

BVG-62184
SUJET SPÉCIAL 2CR.

La pourriture molle chez le brocoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*)



Par
Elisabeth Fortier

Le 7 mars 2006

Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation
Université Laval
Québec

Résumé

Plusieurs bactéries peuvent infecter les inflorescences des brocolis et causer de la pourriture molle. Cette maladie complexe affecte la production de cette culture dans de nombreux pays. Les premiers symptômes sont des plages d'apparence grasseuse se développant sur quelques fleurons. Ces petites lésions peuvent s'étendre et devenir noires, pourrir et s'enfoncer légèrement en seulement cinq à sept jours lorsque les conditions sont favorables au développement de la maladie. Une simple lésion rend une tête invendable, même si celle-ci est conservée dans un endroit frais, puisque cette maladie continue à se développer même à de basses températures. De longues périodes pluvieuses et chaudes sont propices à la prolifération rapide de la pourriture molle. D'autres facteurs de type morphologique, génétique, biologique et agronomique peuvent aussi contribuer à l'attaque bactérienne. La forme de la tête, la génétique du cultivar, son contenu en glucosinolates, la fréquence d'irrigation, la fertilisation azotée et l'application de surfactant ne sont que quelques unes des caractéristiques pouvant favoriser la pourriture molle. Plusieurs recherches ont aussi mis de l'avant des pratiques culturales et des programmes de lutte afin de diminuer l'incidence de la maladie.

Table des matière

RÉSUMÉ	2
TABLE DES MATIÈRE	3
LISTE DES TABLEAUX	4
LISTE DES FIGURES	4
INTRODUCTION	5
1. LA MALADIE	6
1.1 AGENTS PATHOGÈNES RESPONSABLES	6
1.2 CYCLE ÉVOLUTIF	6
1.3 SYMPTÔMES ET DOMMAGES	7
2. FACTEURS FAVORISANT L'APPARITION	8
2.1 ENVIRONNEMENTAUX	8
TEMPÉRATURE	8
HUMIDITÉ	8
2.2 MORPHOLOGIQUES ET GÉNÉTIQUES	9
FORME DE LA TÊTE	9
SUSCEPTIBILITÉ DES CULTIVARS	10
2.3 BIOLOGIQUES	13
RAVAGEURS	13
2.4 AGRONOMIQUES	13
FERTILISATION	13
IRRIGATION	14
APPLICATION DE SURFACTANT	15
3. MOYENS DE LUTTES	15
3.1 PRATIQUES CULTURALES	15
3.2 ENTREPOSAGE	16
3.3 CULTIVARS RÉSISTANTS	16
3.4 LUTTE CHIMIQUE	16
3.5 RÉSISTANCE INDUITE	17
CONCLUSION	18
RÉFÉRENCES	19

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques morphologiques et pourriture molle de cultivars de brocoli provenant des têtes excisées après inoculation avec <i>Erwinia carotovora</i> ssp <i>carotovora</i>	9
Tableau 2. Évaluation de l'incidence et de la sévérité de la pourriture molle chez divers cultivars de brocoli à l'automne 1986 et au printemps 1987, 1988 et 1989.....	10

Liste des figures

Figure 1. Symptômes de la pourriture molle sur le brocoli.. ..	8
Figure 2. Test des têtes excisées pour distinguer les cultivars susceptibles à la pourriture molle.....	11
Figure 3. Histogramme de valeurs discriminantes de susceptibilité à la pourriture molle pour dix cultivars de brocoli.	12
Figure 4. Suppression de <i>Pseudomonas marginalis</i> en fonction du contenu total en glucosinolates des fleurons de brocoli.	13
Figure 5. Induction de la résistance contre la pourriture molle de deux cultivars de brocoli, Marathon et Shogun.. ..	17

Introduction

Le brocoli (*Brassica oleracea* L. var *Italica*) est une culture bien adaptée au climat de certaines régions du Canada, mais la production se concentre principalement au Québec (64%), en Ontario (23%) et en Colombie-Britannique (11%) (Agriculture et agroalimentaire Canada, 2005). La production canadienne, en 2003, se chiffrait à plus de 32 411 tonnes métriques. Toutefois, les problèmes liés à la production sont nombreux. Parmi ceux-ci, la pourriture molle d'origine bactérienne est une contrainte majeure au succès de cette production en Ontario, au Québec et dans les provinces de l'Atlantique (Richard et Boivin, 1994). Les pertes peuvent être supérieures à 30% et s'élever jusqu'à 100% (Hildebrand, 1986). Cette maladie est aussi largement répandue sur la planète. En Australie, les pertes associées à la pourriture molle sont en moyenne de 35% en champ et de 10 % en entreposage (Wimalajewa, 1987).

Cette maladie bactérienne se déclare lorsque la période de maturation de la tête correspond à une période pluvieuse. Même si l'incidence et la sévérité de la maladie sont habituellement fortement corrélées (Canaday, 1991), elles diffèrent en importance. Puisqu'une seule évidence de pourriture molle peut rendre une tête de brocoli invendable, l'incidence de la maladie a un impact économique significatif. D'autre part, la sévérité a, tant qu'à elle, une importance épidémiologique significative. Les têtes avec d'importantes lésions procurent davantage d'inoculum pouvant être dissipé dans l'environnement. De nombreux facteurs, en plus d'une température chaude et humide, contribuent à la prolifération de la maladie. Parmi ceux-ci, des facteurs environnementaux, morphologiques, génétiques, biologiques et agronomiques ont fait partie de thèmes de recherche visant à comprendre et à contrôler la maladie. Ce rapport se veut donc une revue de littérature sur la problématique de la pourriture molle chez le brocoli.

1. La maladie

1.1 Agents pathogènes responsables

Originellement, il fut soupçonné que *Erwinia carotovora* était l'unique bactérie causant la pourriture molle. Toutefois, cette hypothèse était fausse puisque *E. carotovora* reproduit les symptômes uniquement si les inflorescences sont endommagées. À l'automne 1984, un *Pseudomonas fluorescens* fut isolé et il fut démontré que cette bactérie causait la pourriture molle et ce, même sur les inflorescences saines (Wimalajeewa et al., 1985). Aujourd'hui, deux souches de *Pseudomonas fluorescens*, aussi appelé *P. marginalis*, ont été reconnues comme cause principale de la pourriture molle. En effet, l'infection primaire requiert une bactérie qui produit un biosurfactant, le viscosin, et des enzymes pectolytiques. Les bactéries pectolytiques ne produisant pas de surfactant peuvent seulement infecter les tissus endommagés, tel que les *Erwinia* (Charron et al., 2002). Toutefois, la pourriture molle peut parfois être causée par l'interaction entre des souches saprophytes de *P. fluorescens* et d'autres bactéries qui causent des pourritures molles comme *Erwinia carotovora* ssp. *atroseptica*, *Erwinia carotovora* ssp. *carotovora* et *P. viridiflava* (Richard et Boivin, 1994).

1.2 Cycle évolutif

Le cycle évolutif des souches virulentes de *Pseudomonas fluorescens* n'est pas bien compris. La constance avec laquelle la pourriture molle bactérienne peut être induite lorsque les têtes demeurent humides dues à d'importantes précipitations ou à de l'irrigation aérienne démontre que l'agent responsable est ubiquitaire dans l'environnement (Canaday, 1991). La bactérie survit dans le sol, mais peut aussi se retrouver dans l'eau des étangs et des ruisseaux. Pendant les périodes de pluies abondantes, la bactérie est disséminée sur les inflorescences de brocoli par les éclaboussures d'eau provenant du sol. Si les inflorescences demeurent humides durant plusieurs jours, les bactéries se multiplient et libèrent un biosurfactant, le viscosin, et des enzymes pectolytiques dans les gouttes d'eau. Le biosurfactant réduit la tension superficielle de l'eau de 72 à 27-25 mN/m., laquelle mouille alors la surface cireuse des inflorescences (Hildebrand et al., 1998). Le biosurfactant permet à la bactérie d'entrer dans les stomates et les tissus avoisinants et augmente l'activité des enzymes pectolytiques. Les enzymes pectolytiques facilitent ensuite la pénétration bactérienne (Charron et al., 2002).

Si les inflorescences sèchent, l'entrée de la bactérie est bloquée et il n'y a pas formation de pourriture. Cependant, les plages atteintes sur les inflorescences se remouillent facilement lors des périodes ultérieures d'humectation et la pourriture peut progresser rapidement si l'humidité et les températures chaudes persistent durant plusieurs jours (Richard et Boivin, 1994).

1.3 Symptômes et dommages

Les symptômes apparaissent habituellement à la suite de périodes pluvieuses, alors que les inflorescences demeurent humides pendant plusieurs jours. Sur les têtes colonisées par des souches virulentes de *P. fluorescens*, des plages apparaissent graisseuses là où l'eau forme une pellicule, tel qu'illustré à la figure 1a. Ces plages contrastent avec les zones saines où la surface cireuse des inflorescences est d'un vert grisâtre et sur lesquelles l'eau forme des gouttelettes. Des petites lésions noires se développent alors près des stomates. Les lésions sont en relief et une coloration sombre, d'abord localisée aux cellules de garde, s'étend ensuite aux tissus avoisinants. Une pourriture se développe sur les inflorescences atteintes ou sur les jeunes inflorescences succulentes des zones méristématiques de la tête. Pendant des périodes prolongées de conditions favorables, la pourriture s'étend considérablement et rapidement, produisant des plages creuses sur les inflorescences (figure 1b) (Hildebrand et al., 1998). Lorsque les têtes sont colonisées par des souches saprophytes du *P. fluorescens*, des plages graisseuses apparaissent, mais les têtes ne pourrissent pas. De même façon, la pourriture demeure localisée et révèle peu de plages graisseuses lorsque les inflorescences sont attaquées par des souches du *P. viridiflava* ou des *Erwinia*, mais la pourriture et les plages graisseuses peuvent être plus étendues lorsque ces bactéries sont présentes en combinaison avec des souches saprophytes de *P. fluorescens* (Richard et Boivin, 1994).

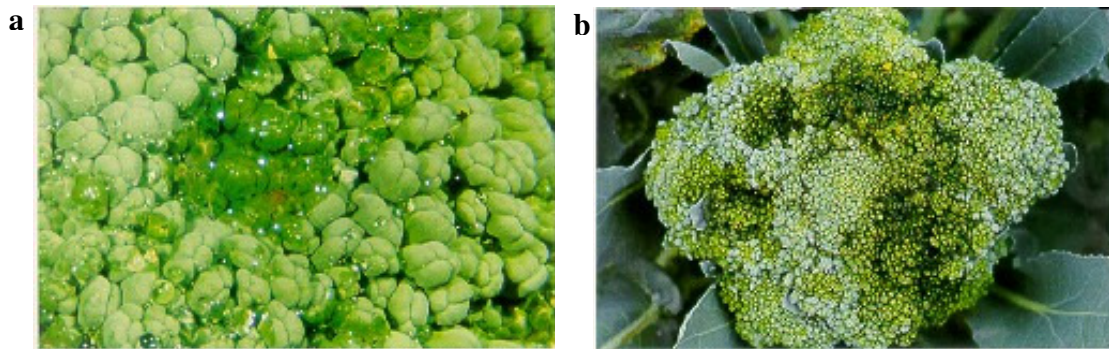


Figure 1. Symptômes de la pourriture molle sur le brocoli. (a) La pellicule d'eau sur les fleurons résulte de l'activité surfactante des bactéries. (b) Pourriture avancée sur une inflorescence de brocoli.

Tirée de Richard et Boivin, 1994.

2. Facteurs favorisant l'apparition

2.1 Environnementaux

Température

La progression de la pourriture molle est particulièrement rapide lorsque les températures sont chaudes. La température optimale de croissance de la bactérie est de 28 °C, mais la croissance, bien que lente, peut se poursuivre à des températures aussi basses que 1 à 2°C (Richard et Boivin, 1994). Les dommages causés au champ par le froid peuvent prédisposer les inflorescences à la colonisation et à la pourriture bactérienne.

Humidité

Le principal facteur contribuant à l'essor de la maladie est sans contredit la présence d'humidité sur l'inflorescence. En effet, les maladies causées par *Erwinia* sont fortement influencées par la présence d'eau libre au site d'infection. Leur survie et reproduction sont favorisées par des surfaces mouillées et la population diminue rapidement lorsque la surface s'assèche. Dans des études aux champs dans la pomme de terre, Pérombelon (1978) (cité dans Ludy et al., 1997) détecta *E. carotovora* aussi longtemps que la surface demeurait mouillée, mais ne pouvait plus détecter la bactérie 1 à 2 journées après assèchement de la surface. Une autre étude obtint les mêmes résultats pour des populations de *Pseudomonas syringae* dans la tomate (Smitlay et McCarter, 1982 cité dans Ludy et al., 1997).

2.2 Morphologiques et génétiques

La morphologie étant intimement liée à la génétique des cultivars, ces deux facteurs seront présentés conjointement.

Forme de la tête

Les caractéristiques phénotypiques de la tête varient beaucoup entre les cultivars et certaines caractéristiques peuvent être favorables au développement de la maladie. En fait, tous traits morphologiques affectant la période de rétention d'eau libre sur la tête peuvent conséquemment influencer la multiplication et la pénétration des bactéries.

L'augmentation du diamètre de la tête fut négativement corrélée à la résistance à la maladie. De plus, la forme de la tête, i.e. les cultivars présentant une tête en forme de dôme plutôt que ceux ayant une forme plate, fut positivement corrélée à la résistance à la maladie (Darling et al. 2000, Canaday et Wyatt, 1992). Par conséquent, des petites têtes en forme de dôme sont davantage tolérantes à la pourriture molle que les grosses têtes plates. D'autres caractéristiques morphologiques tel que la proéminence et le nombre de fleurons ainsi que le nombre de stomates sur les sépales n'ont démontré aucune corrélation avec la résistance de l'hôte (tableau 1) (Darling et al. 2000).

Tableau 1. Caractéristiques morphologiques et pourriture molle de cultivars de brocoli provenant des têtes excisées après inoculation avec *Erwinia carotovora* ssp *carotovora*.

Caractéristique de la tête	Cultivar									LSD P<0,05
	P. Crop	Skiff	Corvet	Samurai	Shogun	Marathon	Greenbelt	Headline	Trixie	
Protubérance des fleurons ¹ (%)	33,3	46,7	48,3	40	31,7	28,3	46,7	78,3	33,3	10,6
Diamètre (cm)	10,6	9,1	10,4	6,4	6,2	6,8	7,4	7,2	4,9	1,8
Nb fleurons/cm ² sur le côté	24,5	51	40,1	64,4	77,2	77,1	42,7	41,4	42,8	10,44
Nb fleurons/cm ² au centre	25,3	71,6	54,6	85,2	96,7	90,8	50,8	48,8	55,2	19,1
Forme en dôme ² (%)	33,3	51,7	44,1	63,3	83,3	68,3	75	71,7	76,7	15,1
Nb stomates/mm ²	153,6	176	-	141,8	123,5	126,5	131	153,6	117,3	18,2
% pourriture molle ³	56	74	73	43	58	41	39	47	47	7,9

¹Protubérance des fleurons : 0%=aucune protubérance, 100% forte protubérance au dessus de la surface

² Forme en dôme : 0%=tête plate 100%= tête avec un dôme important (section transversale triangulaire)

³ 0= aucune pourriture molle, 100% présence de pourriture molle

Adapté de Darling et al. 2000

Susceptibilité des cultivars

Des études en champ ont permis de classer quelques cultivars utilisés sur le marché selon leurs divers niveaux de résistance à la pourriture molle (tableau 2) (Canaday, 1991). Alors que la plupart des cultivars sont modérément à fortement sensibles au développement de la pourriture molle, Shogun et Green Defender ont démontré un niveau de tolérance élevé. Pour ces expériences, le développement des têtes était synchronisé de manière à ce que les conditions environnementales soient identiques pour tous les cultivars. Par conséquent, la différence de susceptibilité n'est pas attribuable à des différences de température durant la période de maturation.

Tableau 2. Évaluation de l'incidence et de la sévérité de la pourriture molle chez divers cultivars de brocoli à l'automne 1986 et au printemps 1987, 1988 et 1989.

Cultivar	Incidence (%)				Sévérité ¹				Maturité (jour) ²
	1986	1987	1988	1989	1986	1987	1988	1989	1989
Cruiser	-	-	83 ab	100 a	-	-	1.6 ab	1.8 bcd	72 efg
Dandy Early	-	-	79 a-d	100 a	-	-	1.1 a-e	1.3 d-i	67 lm
Embassy	-	-	56 c-g	95 a-e	-	-	0.6 def	1.7 b-e	67 jkl
Emperor	-	51 bc	64 a-g	88 b-e	-	0.4 cd	0.9 a-f	0.8 jk	70 f-i
Galaxy	-	-	64 a-e	100 a	-	-	1.0 a-f	1.9 abc	62 no
Gem	-	-	69 a-e	97 ab	-	-	0.8 b-f	1.2 g-j	71 fgh
Green Comet	-	74 a	82 abc	98 ab	-	0.8 a	1.4 a-d	1.9 ab	69 hij
Green Defender	48 d ³	16 f	12 h	15 g	0.3 c	0.1 e	0.1 f	0.1 l	85 a
Green Duke	-	59 abc	83 a	100 a	-	0.5 b	1.4 a-d	1.4 c-i	68 i-l
Green Valiant	-	27 e	41 efg	67 f	-	0.2 de	0.7 c-f	0.5 kl	76 bc
Kwik Green	-	-	78 a-d	98 ab	-	-	1.1 a-e	1.2 e-j	67 jkl
Packman	79 a	71 a	57 c-g	85 cde	1.7 a	0.7 a	0.9 a-f	1.5 b-h	61 o
Pirate	-	34 de	39 fgh	88 b-e	-	0.2 e	0.7 c-f	1.5 b-h	77 b
Premium Crop	68 ab	64 ab	66 a-g	89 b-e	1.1 b	0.5 bc	0.8 b-f	1.4 c-i	74 cde
Prominence	62 bc	47 cd	78 a-d	88 de	0.9 b	0.4 bc	1.8 a	1.1 hij	75 bcd
Sakata 12	-	-	53 d-g	96 a-e	-	-	1.1 a-e	1.4 c-i	75 bcd
Sakata 91	-	-	60 b-g	87 b-e	-	-	0.8 b-f	0.8 jk	68 i-l
Shogun	49 cd	13 f	13 h	15 g	0.3 c	0.1 e	0.1 f	0.1 l	85 a
Southern Comet	-	-	86 ab	96 abc	-	-	1.0 a-e	1.7 b-f	64 mn
Symphony	-	-	76 a-d	92 b-e	-	-	1.4 a-d	1.2 f-j	67 jkl
XPH 5168	-	-	70 a-f	98 ab	-	-	0.8 b-f	1.6 b-g	63 no

¹ La sévérité de la maladie est basée sur une échelle de 1 à 5 où 0= aucune pourriture, 0.5= plages graisseuses et odeur de pourriture, 1=1, 2=10, 3=30, 4=30 5=100% de la tête est pourrie.

² Nombre de jours de la transplantation jusqu'à l'obtention d'une tête de 14 cm de diamètre.

³ Les moyennes d'une même colonne suivies par une lettre commune ne sont pas significativement différentes selon un LSD de Fisher ($P < 0.05$).

Adapté de Canaday, 1991.

Dans cette même étude, l'incidence et la sévérité de la maladie pour les différents génotypes furent inversement corrélées avec le temps nécessaire au développement de l'inflorescence, i.e. le nombre de jours entre la transplantation et la récolte. Toutefois, Ludy et al. (1997)

obtinrent l'effet contraire avec trois cultivars : d'une augmentation de la période de maturation s'en découlait une augmentation de l'incidence de la maladie. Les auteurs mentionnent cependant l'impossibilité de distinguer l'effet de la susceptibilité des cultivars à l'effet des conditions environnementales prévalant lorsque les têtes se développaient, n'ayant pas synchronisé la période de récolte.

Darling et al. (2000) ont mis sur pied un test de pathogénicité permettant d'évaluer la susceptibilité des cultivars de brocoli à la pourriture molle. Ce test consiste en l'utilisation d'une tête mature excisée du plant et inoculée avec une ouate de coton préalablement trempée dans une suspension bactérienne de *E. carotovora* (figure 2a). Les têtes des cultivars susceptibles ont montré des signes de pourriture molle noirâtre (figure 2b) alors que les cultivars plus tolérants démontrèrent seulement des symptômes de plages graisseuses ou de brunissement de tissus mous. Dix cultivars ont ainsi été testés et leur niveau de susceptibilité correspondit avec les données préalablement enregistrées au champ, à l'exception d'un seul cultivar (figure 3). Ce test pourrait donc être utilisé dans le cadre d'un programme d'amélioration génétique afin de sélectionner des lignées présentant un degré intéressant de tolérance. Un deuxième test *in vitro* impliquant des jeunes pousses ne permit toutefois pas de distinguer la sensibilité des cultivars.

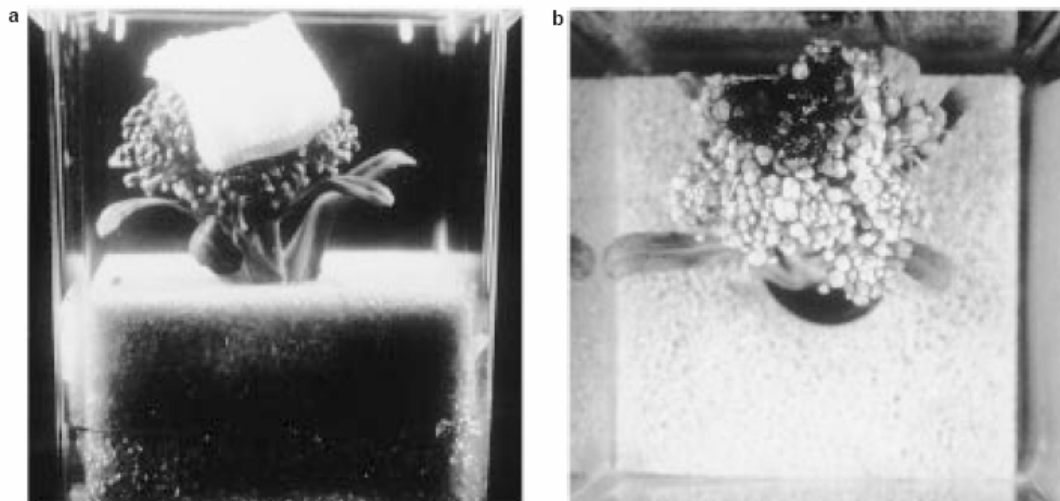


Figure 2. Test des têtes excisées pour distinguer les cultivars susceptibles à la pourriture molle. (a) Portion de l'inflorescence inoculée avec une ouate de coton (2 x 2cm) préalablement trempée dans une suspension de *Erwinia carotovora*. (b) Vue de dessus d'une tête de brocoli après 5 jours, présentant de la pourriture molle.

Tirée de Darling et al. 2000.

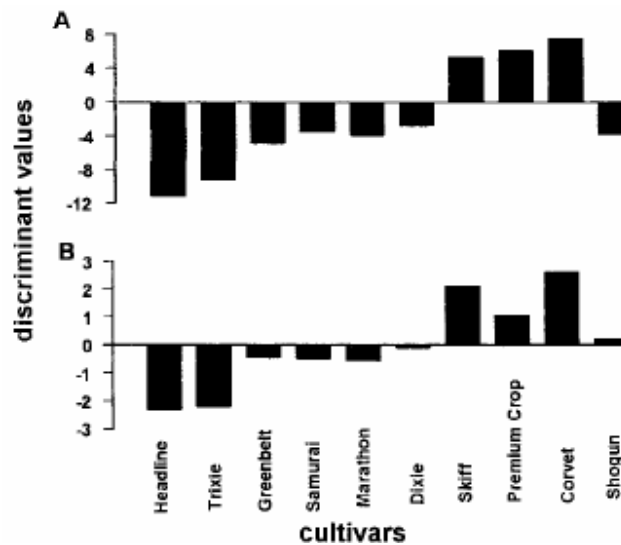


Figure 3. Histogramme de valeurs discriminantes de susceptibilité à la pourriture molle pour dix cultivars de brocoli. (a) Classification au champ, (b) Classification en laboratoire. Une augmentation des valeurs négatives indique une augmentation de la résistance et une augmentation des valeurs positives indique une augmentation de la susceptibilité.

Tirée de Darling et al., 2000

Les traits morphologiques n'ont aucune influence sur le test des têtes excisées pour évaluer la tolérance des cultivars. Par conséquent, obtenant des bons résultats de ce test, il est suggéré qu'une barrière physico-chimique à l'infection contribue aussi à la résistance. La réponse d'un cultivar à l'attaque bactérienne est donc la combinaison de facteurs morphologiques et de facteurs de résistance physico-chimiques (Darling et al. 2000). Charron et al. (2002) ont d'ailleurs poussé plus loin cette théorie de résistance physico-chimique. Sachant que les produits de dégradation des glucosinolates sont reconnus pour supprimer certains micro-organismes et que les plantes du genre *Brassica* produisent des glucosinolates, ils ont évalué l'impact du contenu en glucosinolates du brocoli sur la croissance de *Pseudomonas fluorescens*. Lors d'essais *in vitro*, une régression linéaire simple démontra que 48 % de la différence dans l'arrêt de croissance de *P. fluorescens* pouvait être expliqué par la différence dans le contenu total en glucosinolates ($P < 0.01$) (figure 4).

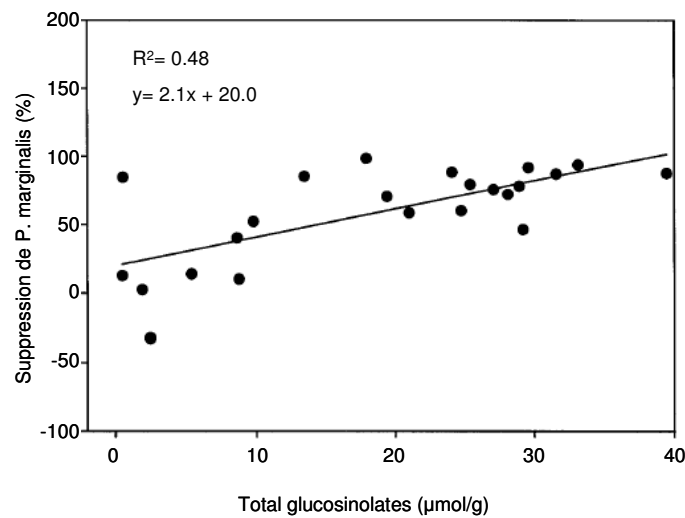


Figure 4. Suppression de *Pseudomonas marginalis* en fonction du contenu total en glucosinolates des fleurons de brocoli.

Adaptée de Charron et al. 2002.

2.3 Biologiques

Ravageurs

Des insectes comme la punaise terne et les altises peuvent causer des blessures aux inflorescences, ce qui les prédispose à l'infection. Les bactéries ne produisant pas de viscosin, telles que les *Erwinia*, peuvent alors coloniser les fleurons endommagés. Les dommages causés par d'autres maladies tel que le mildiou peuvent aussi contribuer à la pourriture bactérienne (Richard et Boivin, 1994).

2.4 Agronomiques

Fertilisation

La fertilisation azotée peut avoir un impact sur l'incidence de la maladie. Un excès d'azote dans le sol favorise, d'une part, une croissance luxuriante, ce qui diminue la circulation de l'air et d'autre part, la formation de tissus tendres très sensibles à une attaque bactérienne (Richard et Boivin, 1994). Par exemple, l'application en bande de nitrate d'ammonium augmente l'incidence et la sévérité de la pourriture molle chez un cultivar sensible, Premium Crop. Toutefois, aucun effet significatif ne fut noté sur un cultivar tolérant, Shogun, et ce,

même sous des conditions favorables au développement de la maladie (Canaday et Wyatt, 1992). Cette étude démontre donc le potentiel de diminution du rendement vendable lorsqu'un cultivar susceptible est fertilisé à des doses élevées d'azote et que les conditions sont favorables à la pourriture molle. Everaarts (1994) fait état de résultats similaires : une augmentation du taux d'application de fertilisants azotés résulte en une augmentation de l'incidence de la maladie. Le pourcentage des têtes pourries invendables était six fois plus élevé de 0 à 196 kg N ha⁻¹. Une relation exponentielle fut établie entre le pourcentage de pourriture molle et le poids moyen des têtes (un poids faible/élevé résultait en une fertilisation pauvre/riche en azote). Cependant, aucun effet significatif sur l'incidence de la maladie ne fut décelé en ce qui a trait à la méthode d'application, en bande versus à la volée, et au fractionnement (Everaarts, 1994).

La source d'azote peut aussi jouer un rôle. Une expérience portant sur le chou chinois (*Brassica campestris* L. ssp. *Pekinensis*) démontra que le pourcentage de têtes affectées par la pourriture molle augmentait avec une fertilisation à base de nitrate d'ammonium comparativement au nitrate de calcium (Warner et al., 2004). De plus, une relation linéaire positive fut obtenue entre l'incidence de la maladie et le taux d'application d'azote.

Finalement, des carences en bore et en calcium peuvent aussi prédisposer à l'infection des inflorescences de brocoli (Richard et Boivin, 1994).

Irrigation

L'irrigation par aspersion est courante dans la culture du brocoli et même essentielle dans les climats semi-arides. Ce type d'irrigation favorise toutefois le développement de la maladie en créant un microclimat; l'irrigation crée une augmentation de la teneur en humidité relative, une diminution de la température et une période de rosée prolongée le jour (Ludy et al. 1997). Des ajustements dans les pratiques d'irrigation lors de la formation de l'inflorescence du brocoli peuvent donc permettre un meilleur contrôle de la prolifération de la pourriture molle. Ludy et al. (1997) ont démontré que la fréquence d'irrigation a un impact sur l'incidence de la pourriture molle. L'incidence était réduite de moitié lorsque la fréquence était réduite de 2 à 8 jours d'intervalle, et ce, pour une quantité d'eau total équivalente. Toutefois, ni la quantité d'eau appliquée (distance par rapport à la ligne d'irrigation) ou la période d'application (matin vs soirée) n'ont influencé l'incidence de la maladie.

Application de surfactant

Durant la période de formation des têtes de brocoli, des applications excessives d'insecticides ou de fongicides contenant des surfactants doivent être évitées. En effet, les surfactants contribuent à l'augmentation de l'infection bactérienne (Richard et Boivin, 1994).

3. Moyens de luttés

3.1 Pratiques culturales

Les pratiques de production qui augmentent la circulation de l'air dans la culture, comme un espacement plus large entre les plantes et des rangs dans le sens des vents dominants, peuvent être bénéfiques, permettant un assèchement plus rapide des inflorescences (Richard et Boivin, 1994). De plus, toutes pratiques diminuant les éclaboussures du sol sur les têtes matures, e.g. implantation de cultures intercalaires, ont montré un certain potentiel pour réduire la maladie (Canaday, 1991). Un programme de rotation doit aussi être envisagé. Les plantations ultérieures doivent se trouver à une bonne distance ou du moins en amont des plantations antérieures, afin d'éviter la dissémination de l'inoculum par la pluie (Richard et Boivin, 1994).

La fertilisation azotée doit se faire de manière raisonnée afin de maximiser les rendements tout en ne favorisant pas le développement de la pourriture molle. Le calcium et le bore doivent être maintenus à des niveaux adéquats (Richard et Boivin, 1994).

L'irrigation, si nécessaire, ne doit pas être appliquée de manière régulière : une faible fréquence d'irrigation est à favoriser. Il est recommandé d'irriguer lorsque les têtes sont déjà mouillées, tel que durant la nuit lorsque la rosée est présente. Un autre choix serait le jour lorsque les têtes sont sèches et que les conditions sont propices à un assèchement rapide après l'application (McGrath et Canaday, 2006).

Tel que mentionné précédemment, l'application de surfactants, que l'on retrouve dans la plupart des insecticides, ne fait qu'accroître l'efficacité des bactéries à coloniser les stomates. Par conséquent, le contrôle des insectes devrait se faire avant qu'il n'y ait début d'attaques bactériennes. Si l'utilisation de tels produits est obligatoire, l'application devrait se faire lorsque des périodes sans pluie sont prévues (McGrath et Canaday, 2006).

Finalement, la tige des têtes lors de la récolte devrait être coupée en biseau afin de permettre l'écoulement d'eau. L'accumulation d'eau sur une tige coupée à plat fournira des

conditions favorables à la pourriture molle et il en résultera une augmentation d'inoculum pouvant infecter les têtes pas encore récoltées (McGrath et Canaday, 2006).

3.2 Entreposage

Les têtes de brocoli doivent être refroidies et entreposées au froid immédiatement après la récolte. Les inflorescences présentant des symptômes de plages graisseuses au champ sont plus sensibles à la pourriture molle pendant l'entreposage.

3.3 Cultivars résistants

Bien qu'il n'existe aucun cultivar complètement résistant, certains présentent des caractéristiques diminuant l'incidence de la maladie (tableau 1 et 2). L'analyse de la régression entre l'incidence de la maladie versus les traits morphologiques du brocoli ont permis d'identifier trois caractéristiques permettant de prédire la susceptibilité des cultivars à la pourriture molle bactérienne. Un modèle basé sur la compaction des fleurons, la formation d'un dôme et le diamètre de la tête a permis de prédire 85 % de la variabilité de l'incidence de la maladie pour différents cultivars (Canaday, 1989). De plus, les cultivars qui produisent des inflorescences au-dessus du feuillage sèchent plus rapidement et semblent donc plus résistants à la pourriture molle (Richard et Boivin, 1994).

Le développement de nouveaux cultivars devrait donc inclure les caractéristiques suivantes :

- Contenu élevé en glucosinolates (Charron et al., 2002)
- Longue période de maturation (Canaday, 1991)
- Petites inflorescences en forme de dôme (Darling et al., 2000)
- Formation de la tête au-dessus du feuillage (Richard et Boivin, 1994)

3.4 Lutte chimique

Divers produits agissant comme pesticides ont été testés afin de contrôler la maladie. Une application conventionnelle de manèbe, cuivre, manèbe+cuivre, mancozèbe, bénomyl, chlorothalonil, anilazine ou soufre a échoué pour contrôler adéquatement la pourriture molle. Des applications d'acide sulfurique dilué, d'hypochlorite de sodium, de propionate de calcium ou d'agents bactériens antagonistes ont aussi été inefficaces pour réduire l'incidence ou la sévérité de l'attaque bactérienne (Canaday et al. 1987, Brokenshire et Robertson, 1986).

3.5 Résistance induite

La résistance à une maladie peut être induite chez une plante par d'autres microorganismes ou par diverses préparations d'extraits de plantes ou de produits chimiques. Ce phénomène s'appelle la résistance induite (RI) et elle peut être efficace uniquement au site d'application (RI localisée) ou dans toute la plante (RI systémique). Une étude (Pajot et Silué, 2005) a évalué trois inducteurs synthétiques de résistance, l'acibenzolar-S-méthyl (ASM), l'acide DL-3-aminobutyric (BABA) et le phosphonate de potassium (K_2HPO_3), pour protéger le brocoli de la pourriture molle. Le phosphonate de potassium s'est avéré inefficace pour induire une résistance à *P. fluorescens* dans le brocoli (figure 5), malgré le fait que des résultats satisfaisants avaient été obtenus dans le chou-fleur contre *P. parasitica*. Cependant, l'ASM et le BABA protégèrent en partie le brocoli. La résistance induite dura seulement six jours pour le BABA mais pour l'ASM, elle semble augmenter d'efficacité dans le temps. Sur la figure 5, il est intéressant de remarquer l'utilisation d'antibiotiques dans le contrôle de la pourriture molle du brocoli. Quoique démontrant une excellente efficacité, leur utilisation pour le contrôle des maladies est interdite dans la plupart des pays.

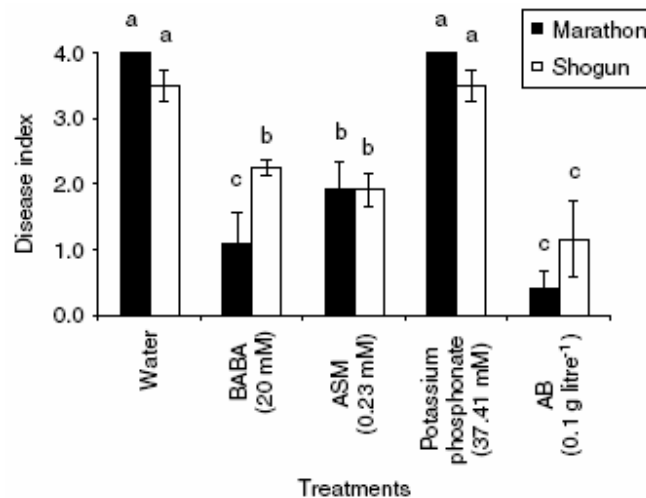


Figure 5. Induction de la résistance contre la pourriture molle de deux cultivars de brocoli, Marathon et Shogun. BABA= acide DL-3-aminobutyric, ASM= acibenzolar-S-méthyl, AB= antibiotiques (mélange de streptomycine, gentamycine, kinamycine et pénicilline). Traitements avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différents ($P < 0.05$).

Tirée de Pajot et Silué, 2005

Conclusion

La pourriture molle est une importante maladie du brocoli et peut facilement rendre une récolte entièrement invendable. Cette maladie complexe survient principalement lorsque des périodes prolongées de pluie ou d'humidité surviennent simultanément au développement des inflorescences. Quelques espèces de *Pseudomonas* et *Erwinia* ont été rapportées comme agent causal. En plus de la présence d'eau libre sur les fleurons des têtes de brocoli, de nombreux facteurs favorisent le développement de l'infection. Parmi ceux-ci, la génétique, la formation d'une large tête plane, des cultivars pauvres en glucosinolates ainsi que des blessures causées par le froid ou des ravageurs ont un rôle à jouer. Des pratiques agronomiques peuvent aussi augmenter la susceptibilité de certains cultivars. Une fertilisation azotée trop élevée, une carence en bore ou en calcium, une fréquence élevée d'irrigation et l'application de surfactants influencent l'incidence de la maladie.

Puisque le contrôle par l'utilisation de produits chimiques est présentement inefficace et qu'il n'existe aucun cultivar entièrement résistant, la modification des pratiques culturales conjointement à l'utilisation des cultivars les moins susceptibles sont les solutions actuelles. De nouvelles alternatives sont toutefois présentement mis à l'avant plan. Par exemple, la résistance induite semble une avenue intéressante mais davantage de recherches sur la durée de protection, l'efficacité au champ, et le taux, la période et la fréquence d'application doivent d'abord être réalisées avant de recommander ces produits alternatifs aux producteurs de brocoli.

Références

Agriculture et Agroalimentaire Canada (avril 2005) Profil de la culture du chou et du brocoli au Canada. Préparé par : Programme de réduction des risques liés aux pesticides, Centre pour la lutteAntiparasitaire. 47p.

Richard C et Boivin G (1994) Maladies et ravageurs des cultures légumières au Canada. Société canadienne de phytopathologie et Société d'entomologie du Canada, 590p.

Brokenshire T et Robertson NH (1986) Control of calabrese spear rot with copper fungicides. Tests of Agrochemicals and Cultivars 7: 52–53 (Annales de Applied Biology 108, supplément)

Canaday CH, Mullins CA, Wyatt JE, Coffey DL, Mullins JA et Hall T (1987) Bacterial soft rot of broccoli in Tennessee. Phytopathology 77: 1712

Canaday CH (1989) Identification of horticultural traits for predicting broccoli cultivar susceptibility to bacterial soft rot. Phytopathology 79: 1160

Canaday CH, Wyatt JE et Mullins CA (1991) Resistance in broccoli to bacterial soft rot caused by *Pseudomonas marginalis* and fluorescent *Pseudomonas* species. Plant Disease 75: 715–720

Canaday CH et Wyatt JE (1992) Effects of nitrogen fertilization on bacterial soft rot in two broccoli cultivars, one resistant and one susceptible to the disease. Plant Disease 76 : 989-991

Charron CS, Sams CE et Canaday CH (2002) Impact of glucosinolate content in broccoli (*Brassica oleracea* (Italica group)) on growth of *Pseudomonas marginalis*, a causal agent of bacterial soft rot. Plant Disease 86: 629-632

Darling D, Harling R, Simpson RA, Mc Roberts N et Hunter EA (2000) Susceptibility of broccoli cultivars to bacterial head rot : *in vitro* screening and the role of morphology in resistance. European Journal of Plant Pathology 106:11–17.

Everaarts AP (1994) Nitrogen fertilization and head rot in broccoli. Netherlands journal of agricultural science 43 : 195-201

Hildebrand PD (1986) Symptomatology and etiology of head rot of broccoli in Atlantic Canada. Canadian Journal of Plant Pathology 8: 350

Hildebrand PD, Braun PG, McRae KB et Lu X (1998) Role of the biosurfactant viscosin in broccoli head rot caused by a pectolytic strain of *Pseudomonas fluorescens*. Canadian Journal of Plant Pathology 20: 296-303

Ludy RL, Powelson ML et Hemphill Jr. DD (1997) Effect of sprinkler irrigation on bacterial soft rot and yield of broccoli. Plant Disease 81: 614–618

McGrath MT et Canaday CH. Managing bacterial soft rot of broccoli heads. Department of Plant pathology, Cornell University. www.vetablemdonline.ppath.cornell.edu. Page consultée le 28 février 2006

Pajot E et Silué D (2005) Evidence that DL-3-aminobutyric acid and acibenzolar-*S*-methyl induce resistance against bacterial head rot disease of broccoli. Pest Management Science 61: 1110-1114

Warner J, Cerkauskas R et Zhang T (2004) Nitrogen management and cultivar evaluation for controlling petiole spotting and bacterial soft rot of chinese cabbage. Acta Horticulturae 635 : 151-157

Wimalajeewa DLS, Hayward AC et Price TV (1985) Head rot of broccoli in Victoria, Australia, caused by *Pseudomonas marginalis*. Plant Disease 69:177

Wimalajeewa DLS (1987) The etiology of head rot disease of broccoli. Australian Journal of Agricultural Research 38: 735–742