

François Belzile, Ph. D., *Université Laval*

---

### Introduction

Bon an, mal an, au cours des cinq dernières années l'orge est cultivée sur environ 100 000 ha au Québec (ISQ, 2009), ce qui en fait une des plus importantes cultures. À titre de céréale adaptée à des climats tempérés, elle occupe une place importante dans le centre et l'est de la province. Malheureusement, les mêmes conditions climatiques qui sont favorables à la culture de l'orge s'avèrent également souvent optimales pour la fusariose de l'épi. Cette maladie est, de loin, celle qui a le plus d'impact négatif sur la production de l'orge au Québec.

### La fusariose de l'épi : de multiples défis

Dans le monde, plus de 20 espèces de champignons (principalement, mais pas exclusivement, du genre *Fusarium*) causent la maladie qu'on nomme fusariose de l'épi chez les petites céréales (Osborne et Stein, 2007). Dans un inventaire que nous avons réalisé conjointement avec le CÉROM (S. Rioux) au début des années 2000, nous avons constaté que 20 espèces différentes étaient présentes dans les grains infectés d'orge (Bourdages et al., 2006). Le *Fusarium graminearum* était la principale espèce causant la fusariose chez l'orge au Québec puisque plus de 40 % des grains d'orge affectés par la fusariose étaient infectés par cette espèce. Deux autres espèces étaient également très présentes (*F. poae* à 23 % et *F. avenaceum* à 16 %). Ensemble, ces trois espèces étaient responsables de 80 % des cas de fusariose.

La description des espèces en cause revêt une importance considérable, car toutes les espèces de *Fusarium* ne produisent pas les mêmes mycotoxines et toutes les mycotoxines ne présentent pas le même niveau de toxicité chez les animaux (y compris les humains). À titre d'exemple, le *F. graminearum* produit principalement le désoxynivalénol (DON pour les intimes), tandis que le *F. sporotrichoides*, la quatrième espèce en importance au Québec (~5 % des grains d'orge infectés), produit plutôt les toxines T-2 et HT-2 qui sont beaucoup plus toxiques que le DON (Gutleb et al., 2002). Ainsi, le cocktail de mycotoxines rencontrées dans les lots de grain sera déterminé par les espèces prédominantes. Comme il a été rapporté que les espèces prédominantes peuvent changer au fil du temps, cela peut avoir un impact considérable sur les mycotoxines à surveiller.

Pour le producteur, les pertes économiques entraînées par la fusariose résultent principalement de deux phénomènes distincts. Tout d'abord, les grains affectés par la maladie sont souvent petits et légers. Lors de la récolte, ces grains sont ainsi sujets à être emportés par la soufflerie de la moissonneuse, réduisant ainsi le rendement en grains récoltés. Ensuite, la présence de mycotoxines dans les grains, lorsqu'elle excède des seuils établis, occasionne un déclassement des grains et le producteur obtiendra un prix inférieur pour sa récolte.

Du point de vue du sélectionneur, le développement de lignées plus tolérantes à la fusariose pose également de nombreux défis. Premièrement, la pression de maladie est fonction des conditions climatiques et varie d'une année à l'autre. Il faut donc faire appel à des pépinières d'essai où, en plus d'introduire un inoculum laborieux à produire, il faut maintenir des conditions d'humidité favorables au développement de la maladie. Malgré cela, des conditions chaudes et sèches en juillet (comme en 2002) peuvent réduire à néant tous ces efforts. Deuxièmement, l'évaluation de la résistance est compliquée du fait que le niveau des symptômes observés n'est pas toujours bien corrélé à la quantité de DON présente dans les grains. Ainsi, pour assurer une sélection efficace, il faut procéder à de très nombreuses et coûteuses mesures de la teneur en DON chaque année. Finalement, la résistance n'est pas complète. Malgré des travaux très importants dans ce domaine, on ne connaît aucun gène de résistance qui permette d'immuniser l'orge contre la fusariose. Le mieux qu'on puisse espérer c'est une réduction de la quantité de DON.

Comme si cela ne suffisait pas, on soupçonne fortement que certains des gènes qui confèrent une résistance partielle à la fusariose sont également responsables de caractères moins désirables sur le plan agronomique. Ainsi, il y aurait une association entre l'architecture de l'épi (2-rangs vs 6-rangs), la hauteur de la plante et une épiaison hâtive (Zhu et al., 1999). Ainsi, les lignées exotiques qui sont les plus résistantes à la fusariose sont généralement très peu agronomiques. À titre d'exemple, dans des parcelles d'essai, ces lignées d'orge ont le plus souvent un rendement qui varie entre 60 et 70 % du rendement des témoins. C'est dire tout le défi qui attend le sélectionneur lorsqu'il entreprend de croiser ces lignées exotiques dotées d'une bonne résistance, mais d'un piètre rendement avec des lignées locales à bon rendement, mais souvent très sensibles à la fusariose.

## **Les biotechnologies au service de l'amélioration**

Nous croyons que les biotechnologies peuvent nous aider à développer plus rapidement des lignées combinant une bonne performance agronomique et une résistance accrue à la fusariose. Parmi l'ensemble des outils disponibles, nous avons choisi de faire appel : 1) à la culture in vitro pour produire des plantes haploïdes doublées (« HD »), et 2) aux marqueurs moléculaires. Dans ce qui suit, nous expliquerons comment ces outils sont mis à profit dans le cadre de nos travaux de recherche.

Un des défis principaux posés par la situation décrite plus haut est qu'il faudra vraisemblablement effectuer plus d'un cycle de sélection avant de pouvoir obtenir une lignée d'orge qui combine à la fois un excellent rendement et une résistance accrue à la fusariose. Chaque cycle de sélection commence avec un croisement entre une lignée porteuse de résistance et une lignée agronomique. En sélection classique, il faut typiquement patienter cinq ans pour obtenir une descendance constituée d'un ensemble de lignées qui sont stables au plan génétique et dont on possède assez de grains pour évaluer la résistance à la maladie et les performances agronomiques. Cette phase d'évaluation et de sélection (c.-à-d. l'élimination de la majorité de ces lignées) nécessite aisément cinq autres années. Ainsi, il faut compter pas moins de 10 ans pour mettre compléter un cycle de sélection.

Lorsqu'on fait appel à la culture de microspores isolées (CMI), on peut obtenir en une seule année des lignées HD et ces lignées sont fixées génétiquement, ce qui signifie que le comportement observé sera le même d'une génération à l'autre. En gros, on isole des grains de pollen immatures et on les amène à produire des embryons directement (sans qu'il y ait fécondation). Ces embryons vont ensuite germer dans des plats de Pétri (cf. diapo 6 de la présentation PowerPoint) et produire de jeunes plantules. Suite à leur acclimatation, ces plantules seront transférées en serre (diapo 7) où plus des deux tiers seront fertiles. Ces plantes fertiles sont des lignées HD dont le bagage génétique est maintenant entièrement fixé. On peut dès lors commencer leur multiplication et leur évaluation au champ. En ayant recours aux HD, on réussit à raccourcir d'environ trois ans un cycle de sélection (sept ans au lieu de dix).

La seconde biotechnologie à laquelle nous faisons appel est celle des marqueurs moléculaires. Cela vise à faciliter l'identification des lignées qui présentent une résistance accrue à la fusariose, ou plus précisément, une teneur réduite en DON dans les grains. Comme nous l'avons souligné précédemment, l'évaluation de la résistance à la maladie dans des pépinières sous inoculation artificielle est sujette à de nombreux aléas (principalement climatiques) en plus d'être très laborieuse et coûteuse. Pour contourner ces difficultés, nous voulons examiner le bagage génétique des lignées d'orge et sélectionner celles dont le bagage génétique les prédispose à une moindre accumulation de toxine. Pour y arriver (diapo 10), nous examinons une grande collection de lignées d'orge dont nous avons déjà mesuré le degré de résistance. Ensuite, nous examinons l'empreinte génétique de chacune de ces lignées à l'aide d'un grand nombre de marqueurs moléculaires (~1000 marqueurs sur chaque lignée), chacun de ces marqueurs nous renseignant sur une région chromosomique particulière. Nous recherchons ensuite une association entre un marqueur et la résistance à la fusariose. Une fois une telle association trouvée, nous pouvons pratiquer une sélection assistée de marqueurs où les lignées sélectionnées n'ont pas à être testées pendant plusieurs années en présence de la maladie. Ce travail d'identification et de validation de marqueurs moléculaires permettant d'identifier des lignées d'orge plus résistantes à la fusariose est en cours, et nous espérons pouvoir l'employer dans un avenir proche afin d'accélérer le développement de nouvelles variétés d'orge.

## Des lueurs d'espoir...

Malgré l'importance des défis auxquels nous faisons face, certaines avancées nous amènent à croire qu'il sera possible de réduire la sensibilité à la fusariose. Au cours des dernières années, des progrès ont été réalisés et sont parfois surgis de nulle part pour ainsi dire. À titre d'exemple, il est intéressant de considérer l'orge Synasolis, une variété qui est issue du croisement entre deux parents qui n'étaient pas perçus comme étant dotés d'une résistance particulière. Malgré cela, nous avons réussi à en tirer une lignée intéressante au plan agronomique et qui présente une bonne résistance à la fusariose dans certaines régions. Cela nous amène à penser que des progrès sont possibles et qu'il faut peut-être mieux caractériser nos ressources génétiques locales.

## Conclusions

Comme nous l'avons décrit plus haut, la fusariose de l'épi constitue un problème extrêmement difficile et complexe. Il ne faut donc pas espérer une « solution miracle » qui nous tombe du ciel. Il faut plutôt envisager que le développement de variétés plus résistantes se fera en franchissant un petit pas à la fois. En faisant appel aux biotechnologies, nous visons à réduire le temps requis pour compléter un cycle de sélection et faciliter l'identification de lignées dotées d'un bagage génétique supérieur en matière de résistance à la fusariose. Ainsi, pour rester fidèle à notre analogie des petits pas, nous espérons pouvoir marcher plus vite et prendre de plus grandes enjambées sur la voie qui mène au développement de variétés d'orge améliorées!

## Références

- Bourdages JV, Marchand S, Rioux S, Belzile F. 2006. Diversity and prevalence of *Fusarium* species in Québec barley fields. **Canadian Journal of Plant Pathology** 28: 419-425.
- Gutleb AC, Morrison E et Murk AJ. 2002. Cytotoxicity assays for mycotoxins produced by *Fusarium* strains: a review. **Environmental Toxicology and Pharmacology** 11:309-320.
- Institut de la statistique du Québec. 2009. Site web consulté le 25 novembre 2009 ([http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm\\_finnc/filr\\_bioal/culture/culture/index.htm](http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/culture/index.htm)).
- Osborne LE et Stein JM. 2007. Epidemiology of *Fusarium* head blight on small-grain cereals. **International Journal of Food Microbiology** 119:103-108.
- Zhu H, Gilchrist L, Hayes P, Kleinhofs A, Kudrna D, Liu Z, Prom L, Steffenson B, Toojinda T et Vivar H. 1999. Does function follow form? Principal QTLs for *Fusarium* head blight (FHB) resistance are coincident with QTLs for inflorescence traits and plant height in a doubled-haploid population of barley. **Theoretical and Applied Genetics** 99 :1221-1232.