

# La résistance aux pesticides : évolution et gestion

par Éric Lucas

**R**ésumé du symposium présenté dans le cadre du 89<sup>e</sup> congrès annuel de la Société de protection des plantes du Québec, les 12 et 13 juin 1997 au centre agronomique de Sainte-Croix (Québec).

## Introduction

Mille neuf cent quatre-vingt-dix-sept, 58 ans après la découverte du DDT et le début de l'ère chimique en agriculture, plus de 40 ans après les premiers cas de résistance; où en est la résistance aux pesticides, comment les produits et techniques ont-ils évolué depuis lors, quelle est l'ampleur actuelle du problème et quelles sont les solutions envisageables? Ce sont quelques-unes des nombreuses questions soulevées au cours de ce symposium. Il est remarquable de constater que la résistance aux pesticides, non seulement demeure un problème d'actualité, mais encore que les problèmes survenus jusqu'à présent pourraient ne constituer que la pointe de l'iceberg. En effet, au travers des différentes présentations, il est apparu clairement que la résistance aux pesticides est un problème en croissance et qu'il importe rapidement de prendre les moyens nécessaires pour l'enrayer. Il est apparu également que toute une batterie d'outils très diversifiés est disponible pour enrayer ou retarder les phénomènes de résistance. L'équipe de conférenciers, par sa diversité, nous aura permis de faire le point sur les phénomènes de résistance tant chez les insectes, que chez les plantes ou chez les champignons, et également de prendre connaissance de différentes approches visant à contrer la résistance des ennemis des cultures aux pesticides.

## The Evolution of Herbicide Resistant Weeds, par le Dr Anita L. Brûlée-Babel (Dept. of Plant Science, University of Manitoba)

On constate une augmentation exponentielle des cas de résistance aux herbicides depuis les trois dernières années. Actuellement, plus de 100 espèces de mauvaises herbes sont résistantes et ce à des herbicides appartenant à près de 15 classes différentes. Les facteurs impliqués dans l'évolution de la résistance chez les mauvaises herbes sont les suivants : la fréquence initiale d'allèles de résistance (ou des allèles conférant la résistance), la contribution des génotypes résistants aux générations subséquentes en présence et en absence d'herbicides, le système de reproduction de la mauvaise herbe et le type d'hérédité de la résistance. Initialement, les allèles de résistance proviennent soit de mutations indépendantes, soit du flux génétique en provenance d'une population résistante. Ces deux mécanismes combinés à l'utilisation répétée d'herbicides avec le même mode d'action peuvent rapidement conduire à l'évolution d'une population résistante. Pour un niveau donné de sélection par les herbicides, la fréquence initiale d'allèles résistants est le facteur le plus important pour déterminer le nombre de générations requises pour atteindre une fréquence donnée de plantes résistantes dans une population. Chez les espèces à fécondation croisée, l'évolution de la résistance a lieu plus rapidement si les allèles de résistance sont dominants que si ils sont récessifs. Chez les espèces auto-pollinisatrices la dominance a peu d'impact sur la vitesse

d'évolution de la résistance.

L'évolution de la résistance chez les mauvaises herbes peut être retardée par des pratiques culturales affectant la pression de sélection sur la population, telles que la rotation de pesticides à différents modes d'action, la rotation de cultures et l'utilisation de méthodes alternatives de lutte aux mauvaises herbes.

## Les cultures transgéniques résistantes aux herbicides : de nouveaux outils de lutte intégrée?, par les Drs Gilles Leroux (Dép. de Phytologie, Université Laval) et François Tardif (Dept. of Plant Science, Guelph University)

Actuellement, 68 % des pesticides agricoles sont des herbicides (pour 21 % d'insecticides, 7 % de fongicides et 4 % d'autres). Les herbicides sont devenus indispensables et le désherbage repose actuellement sur leur efficacité. Pour contourner les problèmes de résistance et optimiser l'action des herbicides, de nouvelles cultures résistantes aux herbicides ont été développées ou sont en cours de développement. Ces cultures sont appelées cultures transgéniques résistantes aux herbicides (ou CTH : cultures tolérantes aux herbicides) et constituent un des fers de lance des recherches actuelles en malherbologie.

Au Canada, l'homologation d'une CTH ne peut se faire qu'après évaluation des risques suivants : dissémination potentielle du gène de résistance, possibilité que la plante résistante devienne une espèce

nuisible, compétitivité, sensibilité aux maladies et aux insectes, et finalement impact sur la flore et la faune. Plusieurs demandes d'homologation ont été déposées et parfois acceptées dans le maïs, le soya, le canola et la pomme de terre. Ces demandes portent principalement sur des CTH résistantes à deux herbicides ayant un impact mineur sur l'environnement, soit le glyphosate et le glufosinate. A titre d'exemple, le soya modifié résistant au glyphosate permet un excellent désherbage avec entre autre la répression du pied-de-coq.

Les CTH présentent des avantages manifestes ; elles pourraient notamment permettre de réduire les quantités et le nombre d'applications globales d'herbicides ainsi que les coûts associés et également d'aider à la répression des espèces coriaces. L'utilisation des CTH présente néanmoins certains risques tels qu'une augmentation possible de l'utilisation des herbicides et de ce fait une augmentation des risques de résistance, ou une réduction de l'utilisation des méthodes de lutte non chimique. Théoriquement, l'utilisation des CTH pourrait également créer des *super mauvaises herbes*, par transfert des gènes de résistance aux espèces sauvages par flux génétique. Un autre problème vient du fait que la culture résistante peut devenir une mauvaise herbe résistante dans une autre culture adjacente ou subséquente. En conclusion, les CTH présentent un potentiel non négligeable et pourraient, dans un système de lutte intégrée, permettre de limiter les effets de résistance aux herbicides par les mauvaises herbes.

---

**L'évolution de la résistance aux insecticides: une réponse sélective prévisible?, par le Dr Yves Carrière (Centre de recherche en horticulture, Université Laval)**

À l'heure actuelle, plus de 500 espèces d'arthropodes sont résistantes à au moins un insecticide. Parmi celles-ci, 20 espèces sont résistantes aux cinq grandes classes d'insecticides. La réponse évolutive d'acquisition de résistance a donc été extrêmement rapide. La durée d'efficacité des insecticides s'est considérablement réduite, malgré des coûts croissants de développement (20 millions \$/produit commercialisé). Pour limiter ou retarder l'apparition de résistance, il importe donc de bien comprendre la dynamique de l'évolution du phénomène. Cette dynamique dépend de la bio-écologie des ravageurs ciblés, de la génétique de la résistance et des procédés employés pour protéger les récoltes. La modélisation constitue un excellent outil pour comprendre cette dynamique d'évolution. Elle permet d'identifier les facteurs prédominants dans l'évolution de la résistance et de mesurer les effets conjoints de différents facteurs. Elle permet en outre l'évaluation des différentes stratégies d'intervention envisagées. L'approche générale envisagée se déroule en quatre phases successives : 1) collecter des informations de base sur la bio-écologie du ravageur, la génétique de la résistance ainsi que sur les traitements insecticides (type et nombre); 2) modéliser le système afin de connaître la dynamique du système et le rôle des différents facteurs impliqués; 3) comparer les différentes stratégies de gestion envisagées et 4) effectuer des tests pour valider les résultats. Pour illustrer cette approche, le Dr Carrière a par la suite présenté ses propres résultats portant sur un cas particulièrement préoccupant, celui de la tordeuse à bandes obliques dans les vergers de pommiers de la région de Deux-Montagnes. Le Dr Carrière étudie depuis près de 10 ans l'évolution de la résistance aux insecticides chez ce ravageur. Il a mis au point un modèle détaillé qu'il compte proposer prochainement aux producteurs et qui pourrait permettre une gestion efficace du problème.

---

**The Evolution and Management of Fungicide Resistance, par le Dr Margaret Tuttle McGrath (Dept. of Plant Pathology, Cornell University)**

Les fongicides, au même titre que les insecticides et les herbicides, ont provoqué l'apparition de résistance chez les champignons. La résistance aux fongicides a commencé à être problématique à la fin des années 60 après l'utilisation de fongicides mono-site tels que le benzimidazole. Les fongicides mono-site sont, contrairement aux fongicides multi-site, biochimiquement sélectifs. Plusieurs mécanismes sont impliqués dans la résistance fongique tels que la réduction d'affinité avec le site-cible, la réduction d'absorption ou l'accroissement des sorties de fongicides, la détoxification, le manque de conversion des matières actives, l'utilisation d'une voie alternative ou encore la compensation. La stratégie de gestion de la résistance consiste d'une part à réduire le temps de sélection en limitant l'exposition à des fongicides à risque, et d'autre part à réduire la pression de sélection en diminuant la pression de la maladie. Pour ce faire, différentes méthodes sont employées telles que la réduction du nombre d'applications, l'utilisation conjointe ou en rotation de fongicides compagnons avec des modes d'action différents, la séparation physique des récoltes successives, l'emploi des traitements au début de l'épidémie afin de limiter le recrutement des mutations conférant la résistance et enfin l'utilisation de cultivars résistants ou de méthodes alternatives de lutte non chimique. L'efficacité des fongicides peut également être accrue par l'utilisation d'un protectant sur le feuillage ou par des méthodes permettant d'augmenter la surface de feuillage couverte par le produit. Toutes ces techniques devraient être utilisées dès l'introduction d'un nouveau fongicide afin d'accroître sa

période d'efficacité. Il existe néanmoins des limitations importantes aux techniques proposées, à savoir le coût plus important associé à l'utilisation de différentes techniques, les délais élevés d'homologation des nouveaux produits et l'absence de fongicides compagnons ou encore de méthodes alternatives disponibles.

---

### **The Evolution of Resistance: An Inevitable Evolutionary Response, par le Dr Marjorie A. Hoy (Dept. of Entomology and Nematology, University of Florida)**

Malgré 40 ans de recherches sur la résistance, il n'existe pas à l'heure actuelle de consensus, de modèle, de paradigme dans l'approche à suivre pour enrayer la résistance. De nombreuses zones obscures demeurent dans la connaissance des mécanismes impliqués dans la résistance. De même, beaucoup de questions concernant les stratégies à employer pour combattre l'apparition de résistance restent en suspens, notamment concernant la rotation des produits utilisés, ou encore les doses à utiliser. À titre d'exemple, l'utilisation de fortes doses de pesticides peut sembler séduisante puisqu'elle pourrait théoriquement éliminer tous les ravageurs, éliminant du même coup les risques de résistance; néanmoins du point de vue pratique, tous les ravageurs peuvent difficilement être éliminés en raison de la présence de refuges dans la culture, c'est pourquoi c'est une stratégie qui devrait être évitée. Dans le même sens, l'utilisation de mixtures ou de rotations de pesticides, quoique prometteuse, ne fonctionne pas lorsqu'on est en présence de résistance croisée.

La résistance aux pesticides par les organismes visés est une réponse inévitable à l'utilisation des pesticides et à la pression de sélection qui en découle. Plus de 500 espèces d'arthropodes sont

maintenant résistantes, il existe même des cas de résistance au Bt (*Bacillus thuringiensis* Berliner). Il est irréaliste de penser éliminer complètement les pesticides, car il n'existe pas toujours de stratégie alternative de lutte contre certains ravageurs dans certains systèmes. La question que devraient se poser les gestionnaires et les chercheurs travaillant sur la résistance aux pesticides n'est pas si la résistance à tel ou tel nouveau produit va survenir ou non, mais plutôt quand la résistance à ce nouveau produit va-t-elle survenir? Leur travail consiste alors non pas à empêcher la venue de résistance, mais plutôt à en retarder l'issue.

Face à la situation actuelle, il importe de développer des programmes de gestion de la résistance (RMP : *Resistance Management Program*) similaires aux programmes de lutte intégrée. Ces programmes devraient considérer la résistance dans un contexte plus large de gestion des organismes nuisibles et prendre en compte les risques pour la santé humaine et pour l'environnement. Ils devraient tenir compte également des programmes de lutte biologique envisageables et de la résistance possible chez les ravageurs secondaires. La réduction du nombre de traitements et de la proportion de la population traitée devraient également être un objectif. Finalement, le développement de nouveaux pesticides devrait, avant enregistrement, prendre en considération l'impact sur les ennemis naturels de l'organisme nuisible et le produit final commercialisé devrait présenter un étiquetage informatif à ce sujet.

---

### **En guise de conclusion**

La résistance aux pesticides est un problème en expansion qui pourrait s'aggraver considérablement si des solutions efficaces ne sont pas mises en place rapidement. Le problème de la résistance se retrouve dans tous les systèmes, en réponse aux applications d'herbicides,

d'insecticides, d'acaricides, de fongicides et même de produits d'origine biologique tels que le Bt (*B. thuringiensis*). L'acquisition de la résistance aux pesticides est une réponse évolutive des ennemis des cultures à la pression de sélection provoquée par les traitements phytosanitaires. Plus on traite, plus la pression de sélection est forte, plus vite devrait apparaître la résistance. Ceci signifie que le système porte en lui son propre vice de fonctionnement, et que la venue de la résistance est inéluctable. Un autre facteur à considérer est le fait que dans certains agroécosystèmes, il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode alternative de lutte contre les ennemis des cultures suffisamment efficace pour remplacer les pesticides.

Devant cette situation, il existe néanmoins différentes approches permettant de contrer ou de retarder la venue de la résistance (CTH, modélisation, méthodes alternatives de lutte, rotation, etc.). Ces différentes approches devraient constituer des composantes d'un programme plus vaste de lutte intégrée, chaque programme devant être adapté à chaque situation. Il est certain que moins nous utiliserons de pesticides, moins nous serons confrontés à des problèmes de résistance et qu'il doit être possible de réduire la quantité de pesticides utilisés dans plusieurs agroécosystèmes. A ce titre, les Pays-Bas, la Suède et le Danemark ont mis au point des programmes de gestion de l'utilisation de pesticides qui ont permis de diminuer considérablement leur emploi en agriculture (Matteson 1997).

Ce symposium nous aura permis de constater qu'une fois de plus, l'approche préventive a été délaissée et qu'il aura fallu attendre l'apparition des problèmes avant de chercher des solutions. Si l'utilisation des pesticides chimiques donne lieu à un débat dans la société, nous avons constaté également que les méthodes visant à contrer ou contourner les problèmes de

résistance, telles que l'utilisation des cultures transgéniques ne font pas nécessairement l'unanimité. Dans les années quarante, les pesticides chimiques constituaient eux-mêmes une solution à un problème existant; cette solution a généré des problèmes imprévus tels que la résistance. Il apparaît donc primordial si on veut réduire les problèmes de résistance sans en générer d'autres, d'adopter à l'avenir une stratégie à long terme intégrant les conséquences éventuelles des différentes méthodes à employer.

## En résumé : Comment retarder l'apparition de la résistance?

- L'évolution de la résistance est un problème très complexe.
- Chaque système est particulier. Il est difficile de faire des recommandations générales.
- Néanmoins, la solution passe nécessairement par :

1-la connaissance du système culture/ravageur/pesticide concerné;  
2-l'utilisation minimale de pesticides;

3-la mise en place d'un système de lutte intégrée (SLI) qui considère la résistance dans un contexte large :

- le SLI doit permettre de gérer les problèmes dus au ravageur;

• le SLI doit tenir compte de la santé humaine;

• le SLI doit tenir compte de l'environnement;

• le SLI doit tenir compte de l'impact sur les auxiliaires naturels;

• le SLI doit tenir compte des ravageurs secondaires;

• le SLI doit tenir compte des coûts économiques;

4-le SLI devrait utiliser le plus possible les méthodes de lutte non chimiques pour lutter contre les ravageurs :

- lutte biologique (auxiliaires naturels, etc.);

• lutte culturale (rotations, etc.);

• lutte physique (piégeages, barrières physiques, etc.);

• dépistage et seuils économiques;

• en derniers recours, lutte chimique raisonnée (rotation ou mixture des produits).

## Pour en savoir plus

**Duke, S.O. 1996.** *Herbicide-Resistant Crops: Agricultural, Environmental, Economic, Regulatory, and Technical Aspects.* Lewis Publishers. Boca Raton, Florida. 420 pp.

**Hoy, M. 1995.** *Multitactic resistance management: an approach that is long overdue?* Florida Entomologist 78: 443-451.

**Jasieniuk, M., A.L. Brûlé-Babel & I.N. Morrison. 1996.** *The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds.* Weed Science 44: 176-193.

**LeBaron, H.M. 1991.** *Distribution and seriousness of herbicide-resistant weed infestations worldwide.* pp 27-43 in J.C. Caseley, G.W. Cussans & R.K. Atkin (eds). *Herbicide resistance in weeds and crops.* Butterworth-Heinemann Ltd. Oxford.

**Matteson, P.C. 1997.** *The "50% pesticide cuts" in Europe: A Glimpse of our future?* Am. Entomol. 41: 210-220.

**Warwick, S.I. 1991.** *Herbicide resistance in Weedy plants: physiology and population biology.* Annu. Rev. Ecol. Syst. 22: 95-114.

## Liste des conférenciers et des conférencières

**Dr Anita L. Brûlée-Babel**

Department of Plant Science, University of Manitoba, Winnipeg (Manitoba), Canada R3T 2N2 – Tél. : 204-474-8221  
Fax : 204-261-5732

E-mail : ababel@ms.umanitoba.ca

**Dr Yves Carrière**

Centre de recherche en horticulture, Université Laval, Québec (Québec), Canada G1K 7P4 – Tél. : 418-656-2131  
poste 2068, Fax : 418-656-7871

E-mail : yves.carriere@crh.ulaval.ca

**Dr Marjorie A. Hoy**

Department of Entomology and Nematology, University of Florida, Box 110620. Gainesville (Florida), États-Unis – Tél. : 352-392-1901 poste 153  
Fax : 352-392-0190

E-mail : mahoy@gnv.ifaf.ufl.edu

**Dr Gilles Leroux**

Département de phytologie, F.S.A.A., Université Laval, Québec (Québec), Canada G1K 7P4 – Tél. : 418-656-5141  
Fax : 418 656-7856

E-mail : gilles.leroux@plg.ulaval.ca

**Dr François Tardif**

Department of Plant Science, Guelph University, Guelph (Ontario), Canada N1G 2W1 – Tél. : 519-824-4120  
poste 3395 Fax: 519-763-8933

E-mail : ftardif@crop.uoguelph.ca

**Dr Margaret Tuttle McGrath**

Department of Plant Pathology, Cornell University, Riverhead (New-York), 11901-1098, États-Unis – Tél. : 516-727-3595  
Fax : 516-727-3611

E-mail : mtm3@cornell.edu

## Remerciements

Merci à Yves Carrière et Raymond-Marie Duchesne pour avoir révisé le texte.

La rédaction de ce résumé a été rendue possible grâce à la participation financière de la



L'auteur est étudiant au doctorat en biologie végétale à l'Université Laval.