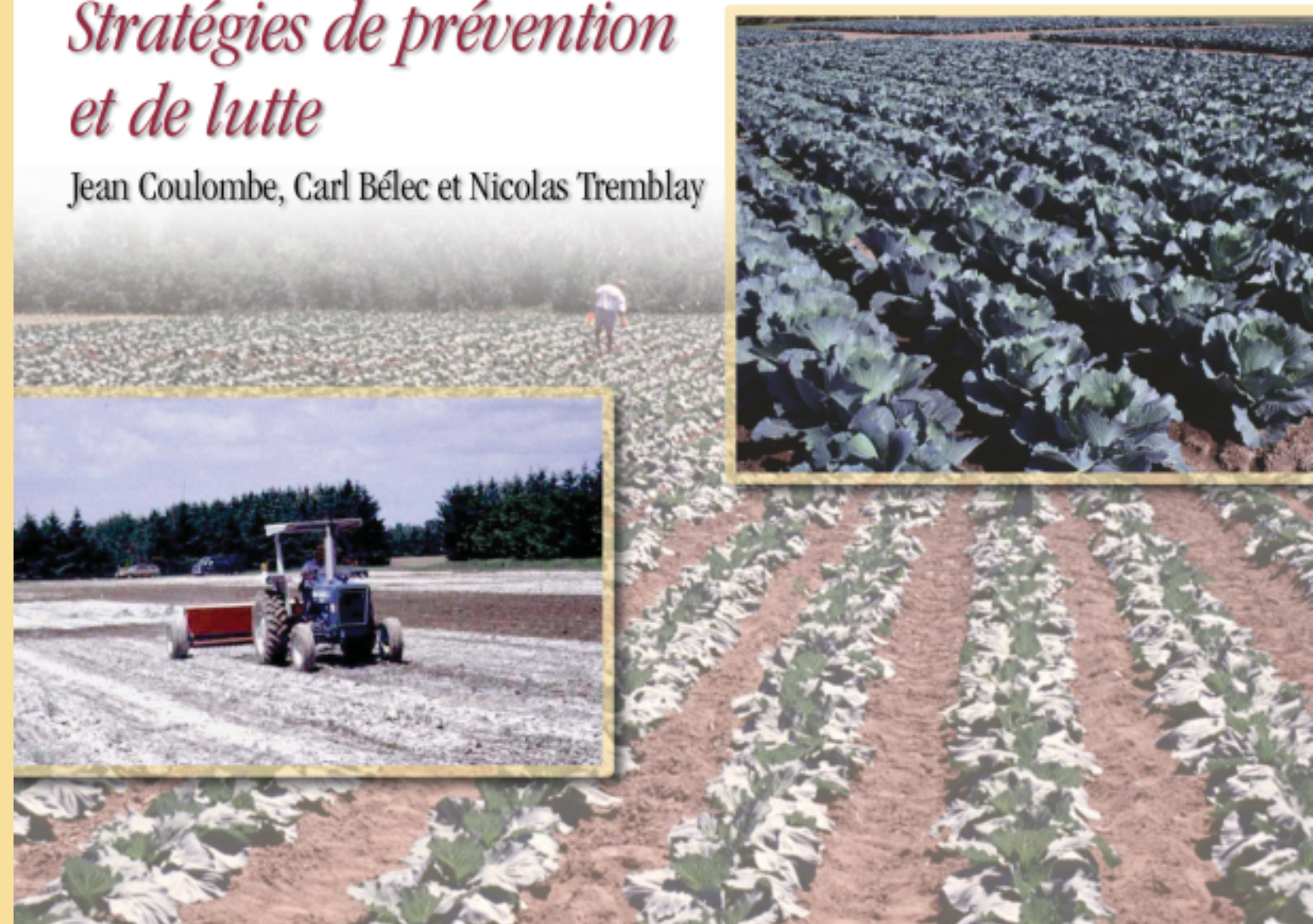
Isabelle Le May isa@lvlcommunications.com



La hernie des crucifères en sols minéraux

Stratégies de prévention et de lutte

Jean Coulombe, Carl Bélec et Nicolas Tremblay



La brochure présente l'état actuel des connaissances quant aux **stratégies de prévention et de lutte contre la hernie des crucifères en sols minéraux**. Les approches mentionnées sont le fruit d'un examen approfondi de la documentation et traduisent trois années d'essais au champ. Les essais ont été réalisés, en sols minéraux, dans des cultures maraîchères en divers sites du Québec. Une grande variété de produits ont été évalués : cyanamide de calcium, fongicides, bore, chaulants, etc.

Ont financé les essais : le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec, les producteurs de crucifères québécois participants, Agriculture et Agroalimentaire Canada, SynAgri, Agro-100, l'Association des fabricants de chaux du Québec et la Coopérative fédérée de Québec.

La maladie



La hernie des crucifères est une maladie fongique. Son agent pathogène, *Plasmodiophora brassicae* (Wor.), est un champignon myxomycète qui présente plusieurs races. Vivant dans le sol, il entraîne des symptômes visibles sur la partie aérienne de la plante :

- sénescence du feuillage qui se colore de jaune à vert pâle,
- flétrissement,
- rabougrissement des plants infectés.

Avant même leur apparition, la maladie peut avoir progressé considérablement dans les racines. Par ailleurs, le mauvais drainage favorise le développement de la maladie. Voir figures 1 et 2.



Figure 1 : Symptômes de la hernie en champ.

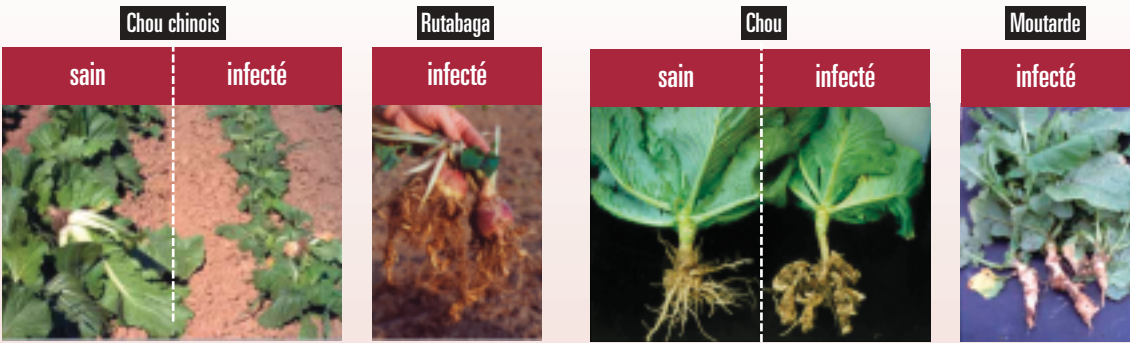


Figure 2 : Symptômes de la hernie pour différentes cultures.

La prévention



Pour réduire les risques de dissémination de la maladie, il convient de prendre les mesures préventives suivantes :

- **Rotation des cultures.** Pratiquer une rotation d'au moins 4 ou 5 ans (avec 3 ou 4 ans sans crucifères). Dans les cas où la hernie a été constatée lors de la dernière culture de crucifères, si cela est possible, il est conseillé de faire de longues rotations d'au moins 7 ans sans crucifères.
- **Lutte contre les mauvaises herbes.** Détruire les mauvaises herbes appartenant à la famille des crucifères (bourse à pasteur, moutarde, radis sauvage, tabouret des champs...) non seulement dans la culture de crucifères mais aussi dans les cultures de rotation (figure 3).
- **Drainage du sol.** Améliorer le drainage souterrain et utiliser, à la suite de fortes pluies, toute technique favorisant le drainage rapide de l'eau de surface.
- **Prévention de la contamination du sol.** Utiliser des transplants sains et prévenir le déplacement de sol et/ou d'eau contaminés d'un champ à l'autre. Commencer les travaux dans des champs non contaminés, et nettoyer le matériel et l'outillage utilisés dans des champs contaminés. Ne pas appliquer de fumier provenant d'animaux nourris aux déchets de légumes infectés par la hernie.



Figure 3 : Mauvaises herbes appartenant à la famille des crucifères.
Source : Bouchard, C. J. et Neron, R. , 1998. Guide d'identification des mauvaises herbes du Québec. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.



Les moyens de lutte

À RETENIR

Aucun moyen de lutte connu n'enraye totalement la maladie. Toutefois, ceux qui suivent contribuent à en atténuer les effets. Par contre, il est à noter, que dans le cas du rutabaga, la tolérance est pratiquement nulle envers la hernie.

Lorsque la durée de rotation est réduite à 2 ou 3 ans, ces moyens de lutte sont aussi à conseiller pour prévenir la contamination des champs. L'augmentation du pH_{sol} constitue le moyen le plus efficace et le plus stable sous nos conditions de culture des crucifères.

« Mieux vaut prévenir que guérir »

De plus, l'action combinée des moyens de prévention et de lutte se révèle en tout temps une combinaison gagnante.

Lutte par amendement calcaire

Relation entre le pH_{eau} du sol et la hernie

Un sol acide favorise l'infection et le développement de la maladie. Un pH_{eau} supérieur à 7,2 tend à inhiber la germination des spores, mais la maladie peut quand même se développer.

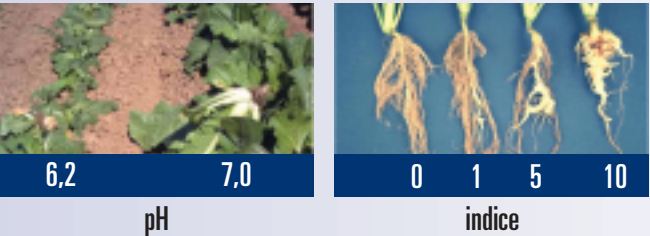
Selon des études réalisées au Québec, il existe peu de relation entre la teneur en calcium du sol et la présence de la hernie. Par contre, on observe un lien étroit entre le pH_{eau} du sol et la présence de la hernie. Le **tableau 1** illustre la relation entre le pH_{eau} du sol et l'indice pathologique associé au niveau de développement de la hernie. Les résultats des essais, conduits au Québec, indiquent que certaines précautions doivent être prises afin que les applications d'amendement calcaire pour l'augmentation du pH_{eau} du sol soient efficaces pour lutter contre la hernie.

Tableau 1 : Effet du pH_{eau} du sol sur l'incidence de la hernie.

pH _{eau}	Indice pathologique de la hernie (0-10)*					
	Île d'Orléans	Saint-Esprit (Lanaudière)	Saint-Augustin-de-Mirabel	L'Assomption	Saint-Michel-de-Napierville	Saint-Lin (Lanaudière)
>7,4	—	2,65	4,44	0,31	1,35	—
7,2-7,4	3,10	4,25	4,81	3,43	1,79	—
7,0-7,2	5,26	5,13	6,17	2,73	3,38	5,88
6,8-7,0	4,37	—	9,25	3,26	4,70	6,38
6,6-6,8	—	9,50	7,50	7,51	4,45	7,25
<6,6	9,17	9,25	7,38	6,85	7,30	9,08

Impact sur le rendement (à l'exception du rutabaga) : Faible Moyen Élevé

* 0 = aucune incidence; 10 = fortement infecté par la hernie



Ainsi, **la démarche suivante en 5 étapes** doit être rigoureusement suivie pour une lutte au moyen d'un amendement calcaire.

1 Augmenter et uniformiser le pH du sol pendant la rotation

L'efficacité des moyens de lutte augmentera si le pH_{eau} initial du sol est d'au moins 6,8. Dans le cas contraire, des applications de chaux ou d'autres amendements calcaïques doivent être effectuées pour atteindre un pH de 7,0 uniforme durant la période de rotation, sur l'ensemble du champ.

2 Utiliser un amendement calcaire fin avant une culture de crucifères

Une chaux calcique fine à indice de valeur agricole (IVA) élevé (>75 %) agit nettement mieux pour lutter contre la hernie qu'une chaux ordinaire (de mouture grossière), car elle permet une augmentation rapide du pH_{eau} du sol. Toutefois, si le sol est pauvre en magnésium, la chaux dolomitique fine donne de meilleurs résultats. Les amendements calciques ou magnésiens fins, tels les dépoussiéreurs et le CalPoMag® issus de procédés industriels, sont aussi efficaces que les chaux fines (**figure 4**). Dans le cas du CalPoMag®, qui contient du potassium et du magnésium, la dose totale à appliquer devra prendre en compte la teneur du sol en potassium et en magnésium.

L'action rapide sur le pH_{eau} est importante, non seulement pour la lutte contre la hernie, mais aussi pour

les cultures ultérieures. Dans les essais conduits au Québec, en champs fortement infestés par la hernie, des applications d'un amendement calcaire fin ont permis d'élever le pH_{eau} du sol l'année même de la culture, de diminuer l'influence de la hernie et d'augmenter les rendements commerciaux pour les cultures du chou et du brocoli (**figure 5**). Puisque les amendements calcaires fins agissent rapidement et que le sol a tendance à s'acidifier naturellement, le pH_{eau} a baissé pour la saison suivante (**figure 6**). Les applications massives (jusqu'à 30 t/ha) de chaux calcique fine ou de dépoussiéreur ont modifié le pH_{eau} du sol sans toutefois dépasser le seuil de 7,2 au cours de la saison suivante de production. Ainsi, les rendements et la qualité des cultures ultérieures (carotte, céréales, maïs ou soya) n'ont pas varié.

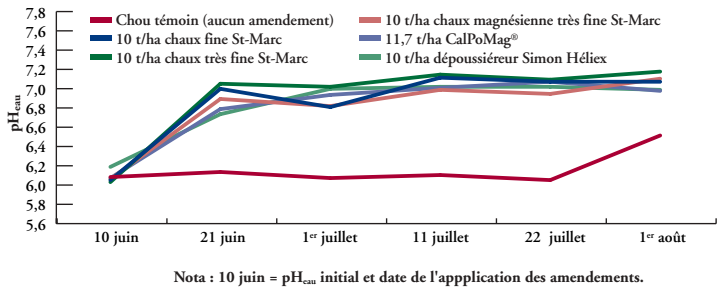


Figure 4 : Effet des sources d'amendement calcaire sur l'évolution du pH_{eau} pendant la saison.

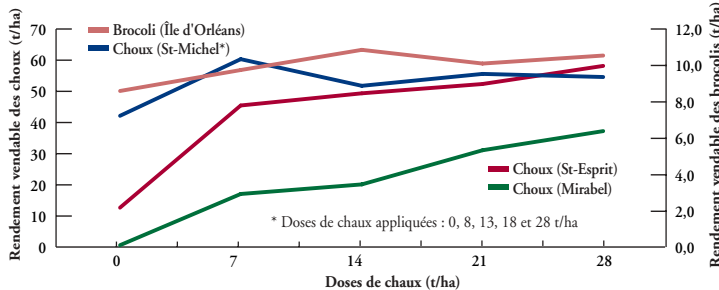


Figure 5 : Effet de l'application automnale d'un amendement calcaire fin sur le rendement vendable des cultures dans des champs infestés par la hernie des crucifères, saison 2001.

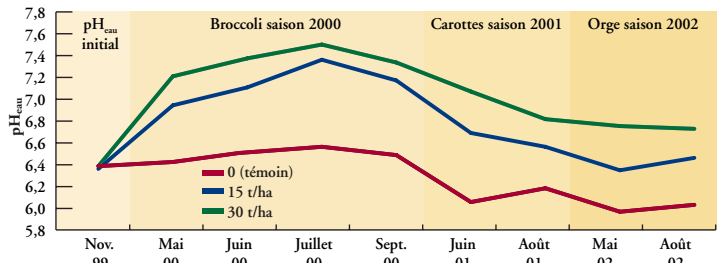


Figure 6 : Effet des doses de chaux calcique fine (IVA de 76 %) appliquées à l'automne 1999 sur le pH_{eau} du sol, Île d'Orléans, 1999-2002.

3 Ajuster la dose d'amendement calcaire fin selon le pH_{eau} du sol avant une culture de crucifères

Une application à taux variables de l'amendement calcaire est nécessaire lorsque des variations de pH_{eau} sont observées dans les champs (**tableau 2, figure 7**). En effet, une dose d'application uniforme pour le pH_{eau} moyen (6,8) du champ, comme le montre la **figure 7**, serait insuffisante dans une zone à pH_{eau} faible mais excessive dans une zone à pH_{eau} élevé. Toutefois, l'état d'avancement des travaux de recherche ne permet pas de préciser les doses à appliquer nécessaires pour élever le pH_{eau} à 7,2 ou plus, en fonction du type de sol. Cependant, le type de sol ainsi que son pouvoir tampon pourraient modifier l'effet de la dose sur le pH_{eau} et avoir un effet sur la lutte contre la hernie. ▶ (suite page suivante)

Tableau 2 : Dose d'application d'amendement calcaire en fonction du pH_{eau} du sol.

pH _{eau} du sol	Dose d'application (IVA de 75 %)
Supérieur à 7,4	Aucune
7,2 - 7,4	2 à 3 t/ha
7,0 - 7,2	3 à 5 t/ha
6,8 - 7,0	5 à 7 t/ha
6,5 - 6,8	7 à 10 t/ha
Inférieur à 6,5	10 à 14 t/ha

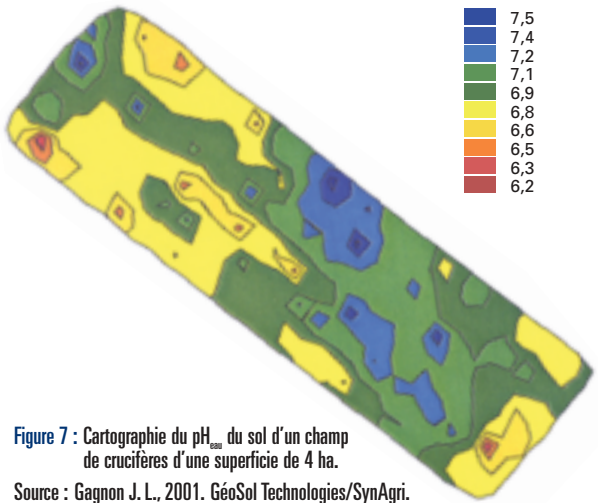


Figure 7 : Cartographie du pH_{eau} du sol d'un champ de crucifères d'une superficie de 4 ha.
Source : Gagnon J. L., 2001. GéoSol Technologies/SynAgri.

IMPORTANT

Dans une zone à pH_{eau} élevé, l'application massive ou répétée d'amendements calcaires réduit la disponibilité du phosphore et d'autres éléments mineurs (notamment le magnésium, le manganèse, le bore et le zinc) et peut réduire le rendement. Dans les nombreux essais conduits au Québec, une carence a été observée en une seule occasion. Cette carence en magnésium dans le chou chinois, est apparue après une application de 10 t/ha de chaux calcique fine (IVA de 77 %) deux semaines avant la plantation, suivie de l'ajout de 1,5 t/ha de chaux hydratée non granulée le jour de la plantation (**figure 11**). Une baisse de rendement de 7 % a été mesurée dans une culture de chou sans hernie après l'application sur loam argileux de 37 t/ha de chaux calcique, fractionnée sur 3 ans.

4 Appliquer l'amendement calcaire à la fin de l'automne ou au printemps

À l'automne précédant une culture de crucifères, appliquer l'amendement calcaire avant le passage du chisel ou après le labour. L'incorporation n'est pas nécessaire.

Au printemps, appliquer l'amendement calcaire sur le labour ou avant le passage du chiesel ou sur un terrain préparé. Les applications faites le jour même de la mise en place d'une culture de crucifères sont efficaces. Cependant, un délai de deux semaines ou plus entre l'incorporation de l'amendement et l'implantation (semis ou transplantation) de la culture en accroît l'efficacité.

Une application à l'automne est préférable à une application au printemps. Toutefois, un amendement printanier reste efficace.

5 Incorporation homogène et billonnage avec le sol de surface

Les techniques de travail du sol après l'épandage doivent permettre de bien homogénéiser la chaux dans la couche arable (Dobson et *al.*, 1983). Après l'incorporation, le buttage doit être fait avec le sol de surface (pas plus de 10 à 12 cm de profondeur) pour concentrer la chaux près des racines des jeunes plants (figure 8).



Figure 8 : Incorporation homogène et billonnage avec le sol de surface.

Autres moyens de lutte

D'autres moyens de lutte peuvent être mis à profit pour lutter contre la hernie. Cependant, en sols minéraux, ces moyens de lutte sont à utiliser en dernier recours lorsque les rotations des cultures ne permettent pas d'augmenter le pH_{eau} du sol au moins au seuil de 7,2. Ces moyens ont livré des résultats variables, et certains font encore l'objet de travaux de recherche.

La plupart de ces moyens alternatifs de lutte sont présentés ci après :

Cyanamide de calcium ■ Ce produit, source d'azote et de calcium (20 % N et 50 % CaO), a des propriétés herbicides et fongicides; il montre certaines possibilités pour la répression de la hernie (Klasse, 1996). Dans les essais conduits au Québec, les résultats obtenus sont contradictoires. Dans certaines conditions, la répression de la hernie a été excellente alors que pour d'autres essais les résultats ont été décevants.

Le prix élevé du produit, de même que la nécessité d'attendre son activation (pluie ou irrigation) avant l'établissement de la culture, limite son utilisation. Les applications de cyanamide de calcium après le semis ou la plantation sont inefficaces (figure 9). Il faut lire l'étiquette avant d'utiliser ce produit.

Chaux hydratée ■ Dans une perspective de lutte contre la hernie, la chaux hydratée doit être utilisée à des doses supérieures à 500 kg/ha avant l'implantation de la culture pour permettre une augmentation du pH_{eau} . Dans les essais conduits au Québec, les meilleurs résultats ont été obtenus pour une dose de 1500 kg/ha appliquée avant le semis ou la plantation et dans les sols dont le pH_{eau} initial était supérieur à 6,8.

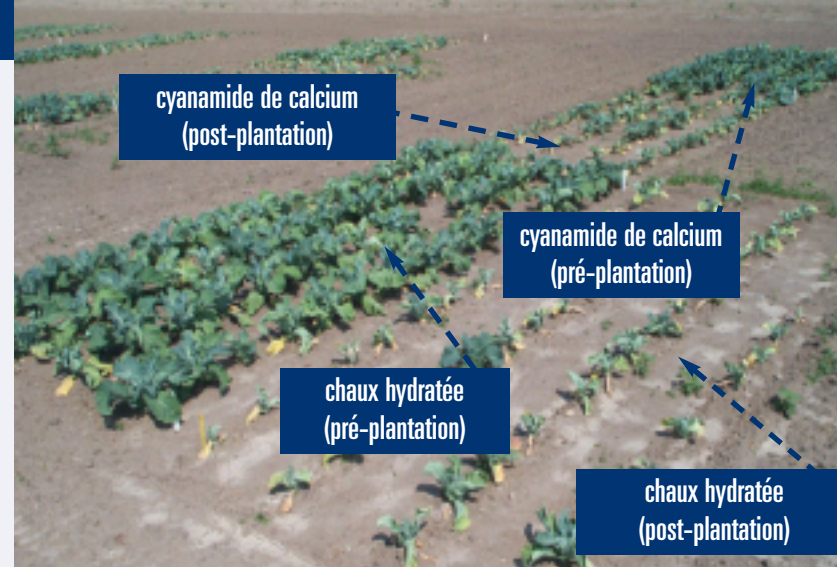


Figure 9 : Effet du cyanamide de calcium et de la chaux hydratée.

Dans le cas d'une culture transplantée, l'application de chaux hydratée doit être effectuée moins d'une semaine avant la plantation. Par contre, dans le cas d'une culture semée, un délai d'une semaine entre l'application de la chaux hydratée et le semis doit être respecté. Le sol nécessite avant le semis une humidification, par une pluie ou une irrigation, afin d'éviter les risques de toxicité lors de la germination de la culture. De plus, pour une même dose totale, le fractionnement est moins efficace qu'une application unique avant la mise en place de la culture. Enfin, l'application de la chaux hydratée, après le semis ou la plantation, est inefficace (figure 9). La combinaison de la chaux hydratée et du cyanamide de calcium s'est avérée moins efficace qu'une application de 15 t/ha de chaux fine sur le labour à l'automne précédant une culture de brocoli (figure 10).

Rapidex® ■ Ce produit est une chaux dolomitique très finement moulue dont l'IVA est de 105 %. Lors d'une application de 500 à 1500 kg/ha avant le semis ou la plantation, son efficacité pour lutter contre la hernie semble comparable à celle de la chaux hydratée. Ce résultat a été obtenu sur une seule saison d'essais.

Produits riches en calcium ■ Dans les essais conduits au Québec, les produits riches en calcium (nitrate de calcium et SuperCal ou Super2000) appliqués à une dose de 500 kg/ha ont été peu efficaces pour réduire la hernie.

Autres moyens complémentaires ■ Il importe évidemment de favoriser la santé générale de la culture (irrigation et fertilisation adéquates) pour lutter efficacement contre la hernie.

Par contre, des difficultés à homologuer de nouveaux produits et le prix des produits actuels limitent le recours à la fumigation du sol, aux fongicides et aux surfactants. L'enfouissement d'engrais verts ou de cultures appâts inhiberait le développement de la hernie. Cependant, des essais conduits dans ce sens au Québec n'ont pas permis de confirmer cette information. Toutefois, l'utilisation d'engrais verts demeure une pratique recommandée sur le plan agronomique. Ces moyens de lutte sont discutés dans le feuillet de Tremblay et *al.*, 1999.

Une des façons de lutter contre la hernie serait l'utilisation de cultivars résistants. Parmi les légumes de la famille des crucifères cultivés au Québec, certains cultivars de chou Nappa sont dits tolérants à la hernie. Cependant, il est conseillé de les évaluer dans vos propres conditions de culture avant de les produire à l'échelle commerciale. Malheureusement, les cultivars des autres espèces habituellement utilisés sont eux sensibles à la hernie.

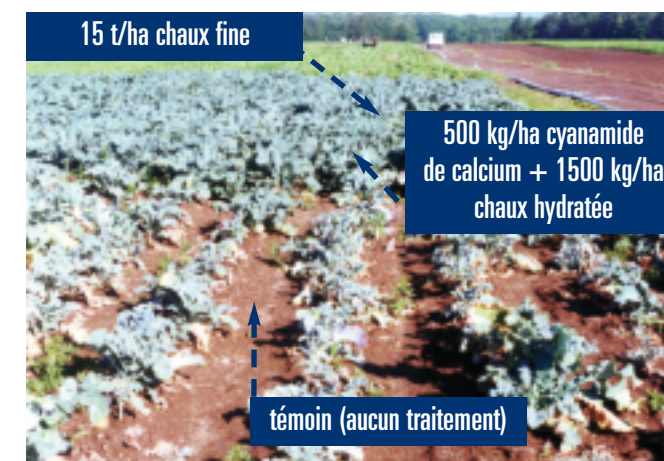


Figure 10 : Effet des traitements sur la hernie.



Figure 11 : Déficience en Mg après application massive de chaux calcique fine (10 t/ha) et hydratée (1.5 t/ha).