

Fiche 1 : La problématique des résistances aux maladies et de la gestion durable des résistances

Rédaction: Carole Caranta, INRA, Département de Biologie et Amélioration des Plantes; Didier Merdinoglu, UMR Santé de la Vigne et Qualité du Vin, INRA, Centre de Colmar ; François Delmotte, Laurent Delière, UMR Santé et Agroécologie du Vignoble, INRA, Centre de Bordeaux.

La gestion durable des résistances aux agents pathogènes est incontournable pour assurer la pérennité des variétés résistantes

La présence de gènes de résistance permet de limiter, retarder ou empêcher le déroulement du cycle d'infection de l'agent pathogène ou du ravageur dans la plante. Ainsi, l'utilisation des gènes de résistance dans les variétés est un moyen efficace de protection des cultures. **Leur utilisation s'est accrue avec l'exigence sociétale croissante du respect de l'environnement et l'objectif de diminution de l'usage des pesticides.**

Néanmoins, contrairement à la stabilité observée pour la plupart des autres caractères d'intérêt agronomiques, le contrôle des maladies obtenu à l'aide de gènes de résistance peut subir, au cours du temps, une perte d'efficacité. **Cette perte d'efficacité, également appelée « contournement des résistances » ou « érosion », est liée à l'apparition de souches d'agents pathogènes capables d'infecter des cultivars initialement résistants.**

Les gènes de résistance disponibles dans les ressources génétiques constituent une **ressource limitée** et la prospection d'espèces sauvages, sources potentielles de nouveaux gènes de résistance, est rendue plus complexe par la mise en œuvre des traités sur la biodiversité. **Il est donc indispensable de définir des règles d'exploitation des sources de résistance à notre disposition afin de maximiser leur efficacité et leur durée d'utilisation.** Cet enjeu est particulièrement important pour les espèces pérennes et pour les espèces où le réservoir de gènes de résistance à un pathogène donné est limité.

Caractéristiques des gènes de résistance et paramètres d'estimation de leur durabilité

La résistance d'une plante à un agent pathogène peut être qualifiée par 3 critères indépendants s'inscrivant chacun dans un continuum : le nombre de gènes contrôlant la résistance (un seul à plusieurs), le niveau de résistance (partielle à totale) et le spectre d'action de la résistance (efficace vis-à-vis d'un nombre limité de races de l'agent pathogène ou étendu à la plupart des races).

Concernant la durabilité des résistances, **une résistance est dite durable « lorsqu'elle reste efficace dans une variété cultivées sur de grandes surfaces, pendant une longue période de temps, et dans des conditions favorables au développement de la maladie » (Johnson, 1981).** La durabilité des résistances aux agents pathogènes est conditionnée par de nombreux facteurs : la plante (gènes de résistance, combinaison de gènes), les caractéristiques de l'agent pathogène (taille des populations, système de reproduction, coût de la virulence, etc.), le peuplement cultural (variété, associations de variétés), l'agrosystème (gestion spatio-temporelle des variétés, pratiques culturales et itinéraires techniques).

Promouvoir une gestion durable des résistances implique de maîtriser les pressions de sélection exercées par les gènes de résistance sur les agents pathogènes

En pratique, l'enjeu majeur pour gérer durablement les résistances déployées dans les variétés est de maîtriser les pressions de sélection exercées par les gènes de résistance sur les bioagresseurs.

Dans ce cadre, les recherches conduites par les généticiens, les pathologistes et les agronomes ont pour **but de proposer des variétés et des modes de conduites associés limitant l'émergence et la diffusion de souches virulentes de l'agent pathogène.** Une stratégie de déploiement visant à

préserver la durabilité des résistances **suppose également une cohérence dans les choix des différents acteurs.**

Concernant les variétés, **la stratégie dite de pyramidage**, consistant à associer plusieurs facteurs génétiques dans une même variété, **permet d'augmenter très sensiblement la durabilité de la résistance, et ce quelque soit le type d'agents pathogènes considéré** (e.g., virus, bactéries, champignons, nématodes..). En effet, certains gènes de résistance, contournés dans un fond génétique sensible, voient leur durabilité fortement augmentée dans un fond génétique partiellement résistant (*Palloix et al., 2009 ; Brun et al., 2010 ; Quenouille et al., 2013 ; Quenouille et al., 2014*). Par ailleurs, la durabilité apparaît être fonction des propriétés intrinsèques des différents gènes mais aussi de leur combinaison. Un sélectionneur aura, *a priori*, avantage à cumuler des gènes à large spectre d'action (généralistes), plutôt que des gènes à spectre d'action étroit (spécifiques) et à combiner des mécanismes différents (e.g., agissant à différentes étapes du cycle infectieux de l'agent pathogène). **Le pyramidage tout en augmentant le niveau et la durabilité des résistances, doit être combiné à des pratiques pour maximiser l'atteinte des objectifs. Par ailleurs cette stratégie fonctionne d'autant mieux si les gènes de résistance pyramidés n'ont pas été utilisé antérieurement et les pathogènes virulents (capable de contourner les résistances) ne pré-existent pas dans les populations naturelles.**

D'autres travaux, basés sur des approches expérimentales et/ou de modélisation, ont **comparé différentes stratégies de déploiement des résistances** afin de limiter leur contournement : le pyramidage de gènes de résistance dans une variété, l'alternance de la culture de variétés présentant différents gènes de résistance (rotation), ou encore le mélange de variétés présentant différents gènes ou de variétés résistantes et sensibles, à l'échelle d'une parcelle ou d'une région (*Djian-Caporalino et al., 2014 ; Fabre et al., 2012 ; Fabre et al., 2015*). **Cette question est essentielle car la manière dont ces gènes seront déployés au champ aura un impact direct sur le potentiel adaptatif des bio agresseurs et donc sur leur durabilité** (*McDonald et Linde 2002, Sapoukhina et al. 2009*). Le choix des leviers optimum dépend du couple plante-pathogène ou du cortège de pathogènes concernés, de la ressource en gènes de résistance et des fonds génétiques disponibles, et en particulier des caractéristiques biologiques de l'agent pathogène (taille des populations, les flux de gènes et les systèmes de reproduction) qui, ensemble, déterminent son potentiel évolutif. L'identification des meilleures stratégies doit mobiliser autant que possible les approches de modélisation, dans le temps et dans l'espace, car le test expérimental de tous les scénarios sous les différentes conditions pédoclimatiques n'est pas envisageable.

Plus généralement, **les pratiques agronomiques** visant à contrôler un pathogène donné telles que les méthodes prophylactiques, la lutte chimique ou biologique peuvent, en théorie, être combinées afin d'augmenter la durabilité des gènes de résistance (*Ratnadass et al. 2012*). Cependant, il n'existe pas à notre connaissance de données expérimentales permettant d'appuyer cette hypothèse. Ceci nécessite en effet des dispositifs spécifiques de longue durée et à large échelle qui sont coûteux à mettre en place et à suivre (*Voir Fiche Observatoire du déploiement des cépages résistants*).

Etat des connaissances chez la vigne

La protection contre les agents pathogènes, ravageurs et vecteurs de maladies de la vigne est actuellement essentiellement réalisée par des moyens de lutte chimique, la viticulture se situant au second rang sur le marché des produits phytosanitaires après les céréales (**20% des pesticides utilisés pour 3% des surfaces agricoles**). L'un des enjeux majeurs pour la viticulture française, est donc la maîtrise des applications de produits phytosanitaires, tout en maintenant une haute exigence sur la qualité du produit. La réduction de l'usage des produits phytosanitaires dans la culture de la vigne répond à l'enjeu de la protection de l'environnement (qualité de l'eau et des sols, biodiversité), mais également à ceux de la compétitivité de la filière, de la santé humaine et, plus généralement, du développement durable.

- **Les gènes de résistance au mildiou et à l'oïdium chez la vigne :** *Voir Fiche Les gènes de résistance au mildiou et à l'oïdium au sein des Vitis et genres apparentés*

- **Contournement et érosion des gènes de résistance au mildiou et à l'oïdium**

Nous disposons aujourd'hui de très peu de données pour prédire le potentiel évolutif de l'oïdium et du mildiou de la vigne face au futur déploiement des résistances de la vigne. **Dans leur bassin d'origine (Amérique du Nord), l'oïdium et le mildiou de la vigne sont tous deux capables d'infecter une large gamme d'espèces de *Vitis* spp.** (Brewer et al. 2010 ; Frenkel et al. 2010 ; Rouxel et al. 2013, 2014). Les populations européennes des deux pathogènes ont subi un fort goulet d'étranglement à l'introduction et présentent une faible diversité génétique par rapport aux populations américaines (Chen et al. 2007 ; Frenkel et al. 2011 ; Rouxel et al. 2012 ; Fontaine et al. 2014). Rouxel et al (2013) a également montré l'existence de plusieurs espèces cryptiques de *P. viticola* aux Etats-Unis (Rouxel et al. 2013 ; 2014), une seule espèce ayant été introduite en Europe. **Une incertitude demeure donc sur les conséquences engendrées par de nouvelles introductions de l'oïdium et du mildiou en Europe. Plusieurs cas avérés d'érosion de gènes de résistance ont été documentés pour le mildiou et l'oïdium** (présentés dans le tableau 1 ci-dessous).

| Article/ Etude | QTL | Cépage inoculé | Isolats testés | Résultat |
|--|-------------|------------------------|---|--|
| le la vigne | | | | |
| Peressotti et al. 2010 | Rpv3 | Bianca | 1 isolat collecté sur Bianca en République Tchèque | contournement de Bianca |
| Delmotte et al. 2014 | Rpv3 | Regent | 17 isolats sur Regent en France, Allemagne et Hongrie(2008, 2010) | érosion importante de Regent |
| | Rpv1 | Mtp-3082-1-42 | 3 isolats sur Rv4 Bouquet et 13 sur descendants RESDUR portant Rpv1 (2008) | pas d'érosion observée |
| Delmas et al. 2016 | Rpv3, Rpv10 | Regent, Prior, Bronner | 54 isolats sur différents cépages résistants en Allemagne et en Suisse(2012) | érosion : augmentation de 7% à 26% de la sporulation sur les cépages résistants |
| e la vigne | | | | |
| Delmotte et al., KBBE Innovine, non publié | Ren3 | Regent, Solaris | 27 isolats prélevés sur différents cépages résistants en Suisse et en Allemagne (2013) | érosion : augmentation de 50% de l'efficacité d'infection et de la taille des colonies sur les cépages résistants |
| Feechan et al. 2013, Fechan et al. 2016 | Run1 | vignes transgéniques | 1 isolat collecté sur Muscadine (Géorgie, USA), 2 isolats collectés dans l'état de NY (USA) et 2 isolats collectés à Geneva sur des vignes portant Run1 (NY, USA) | Sur les génotypes portant Run1 : les 4 isolats de NY font plus ou moins de ramifications secondaires mais ils ne sporulent pas. Les isolats collectés à Geneva (sur des plantes Run1) présentent un développement mycélien intermédiaire plus important que les autres isolats de NY. Finalement, l'isolat issu de la muscadine est le seul à contourner Run1 : il produit plus de colonies que les autres, se développe et réussit à sporuler (modérément). |

- **Données sur le pyramidage des gènes de résistance au mildiou et à l'oïdium**

En dehors de l'effet attendu sur la durabilité de la résistance, **le pyramidage de gènes peut avoir un effet direct sur le niveau de protection conférée vis à vis du pathogène.** Par exemple, dans un expérience menée sur l'oïdium, un effet additif de l'association des gènes *Run1* et *Ren2*, comparée à *Run1* ou *Ren2* seul, est observé sur la résistance (impact sur la formation des colonies) et ce, quelque soit l'agressivité de la souche utilisée (Feechan et al 2015). En revanche, cette association ne semble pas offrir une résistance significativement supérieure aux gènes seuls vis à vis d'une souche d'oïdium Musc4 contournant la résistance *Run1*.

- **Systèmes de culture basés sur des cépages résistants**

Avec l'arrivée des cépages résistants, la question de leur intégration dans les systèmes de culture se pose. En effet, leur utilisation va modifier en profondeur non seulement les objectifs mais aussi les méthodes de protection. Ces systèmes de culture devront à la fois compléter l'efficacité partielle des gènes de résistance (notamment pour le mildiou), et prendre en compte la durabilité de ces résistances et la maîtrise des maladies et ravageurs non ciblés par les gènes de résistance. La conception des systèmes de culture basés sur les cépages résistants fait l'objet d'un projet financé par le Métaprogramme INRA SMAcH (Sustainable Management of Crop Health, Projet PANORAMIX).