

PRESSE Dossier

Pour une viticulture durable et de qualité :
les résistances au cœur de la sélection variétale

Conférence de presse
lundi 16 janvier 2017



www.inra.fr

SOMMAIRE

- Pour une viticulture durable et de qualité : les résistances génétiques au cœur d'une stratégie globale - *communiqué de presse du 16 janvier 2017*
- Fiches d'information :
 - > La gestion durable des résistances aux agents pathogènes est incontournable pour assurer la pérennité des variétés résistantes - p.5 -
 - > Les gènes de résistance au mildiou et à l'oïdium de la vigne - p.7 -
 - > La création française de matériels génétiques améliorés pour la résistance au mildiou et à l'oïdium (Resdur et Bouquet) - p.11 -
 - > L'Observatoire national du déploiement des cépages résistants (OsCaR) - p.15 -
 - > L'unité mixte technologique Géno-Vigne - p.17 -
 - > La marque ENTAV-INRA® - p.19 -
 - > Le cadre réglementaire relatif à l'inscription et au classement des variétés de vigne de cuve - p.21 -

Contacts presse

Service de presse de l'Inra : presse@inra.fr - T. 01 42 75 91 86

IFV, Régis Cailleau : Regis.CAILLEAU@vignevin.com - T. 04 66 51 10 16 / 06 46 32 01 21

Communiqué de presse - lundi 16 janvier 2017

Pour une viticulture durable et de qualité : les résistances génétiques au cœur d'une stratégie globale

L'application de produits de protection de la vigne est présente dans tous les vignobles, notamment contre deux maladies foliaires : le mildiou et l'oïdium. Dans le contexte de nécessaire réduction de l'usage et des impacts des pesticides en cohérence avec une forte attente sociétale, la résistance génétique de la vigne est un levier clé, sous réserve qu'elle ne soit pas contournée par les agents pathogènes. L'Inra et l'Ifv ont présenté le 16 janvier 2017 les travaux menés pour concevoir et déployer ces variétés résistantes et les systèmes viticoles de demain. L'Observatoire national du déploiement des cépages résistants, élément important du dispositif, est officiellement lancé. L'approche complémentaire de modélisation et la démarche de dépôt à l'inscription d'un certain nombre de variétés résistantes ont été annoncées.

Activité économique majeure, la viticulture doit répondre à des attentes sociétales fortes, en matière de qualité, de diversité des produits viticoles et de modes de production, notamment pour leurs impacts liés aux intrants phytosanitaires. L'application de produits de protection de la vigne est présente dans tous les vignobles contre un certain nombre de parasites, principalement contre deux maladies foliaires : le mildiou et l'oïdium. Parmi les options pour réduire l'utilisation des pesticides, la résistance génétique des variétés apparaît comme une alternative efficace et sûre.

Des variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium

En France aujourd'hui, l'amélioration de la vigne pour la résistance au mildiou et à l'oïdium est conduite par l'Inra, en partenariat avec l'Ifv depuis 2012. L'Inra a développé de façon historique une recherche forte dans ce domaine, qui a conduit notamment à une solide connaissance de la génétique des résistances et de leur provenance, la mise au point de marqueurs pour détecter ces gènes.

A partir de 1974, des travaux sont menés pour incorporer à la vigne européenne (*Vitis vinifera*) des facteurs de résistance originaux à ces deux maladies et portés par une espèce sauvage (*Muscadinia rotundifolia*). Ce programme a abouti au bout de 25 ans aux variétés monogéniques baptisées « Bouquet », portant un gène de résistance au mildiou et un gène de résistance à l'oïdium. Le dépôt pour l'inscription de 7 variétés de cuve de ce type est en cours.

A partir de 2000, l'Inra engage un programme de création variétale à partir des variétés Bouquet, axé sur le couplage de résistances d'autres provenances, et ayant pour objectif de conforter la durabilité des résistantes en associant d'autres gènes. Ces variétés polygéniques sont appelées « Resdur » et plus de 30 d'entre elles font ou feront l'objet d'un dépôt pour l'inscription en 2017. Les premières seront normalement inscrites au catalogue en décembre 2017.

L'observatoire OsCaR sur la durabilité des résistances

Pour étudier la durabilité de ces résistances et le comportement des variétés Bouquet et Resdur en cours d'inscription (mais aussi de variétés étrangères), en respectant les règles liées au classement temporaire des variétés, l'Inra et l'Ifv mettent en place un observatoire national du déploiement des cépages résistants



(OsCaR). Ce dispositif constitue un enjeu majeur pour l'ensemble de la filière viti-vinicole, le déploiement efficace de ces nouveaux cépages conditionnant sa capacité à réduire l'usage des pesticides.

L'enjeu de cet outil unique pour la recherche et précieux pour les professionnels est d'évaluer en grandeur réelle la durabilité des résistances, c'est-à-dire surveiller l'évolution des populations d'oïdium et de mildiou, évolution qui pourrait conduire à une perte d'efficacité des gènes s'ils étaient contournés. Les pratiques agronomiques et œnologiques seront enregistrées. La production et la qualité des vins seront analysées, car elles constituent bien sûr des éléments clés de la réussite de ces nouveaux cépages. Ce dispositif repose sur un partenariat avec les viticulteurs, notamment pour la collecte des données sur les Chambres d'agriculture ou les comités interprofessionnels. Il se fait dans le cadre d'un engagement contractuel fort avec les organisations interprofessionnelles.

Une approche de modélisation complémentaire

L'ensemble des données collectées grâce à ce dispositif de terrain de l'observatoire sera utile dans une approche innovante de modélisation. Elle permettra de prévoir les risques de contournement en fonction des milieux et des conduites. Elle permettra également de tester des configurations originales comme l'organisation de trame paysagère combinant des polygéniques et des monogéniques, ce qui est impossible expérimentalement.

L'objectif de cette stratégie pour une viticulture durable et de qualité est de créer les conditions pour un déploiement aussi rapide que possible des innovations sur le terrain. Elle actionne à la fois l'accélération des créations variétales et leur déploiement opérationnel, notamment grâce au partenariat avec l'Ifv et la filiale Entav-International Ifv-AgriObtentions, et avec les viticulteurs engagés dans notre démarche.

Elle souligne l'engagement fort de l'Inra d'apporter à la viticulture française des solutions nouvelles et solides pour relever le défi d'une production de qualité, et faiblement consommatrices de produits phytopharmaceutiques,

Inra et Ifv un partenariat privilégié pour une viticulture durable et compétitive

Compte tenu de leurs objectifs partagés et de leur complémentarité, l'Inra et l'Ifv ont signé, en juin 2012, un accord-cadre portant sur la sélection végétale vigne. Ce contrat a eu pour objectif de mettre à disposition des pépiniéristes et des vigneron français la meilleure sélection végétale au monde. Il consacre la marque commune ENTAV-INRA® et une société commune chargée de la diffusion des sélections, ENTAV International, associant l'Ifv et Agri Obtentions, filiale de l'Inra. Ce contrat cadre a permis également de mutualiser les compétences et les moyens dédiés de l'Inra et de l'Ifv de développer leur collaboration scientifique, technique et économique, et de favoriser la diffusion coordonnée des résultats de leurs travaux et les transferts de technologie auprès des différents acteurs de la filière viti-vinicole pour une viticulture française compétitive, durable et des vins de qualité.

Contacts presse :

Service de presse de l'Inra : presse@inra.fr - T. 01 42 75 91 86

IFV, Régis Cailleau : Regis.CAILLEAU@vignevin.com - T. 04 66 51 10 16 / 06 46 32 01 21

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 utilisés 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.

Les gènes de résistance au mildiou et à l'oïdium de la vigne

Même s'il est maintenant bien admis que la création de variétés de vigne résistantes constitue une voie majeure pour répondre à l'enjeu que constitue le contrôle des maladies et ravageurs, les variétés traditionnelles de vigne cultivée d'origine européenne (*Vitis vinifera*) sont dans leur grande majorité sensibles au mildiou et à l'oïdium.

En revanche, plusieurs sources naturelles présentant une résistance au mildiou et à l'oïdium ont été identifiées dès la fin du XIX^{ème} siècle et le début du XX^{ème} siècle chez des espèces de *Vitis* d'origine américaine, comme *V. rupestris*, *V. lincecumii* ou *V. berlandieri*. Des croisements complexes entre des vignes américaines et les cépages européens ont été réalisés dans l'objectif d'obtenir de nouvelles variétés, résistantes à la fois à l'oïdium, au mildiou et phylloxéra, trois maladies importées des Etats-Unis d'Amérique. Les recherches développées au cours du XX^{ème} siècle ont permis de compléter l'inventaire des sources de résistance en y ajoutant de nouvelles espèces de *Vitis* américaines mais également des espèces de *Vitis* d'origine asiatique, parmi lesquelles *V. amurensis*, et une espèce appartenant à un genre apparenté au genre *Vitis*, *Muscadinia rotundifolia*. Ces espèces sont inter-fertiles avec la vigne cultivée mais à des niveaux variables, les hybrides de première génération entre *M. rotundifolia* et *V. vinifera* étant particulièrement difficile à obtenir.

Depuis le début du XXI^{ème} siècle, les recherches visant à connaître le déterminisme génétique de ces résistances se multiplient, les principales questions étant le nombre de gènes de résistance en jeu, leur localisation chromosomique, le niveau de résistance conféré, leur spécificité et leur nature moléculaire. Ces travaux utilisent comme matériel végétal soit directement les espèces sauvages sources de la résistance, soit des variétés résistantes ayant, pour la plupart, probablement hérités de facteurs de résistance des espèces sauvages faisant partie de leur ascendance.



© Inra - Christian Slagmulder





Fructifications de mildiou sur feuille (face inférieure), du à *Plasmopara viticola*.
© Inra - Yvon Bugaret

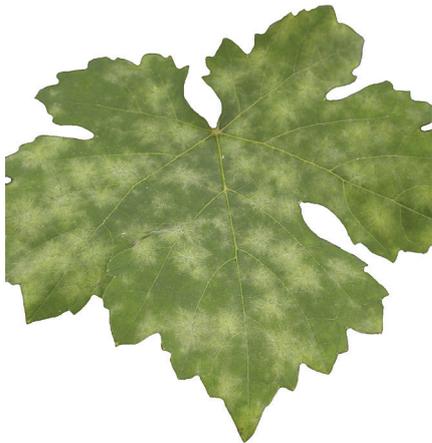
Les facteurs de résistance au mildiou ont été nommés *Rpv*, pour résistance à *Plasmopara viticola*, l'agent causal du mildiou de la vigne. Les facteurs identifiés à ce jour sont présentés dans le tableau ci-après.

Locus	Origine de la résistance	Localisation chromosomique	Niveau de résistance	Référence
<i>Rpv1*</i>	<i>M. rotundifolia</i>	12	Partielle élevée	Merdinoglu et al 2003
<i>Rpv2**</i>	<i>M. rotundifolia</i>	18	Totale	Wiedemann-Merdinoglu et al 2006
<i>Rpv3*</i>	<i>V. rupestris</i>	18	Partielle	Bellin et al 2009, Welter et al 2007
<i>Rpv4</i>	<i>Vitis</i> américain	4	Partielle faible	Welter et al 2007
<i>Rpv5*</i>	<i>V. riparia</i>	9	Partielle faible	Marguerit et al 2009
<i>Rpv6</i>	<i>V. riparia</i>	12	Partielle faible	Marguerit et al 2009
<i>Rpv7</i>	<i>Vitis</i> américain	7	Partielle faible	Bellin et al 2009
<i>Rpv8**</i>	<i>V. amurensis</i>	14	Partielle élevée	Blasi et al 2011
<i>Rpv9</i>	<i>V. riparia</i>	7	Partielle faible	Moreira et al 2011
<i>Rpv10*</i>	<i>V. amurensis</i>	9	Partielle élevée	Schwander et al 2011
<i>Rpv11</i>	<i>Vitis</i> américain	5	Partielle faible	Fischer et al 2004
<i>Rpv12*</i>	<i>V. amurensis</i>	14	Partielle élevée	Venuti et al 2013
<i>Rpv13</i>	<i>V. riparia</i>	12	Partielle faible	Moreira et al 2011
<i>Rpv14</i>	<i>V. cinerea</i>	5	Non déterminé	Ochssner et al 2016

*connus pour être effectivement utilisés dans les programmes européens en sélection assistée par marqueurs ou ** spécifiques des programmes de sélection Inra

Pour la plupart, les facteurs identifiés à ce jour confèrent à la vigne qu'une résistance partielle au mildiou, mais parfois très élevée, hormis *Rpv2* qui apporte une résistance totale dans le contexte génétique de l'étude. Ils ont pour origine deux espèces d'origine asiatique (*V. amurensis* et *V. piasezkii*) et au moins quatre espèces d'origine américaine (*V. rupestris*, *V. riparia*, *V. cinerea* et *M. rotundifolia*) mais on ne peut exclure que certaines autres soient concernées. Les chromosomes 12 et 18 sont les mieux pourvus. Alors que *Rpv8* et *Rpv12* constituent probablement deux formes du même gène (dites "allèles"), *Rpv2* et *Rpv3* sont clairement distincts bien que situés dans la même région du chromosome 18.





Les facteurs de résistance au mildiou ont été nommés Rpv, pour résistance à *Plasmopara viticola*, l'agent causal du mildiou de la vigne. Les facteurs identifiés à ce jour sont présentés dans le tableau ci-après.

Feuille de vigne montrant des symptômes d'oïdium © Université Bourgogne - Sophie Itrouvelot -

Locus	Origine de la résistance	Localisation chromosomique	Niveau de résistance	Référence
<i>Run1*</i>	<i>M. rotundifolia</i>	12	Totale	Pauquet et al 2001
<i>Run2.1</i>	<i>M. rotundifolia</i>	18	Partielle	Riaz et al 2011
<i>Run2.2**</i>	<i>M. rotundifolia</i>	18	Partielle	Riaz et al 2011
<i>Ren1*</i>	<i>Vitis vinifera</i>	13	Partielle	Hoffmann et al 2008
<i>Ren2</i>	<i>Vitis vinifera</i>	14	Partielle	Dalbo et al 2001
<i>Ren3*</i>	<i>Vitis</i> américain	15	Partielle	Welter et al 2007
<i>Ren4</i>	<i>Vitis romanetii</i>	18	Partielle	Riaz et al 2011
<i>Ren5</i>	<i>M. rotundifolia</i>	14	Totale	Blanc et al 2012
<i>Ren6</i>	<i>V. piasezkii</i>	9	Totale	Pap et al 2016
<i>Ren7</i>	<i>V. piasezkii</i>	19	Partielle	Pap et al 2016
<i>Ren8</i>	<i>Vitis</i> américain	18	Partielle	Zyprian et al 2016

*connus pour être effectivement utilisés dans les programmes européens en sélection assistée par marqueurs ou ** spécifiques des programmes de sélection Inra

De même que pour la résistance au mildiou, les facteurs de résistance à l'oïdium ont pour origine les compartiments des *Vitis américains*, asiatiques et *M. rotundifolia*. Concernant leur localisation, le chromosome 18 est le mieux pourvu, les trois facteurs *Run 2.1* *Run 2.2*, *Ren4* et *Ren8* étant situés dans la même région.

Ces espèces constituent ainsi un réservoir de ressources génétiques important pour améliorer la vigne cultivée pour sa résistance aux bio-agresseurs. La connaissance du génome de la vigne permet d'observer que les facteurs de résistance aujourd'hui identifiés sont situés dans des régions riches en analogues de gènes de résistance de type NBS-LRR (gène R). Ces gènes, constituant une famille de plus de 800 membres chez la vigne, ne sont pas répartis aléatoirement sur le génome mais regroupés dans des régions appelés clusters. Le clonage de *Rpv1* et *Run1* (Feechan et al 2013) a permis de confirmer ces observations qui permettent en partie d'expliquer pourquoi des facteurs de résistance, y compris vis à vis de différents pathogènes ou identifiés dans des sources distinctes, peuvent être très proches sur le génome.



Un premier cas de contournement du facteur de résistance au mildiou *Rpv3* par une souche appelée Lednice a été décrit en Europe chez le cultivar résistant 'Bianca' (Peressotti et al, 2010). Par ailleurs, des infections naturelles d'oïdium ont été décrites en Amérique du Nord sur des plantes porteuses du locus de résistance à l'oïdium *Run1* (Cadle-Davidson et al, 2011) et le contournement de *Run1* par une souche d'oïdium Mus4 a été confirmé par des expériences utilisant des plantes portant *Run1* transgéniques (Feechan et al 2013) ou issues de croisements (Feechan et al 2015).

Même si ces gènes paraissent plutôt nombreux, ils constituent un patrimoine fragile, leur efficacité, et donc leur utilité, étant soumises aux risques d'évolution des populations de pathogènes. Par ailleurs, tous ne sont, de loin, pas utilisés ou utilisables en sélection, par exemple, du fait de leur effet trop faible, ou ne s'exprimant que dans un contexte génétique particulier, ou encore n'étant aujourd'hui disponible que dans un fond génétique sauvage, porteur de non-qualité. Il apparaît essentiel de préserver ce patrimoine commun à travers une utilisation et un déploiement dans les variétés, puis une gestion à l'échelle du vignoble, guidés par les principes d'une gestion durable qui mettent en œuvre, notamment, l'association dans une même obtention de plusieurs gènes de résistance vis à vis d'un pathogène, stratégie appelée pyramidage. Hormis la ressource rare que constituent les gènes de résistance, leur passage du fond génétique sauvage d'origine à un fond génétique cultivé nécessite 5 à 7 générations, soit de 5 à 20 ans d'effort selon la réussite des croisements et la fertilité des descendants. La sélection assistée par marqueur permettant de suivre la transmission et le pyramidage de gènes de résistance dans les descendance à l'aide de marqueurs moléculaires qui leur sont liés est un levier important de cette stratégie.

La création française de matériels génétiques améliorés pour la résistance au mildiou et à l'oïdium (Resdur et Bouquet)

En France, l'amélioration de la vigne pour la résistance au mildiou et à l'oïdium est conduite aujourd'hui par l'Inra, en partenariat avec l'IFV depuis 2012. Au début du XXe siècle pourtant, une vingtaine d'hybrideurs français poursuivait déjà cet objectif et réalisa un travail considérable de création variétale, en utilisant les espèces américaines du genre *Vitis* comme sources de résistance. Mais le classement instauré en 1955 ne retint que 20 cépages "hybrides" parmi plusieurs centaines diffusés à l'époque, en limitant leur utilisation à la production de vin de table, principalement en raison de la qualité insuffisante des vins, à l'exception notable du Baco blanc utilisé pour la production d'Armagnac. Cela s'est traduit par l'élimination progressive de ces hybrides de l'encépagement français, au sein duquel ils représentent moins de 1% aujourd'hui.

A partir de 1974, l'Inra a développé un programme visant, par voie conventionnelle, à incorporer dans la vigne européenne (*Vitis vinifera*) des facteurs de résistance originaux, portés par *Muscadinia rotundifolia* (Bouquet, 1980, 1983). Cette espèce sauvage et cultivée dans le Sud-Est des Etats-Unis fut retenue en raison de sa résistance très élevée, voire totale, à l'oïdium et au mildiou, et ce malgré les difficultés à la croiser avec les autres espèces de *Vitis*. Ce programme a abouti, après 25 ans d'effort, à toute une série de génotypes communément appelés "Bouquet", dont les plus importants sont présentés ci-après.

A partir de 2000, l'Inra a engagé un programme de création variétale axé sur le couplage des résistances portées par le matériel "Bouquet" avec celles provenant d'autres compartiments botaniques, incluant des espèces sauvages qui ont été confrontées au mildiou et à l'oïdium dans leur habitat naturel (*Vitis* américains) ou non (*Vitis* asiatiques). Ce couplage de résistances, qualifié de pyramidage, a été réalisé par voie de croisements, et a pour but de conforter la durabilité des résistances (Bouquet, 2000). Le matériel généré par ce programme, communément désigné "Resdur", est également présenté ci-dessous.

Le matériel génétique "Bouquet"

L'incorporation des facteurs de résistance a été réalisée en procédant à des re-croisements successifs avec des cépages de *V. vinifera*, à partir d'un hybride F1 (NC 6-15) obtenu aux Etats-Unis au début du XXe siècle (Bouquet, 2000). Ce procédé permet d'éliminer en moyenne la moitié du génome sauvage résiduel à chaque génération, hormis la fraction porteuse des résistances, jusqu'à aboutir à des génotypes qui combinent résistance et caractères positifs de la vigne européenne. Dans la descendance issue du 5ème re-croisement (BC5) par exemple, la part du génome provenant de l'espèce sauvage représente moins de 2%. Les analyses génétiques de l'Inra ont établi que le matériel ainsi obtenu porte un gène de résistance à l'oïdium (*Run1*, Pauquet et al. (2001)) et un gène de résistance au mildiou (*Rpv1*, Merdinoglu et al. (2003)), qui sont situés, dans ce cas particulier, à très petite distance sur un même segment chromosomique. Parmi la centaine d'obtentions "Bouquet" conservées à l'Inra, les plus importantes sont présentées dans le tableau qui suit, selon leur usage potentiel :

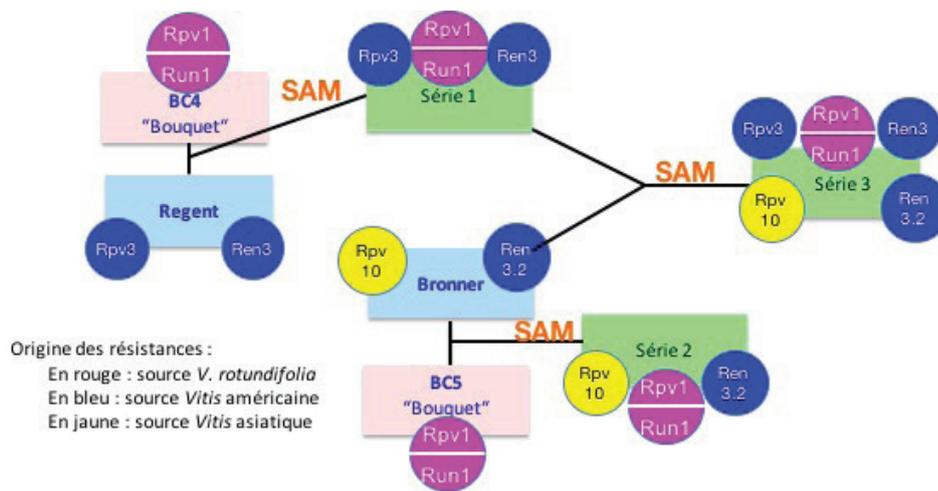


Usage	Parent <i>vinifera</i> de l'obtention	Obtention BC4 ou BC5	Dispositifs d'expérimentation
Jus de raisin	Muscat de Hambourg	3197-424 (G3)	Valeur Agronomique Technologique et Environnementale (VATE) déposés en 2016 pour inscription
	Alphonse Lavallée	3181-4-10 (G4)	
	Madina	3199-50 (G18)	
Cuve	Grenache	3176-21-11 (*) 3179-90-7 (*)	Viti-viniculture INRA Pech Rouge Essais petite échelle CA Lang.-Rouss.
	Fer	3160-12-3 (*)	Viti-viniculture INRA Pech Rouge Essais petite échelle CA Lang.-Rouss.
	Chasan	3159-2-12 (*)	Viti-viniculture INRA Pech Rouge Essais petite échelle CA Lang.-Rouss.
Cuve à distiller	Ugni blanc	descendance	Essai petite échelle Bur. Nat. I. Cognac
Cuve à faible degré	Alphonse Lavallée	3184-1-9 (G14)	VATE Viti-viniculture INRA Pech Rouge
	Muscat de Hambourg	3197-81 (G5)	
Généateur de Résistance	Aubun	3082-1-42 (*)	programmes de sélection en cours en Allemagne, Hongrie, Italie

(*) : utilisé comme généateur pour pyramidage dans Resdur.

Le matériel génétique "Resdur"

Le pyramidage a consisté à coupler les résistances portées par les génotypes "Bouquet" les plus avancés, BC4 et BC5, avec celles de variétés inscrites au catalogue allemand, telles 'Regent' ou 'Bronner', qui représentent des formes introgressées des sources de *Vitis* américains et/ou asiatiques. Les travaux de cartographie génétique ont permis progressivement de localiser sur le génome de la vigne les gènes de résistance aux maladies portés par ces trois types de généateurs, et de développer des marqueurs moléculaires associés à chacun d'entre eux. Grâce à ces marqueurs, il devient possible de suivre la transmission des gènes dans les descendance et ainsi de surmonter les effets de masquage réciproques de l'expression phénotypique des résistances, en réalisant une sélection assistée par marqueurs (SAM). Trois séries de croisements ont été réalisées, de manière à créer des descendance avec deux, puis trois, gènes de résistance pour le mildiou et pour l'oïdium (Schneider et al. (2014) ; cf. figure ci-après) :



Les trois séries de croisements ont été échelonnées entre 2000 et 2015 et ont généré plus de 15000 pépins. Après sélection assistée par marqueurs pour le pyramidage, il subsistait 900 individus destinés à la sélection au vignoble, qui est réalisée au moyen d'un réseau interne à l'Inra pour la sélection intermédiaire et d'un réseau national (Inra-IFV-partenaires régionaux) pour la sélection finale dite de Valeur Agronomique, Technologique et Environnementale (VATE). L'avancement de la sélection se présente comme suit :

- Première série (2000-2002 ; pyramidage des gènes *Rpv1*, *Rpv3* / *Run1*, *Ren3*) : 12 variétés candidates sont en sélection finale dans le réseau VATE. Quatre d'entre elles (IJ 58, IJ 134 (noirs) ; Col-2007G, Col-2011G (blancs)) sont déposées pour une présentation au Comité Technique Permanent de la Sélection (CTPS) prévue en décembre 2017 et engagées dans des essais de démonstration. Un partenariat Inra / JKI (D) encadre pour partie ce matériel.
- Deuxième série (2004-2006 ; pyramidage des gènes *Rpv1*, *Rpv10* / *Run1*, *Ren3.2*) : 36 variétés candidates sont en sélection finale dans le réseau VATE et 19 d'entre elles sont déposées pour une présentation au CTPS prévue à partir de 2020.
- Troisième série (2009-2015 ; pyramidage des gènes *Rpv1*, *Rpv3*, *Rpv10* / *Run1*, *Ren3*, *Ren3.2*) La sélection intermédiaire est en cours dans le réseau Inra pour 450 individus et devrait déboucher en 2017 au choix d'une vingtaine d'entre eux pour la sélection finale. La présentation au catalogue est prévue à partir de 2023. Un partenariat Inra / Agroscope (CH) encadre pour partie ce matériel.

Enfin, à la demande des grandes régions viticoles, des partenariats Inra-IFV-Interprofession viennent de démarrer. L'objectif est d'obtenir, à l'horizon 2030, des variétés résistantes aux maladies cryptogamiques à typicité régionale. Le savoir-faire et le matériel végétal issus de Resdur sont ainsi valorisés à large échelle pour la filière viti-vinicole française.

L'Observatoire national du déploiement des cépages résistants (OsCaR)

Les premiers déploiements des cépages résistants au mildiou et à l'oïdium constituent une étape cruciale que l'on peut qualifier d'expérimentation en grandeur réelle. La réussite de cette étape conditionnera l'avenir des nouveaux cépages résistants et, par voie de conséquence, notre capacité de réduction de l'usage des pesticides. Les viticulteurs sont au cœur de ce dispositif. Il est essentiel d'organiser un partage des informations en mettant en place un Observatoire national du déploiement des cépages résistants (OsCaR), fruit d'un partenariat entre l'Inra et l'IFV.

L'enjeu principal de l'Observatoire est d'évaluer la durabilité des résistances, c'est-à-dire de surveiller l'évolution des populations d'oïdium et de mildiou qui pourrait conduire à une perte d'efficacité des résistances (Peresotti et al. 2010¹; Delmotte et al. 2014²; Delmas et al. 2016³; encadré 1). Cet outil va également permettre d'acquérir ou de consolider les données agronomiques sur ces nouveaux cépages en condition de production, dans une diversité de milieux et de conduites. En s'appuyant sur les initiatives des viticulteurs et des structures régionales qui plantent les cépages résistants, il s'agit de co-construire une viticulture combinant, pour la première fois, la résistance variétale et les méthodes de lutte complémentaires : traitements fongicides, prophylaxie, bio contrôle. L'Observatoire permettra ainsi de mutualiser les expériences individuelles et de favoriser le transfert des connaissances entre les acteurs.

Objectifs de l'Observatoire

En s'appuyant sur les premiers déploiements de cépages résistants en France, ce dispositif a pour ambition de constituer un outil à triple vocation : (i) recherche (ii) surveillance (iii) démonstration et partage d'expériences. Ce dispositif unique par sa taille et son ambition permettra de préciser la stratégie de déploiement des nouveaux cépages, selon les gènes de résistance qu'ils portent et les conditions du milieu. L'Observatoire doit ainsi nous conduire à :

- 1 - recueillir des données sur l'évolution des populations des agents pathogènes ciblés par les gènes de résistances grâce à la collecte régulière d'isolats de mildiou et d'oïdium sur le dispositif (collecte et tests en laboratoire de la virulence et de l'agressivité des populations) ;
 - 2 - surveiller sur de grandes parcelles le comportement des cépages résistants face aux différents agents pathogènes dans des situations agro-climatiques variées ; Détecter l'apparition éventuelle de nouvelles problématiques sanitaires (encadré 2);
- capitaliser des retours d'expériences sur la conduite de ces variétés en conditions de production : comportement agronomique, potentialités de mécanisation, facilité de conduite.

Périmètre du dispositif

L'Observatoire englobe tous les cépages potentiellement amenés à être déployés (cépages ENTAV-Inra et variétés étrangères). Les parcelles constituant l'Observatoire ont une taille compatible avec les conditions de production des exploitations : mécanisables, permettant une vinification en vraie grandeur, etc. L'objectif est d'avoir un nombre important de parcelles, dans des situations agro-climatiques variées. En complément des dispositifs existants, l'intégration de nouvelles parcelles se fera sur la base du volontariat des viticulteurs.

¹E. Peressotti E., S. Wiedemann-Merdinoglu, F. Delmotte, D. Bellin, G. Gaspero, R. Testolin, D. Merdinoglu, P. Mestre. 2010.

Breakdown of resistance to grapevine downy mildew upon limited deployment of a resistant variety.

BMC Plant Biology 10:147.

²F. Delmotte F, P. Mestre, C. Schneider, H.-H. Kassemeyer, P. Kozma, S. Richart-Cervera, M. Rouxel, L. Delière. 2014. **Rapid and multiregional adaptation to host partial resistance in a plant pathogenic oomycete: evidence from European populations of *Plasmopara viticola*, the causal agent of grapevine downy mildew.** *Infection, Genetics and Evolution* 27: 500–508.

³Delmas C. E., Fabre F., Jolivet J., Mazet I. D., Richart Cervera S., Delière L., & Delmotte F. 2016. **Adaptation of a plant pathogen to partial host resistance: selection for greater aggressiveness in grapevine downy mildew.** *Evolutionary applications*.

Données collectées

Toutes les données sont collectées avec des protocoles standardisés puis centralisés (base de données) au niveau national. Elles sont issues d'observations à la parcelle et d'entretiens avec les viticulteurs. Les données collectées sont les suivantes :

- Eléments de contexte socio-économique
- Descriptif de la parcelle
- Itinéraire technique
- Suivi des maladies et ravageurs
- Comportement agronomique & retours d'expérience sur la conduite (facilité de palissage, fragilité, récolte mécanique, etc.)
- Evolution des populations de bio-agresseurs : collecte, caractérisation phénotypique et moléculaire, et mise en collection d'isolats.
- Caractéristiques de la vendange et du vin

L'unité Mixte Technologique Géno-Vigne



L'unité mixte technologique (UMT) Géno-vigne®, labellisée en août 2008 associe l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV), l'Inra et Montpellier SupAgro, tous 3 signataires de la convention de partenariat.

Géno-Vigne® est orientée vers l'innovation variétale, depuis la caractérisation des ressources génétiques vigne, le développement de technologies et leur transfert, la mise en place d'essais de matériel innovant, jusqu'à des innovations variétales.

Les thèmes abordés par Géno-Vigne® sont déclinés en 4 axes.

Axe 1 : Gestion et conservation de la diversité des ressources génétiques

Axe 2 : Développement d'outils pour le criblage des ressources génétiques et la sélection

Axe 3 : Sélection de matériel végétal innovant

Axe 4 : Veille technologique, formation et communication

Les travaux de l'UMT s'appuient sur les ressources génétiques conservées au Domaine de Vassal, c'est-à-dire plus de 2500 variétés de vignes sur les 5000 recensées dans le monde et des 4000 clones implantés au Domaine de l'Espiguette, constituant un patrimoine unique.

Proposer une gamme de cépages adaptés à des conditions plus chaudes et plus sèches, en relation avec le changement climatique, et encore des variétés résistantes aux maladies cryptogamiques de la vigne (mildiou, oïdium) constituent des objectifs prioritaires.

La marque ENTAV-INRA®



Une marque internationale pour valoriser les sélections françaises et soutenir les programmes de conservation et de sélection !

L'IFV et l'Inra sont les deux établissements agréés en France pour présenter et obtenir l'agrément des clones sélectionnés. Ils ont créé une marque commune, la marque ENTAV-INRA® déposée dans cinquante pays dans les classes 31 (matériel végétal) et 42 (savoir-faire).

Cette marque atteste d'un savoir-faire reconnu et acquis depuis plus de 50 ans. Elle garantit l'origine, l'authenticité, la qualité sanitaire, la valeur génétique des clones. Les clones commercialisés sous marque seront identifiés comme suit : Cabernet-Sauvignon ENTAV-INRA® 412

Le matériel de base est produit par des pré-multiplicateurs agréés et sous convention de licence de marque ENTAV-INRA®. La diffusion des plants sous licence de marque ENTAV-INRA® en France et à l'étranger est gérée par la SARL ENTAV International (filiale de l'IFV et de l'INRA-Agri Obtentions).

Depuis 2012, les variétés sous COV (Certificat d'Obtention Végétale) obtenues par l'INRA sont également distribuées sous la marque ENTAV-INRA®.

ENTAV International gère les contrats de licence de marque.

Depuis 2002, la collecte des royalties permet de soutenir financièrement différents types d'action au titre de la conservation et de la sélection :

- Mise en place de conservatoires de clones et de variétés
- Prospections de vieilles parcelles
- Revalorisation du patrimoine viticole avec le développement de cépages rares
- Sélection de nouveaux clones

L'assurance de la qualité et de l'innovation !

L'Institut Français de la Vigne et du Vin et l'INRA sont les deux établissements de sélection officiellement reconnus en France pour présenter et obtenir l'agrément des clones sélectionnés.

En 1995, ces deux instituts ont créé la marque ENTAV-INRA® pour produire et diffuser du matériel végétal d'une qualité inégalée, issu d'une recherche de pointe au niveau mondial.

La marque ENTAV-INRA® garantit ainsi l'origine, l'authenticité, la qualité sanitaire et la valeur génétique des clones. La filière viticole française bénéficie en effet aujourd'hui, grâce aux efforts et aux recherches de l'IFV, de l'Inra et d'un réseau de 35 partenaires présents dans l'ensemble des bassins de production, de la meilleure sélection clonale au monde avec un matériel végétal sain vis-à-vis des principales viroses de la vigne.

Dispositif en France

Pour accompagner cette dynamique, un nouveau dispositif de gestion de la marque ENTAV-INRA® a été mis en place, en 2009. Ce nouveau dispositif a été conçu en étroite concertation avec la Fédération Française de la Pépinière Viticole (FFPV) et l'Association Générale de la Production Viticole (AGPV) afin de mobiliser des ressources financières destinées à accompagner les programmes de recherche en matière de sélection clonale et de création variétale.

La Fédération Française de la Pépinière Viticole (FFPV) et l'Association Générale de la Production Viticole (AGPV) ont signé, au premier semestre 2009, un accord dans ce sens, prévoyant un effort partagé paritairement entre le pépiniériste et son client vigneron.

Le matériel de base est produit par des pré-multiplicateurs agréés et sous convention de licence de marque ENTAV-INRA®.

Dispositif à l'étranger

La diffusion des plants sous licence de marque ENTAV-INRA®, auprès des licenciés en dehors du territoire français, est géré par ENTAV International (filiale de l'IFV) qui perçoit des redevances, redistribuées aux partenaires de l'IFV pour participer au financement des travaux de sélection et de conservation.

ENTAV International SARL s'assure du bon développement de la marque ENTAV-INRA® sur les principaux marchés étrangers en maîtrisant le processus de production des clones de cépages français.

Une marquée soutenue par un réseau de Partenaires

Ce sont les acteurs régionaux de la sélection. Constitués de chambres d'agriculture, d'interprofessions, d'associations ou de Sicarex, ils sont au nombre de 35, répartis dans tous les bassins viticoles et sont impliqués étroitement dans les actions de sélection clonale, de conservation de la diversité inter ou intra variétale. Ils jouent un rôle essentiel dans le maintien et la valorisation de notre patrimoine viticole. Grâce à leur collaboration, la sauvegarde des variétés les plus rares est préservée.

Le cadre réglementaire relatif à l'inscription et au classement des variétés de vigne de cuve

Le déploiement des variétés issues des travaux de création variétale des unités de l'INRA en collaboration avec l'IFV s'inscrit dans un contexte réglementaire en évolution relatif à la maîtrise du potentiel viti-vinicole qui sont sanctionnées par le régime d'autorisation de plantation. Le régime d'autorisation de plantation succède à celui des droits à la plantation pour permettre 2 évolutions principales :

- La séparation des procédures de classement des variétés et d'inscription au catalogue. Jusqu'à présent, les variétés inscrites au catalogue Français sur la liste se retrouvaient automatiquement classées et pouvaient faire l'objet d'une demande de droit de plantation. Avec l'entrée en vigueur programmée du Catalogue européen, une telle mesure aurait conduit le classement direct des variétés inscrites au Catalogue UE.
- Le nouveau dispositif met en œuvre un régime dérogatoire aux autorisations de plantation, le classement temporaire, à des fins d'expérimentation pour l'évaluation de cépages dans un objectif de classement définitif. Ce dispositif permet la production et la commercialisation de vin à partir de cépages en cours d'évaluation en vue du classement définitif et dans les faits en vue de l'inscription, une sorte d'autorisation provisoire de vente du vin, en vin sans indication géographique. Les Domaines se servent de cette disposition pour tester dans leurs conditions de culture et de commercialisation, les cépages inscrits sur le catalogue UE et qui ne sont pas encore classés en France.

2016 marque l'entrée en vigueur de ce nouveau dispositif qui s'impose à toutes les productions, qu'elles soient commerciales ou expérimentales dès lors qu'elles sont destinées à la commercialisation de vin. Chaque parcelle de vigne concernée doit être recensée et déclarée au registre viticole des douanes.

Les dispositions réglementaires qui s'appliquent aux expérimentations conduites par l'Inra

Pour pouvoir produire et commercialiser du vin à partir d'un cépage il faut que ce dernier réponde à deux conditions cumulatives :

- Inscription au catalogue officiel : doit répondre aux critères de DHS et de VATE et faire l'objet d'une proposition de la section « vigne » du CTPS. L'inscription est prononcée par arrêté ministériel et permet la commercialisation des bois et plants de vigne sur le territoire UE ;
- Classement en tant que variétés de vigne à raisins de cuve. Seules les cépages classés peuvent faire l'objet d'autorisation de plantations. Ce classement est établi par arrêté du MAAF après avis du conseil spécialisé de la filière viticole de FAM et de la section « vigne » du CTPS. Ce classement est établi sur la base de critères qui permettent de classer les variétés qui présentent un intérêt agronomique, technologique ou environnemental. Ils peuvent tenir compte des stratégies de lutte contre les maladies afin de ralentir les contournements des gènes de résistance aux maladies.

Une fois ces 2 conditions remplies, les cépages doivent rentrer dans les cahiers des charges des AOP et IGP à moins qu'ils ne soient commercialisés en vin sans indications géographiques. Il convient de noter que les règles de l'INAO concernant les AOP, définies au niveau UE, interdisent la prise en compte de cépages issus de croisements interspécifiques, règle que le comité AOC de l'INAO conteste dorénavant.

Enfin, chaque exploitant viti-vinicole doit disposer d'une autorisation de plantation, dispositif nouvellement en vigueur depuis le 30 décembre 2015 et qui se substitue au droit de plantation. La délivrance de ces autorisations de plantation est assurée par FAM. Comme indiqué plus haut, les autorisations de plantation ne sont délivrées que pour des cépages classés.

⁴ La réglementation « Catalogue » a pour objectif de protéger les utilisateurs de semences et de plants en garantissant la loyauté des transactions à travers la qualification de l'innovation génétique, de l'identité variétale et de la qualité sanitaire, physiologique et physique des semences et des plants.

⁵ Il existe 4 catégories dans ce classement : les porte-greffes, les variétés de vigne à raisins de cuves, les variétés de vigne à raisins de table et les variétés de vigne d'agrément (créée pour les premiers hybrides de l'INRA).

Dans le cas des plantations de vignes réalisées dans le cadre d'une expérimentation, la commercialisation des raisins et/ou produits obtenus à partir des raisins produits sur ces superficies expérimentales est autorisée pendant la période durant laquelle la variété est classée temporairement. Ce classement temporaire est accessible pour les seules variétés en cours d'évaluation en vue de leur classement définitif. Pour être classée définitivement une variété doit notamment être DHS au sens de l'inscription et présenter un intérêt agronomique, technologique ou environnemental potentiel selon les critères de classement définis dans l'annexe de l'arrêté du 9 mai 2016. Ces critères, même s'ils reprennent ceux de la VATE pour l'inscription s'appuient sur des données issues de la bibliographie. Le déposant doit faire la preuve de ces intérêts sur la base d'une documentation qu'il fournit à FAM. Il est possible de distinguer deux modalités d'utilisation du classement temporaire pour encadrer des expérimentations :

- Pour des variétés déjà inscrites dans d'autres Etats membres de l'UE, et qui disposent d'une DHS, il permet de tester le potentiel agronomique, technologique et environnemental dans le contexte français. Le dispositif prévoit que l'expérimentation peut être composée de plusieurs sites de 1 ha maximum chacun à concurrence de 20ha maximum par bassin viticole et 20 ha maximum hors bassins viticoles.
- Pour de nouveaux hybrides qui ne disposent pas encore de DHS, la limite est fixée à 3 ha par variété sur l'ensemble du territoire national.