

# ➤ Origine et création des variétés résistantes : offre actuelle et à venir de la recherche française

INRAE a engagé en 2000 un programme appelé ResDur, afin de créer des variétés offrant une résistance durable aux principales maladies fongiques de la vigne et une qualité des baies appropriée pour la production de vins de qualité. Ce projet a abouti en 2018 à l'inscription au catalogue officiel français de quatre variétés dotées de résistances polygéniques au mildiou et à l'oïdium, cinq autres vont suivre en 2022 et une dizaine d'autres est attendue d'ici 2025. Issues d'un programme unique au monde, ces variétés ouvrent la voie à une viticulture performante, respectueuse de l'environnement, en permettant de réduire de façon considérable l'utilisation des produits phytosanitaires. De nombreuses collaborations avec des instituts allemand et suisse sont mises en œuvre dans ce programme. ResDur a enfin permis de développer des partenariats avec l'IFV et une douzaine d'interprofessions viticoles françaises pour la création de variétés résistantes à typicité régionale.

## MOTS CLÉS

Vigne  
Résistance  
Sélection  
Mildiou  
Oïdium

### Introduction

Les principales maladies du feuillage et des grappes qui menacent la viticulture ont été introduites d'Amérique du Nord au cours de la seconde moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle. Nos cépages, qui appartiennent à l'espèce européenne *Vitis vinifera*, y sont très sensibles, que ce soit l'oïdium, le mildiou ou encore le black rot. Il devient dès lors indispensable de leur apporter une protection. Alors que le début du XX<sup>ème</sup> siècle voit se développer plusieurs méthodes de lutte, à partir de 1950 ce sont les traitements fongicides qui s'imposent très largement pour assurer la protection dans toutes les régions viticoles du monde.

Plus récemment, les coûts et impacts directs et indirects de cette stratégie ont cependant conduit la filière viticole à se remettre en question, et les pouvoirs publics à rechercher et à promouvoir des solutions alternatives aux traitements fongicides afin de diminuer le recours aux produits phytosanitaires (plan Ecophyto). La création variétale redevient une priorité et les programmes de sélection de variétés résistantes aux maladies sont remis sur le devant de la scène. En France, les premières variétés issues du programme INRAE-ResDur, démarré en 2000, ont été inscrites au catalogue en 2018. Elles produisent des vins de qualité et présentent des résistances suffisamment efficaces au mildiou et à l'oïdium pour être cultivées avec très peu de recours aux fongicides. Cinq nouvelles variétés sont annoncées en 2022 et une dernière série est attendue en 2025.

## Question / Réponse n°1 : Comment obtient-on une variété résistante au mildiou et à l'oïdium ?

### Sources de résistance disponibles et facteurs de résistance mis en évidence

Des sources de résistance naturelle aux maladies fongiques sont connues depuis fort longtemps au sein de vignes sauvages du genre *VITIS*. Ces vignes sont génétiquement proches de la vigne cultivée et peuvent transmettre leurs caractères de résistance par voie de reproduction sexuée ou croisement. Cette voie est un puissant moteur d'évolution, car elle permet de recombinaison les caractères parentaux et de créer des descendants qui peuvent être très novateurs en comparaison des deux parents. En faisant un croisement entre une vigne sauvage -naturellement résistante à une maladie mais produisant des raisins impropres à la vinification- et une vigne cultivée -produisant des raisins très appréciés en vinification mais sensible aux maladies-, des descendants qui portent les caractères positifs des deux parents vont être générés.

Parmi les vignes sauvages dotées de résistances naturelles, on peut citer des espèces américaines (*V. rupestris*, *V. riparia*, *V. cinerea*, *V. labrusca*, *V. rotundifolia*, ...) ou asiatiques (*V. amurensis*, *V. piazeskii*, *V. romanetii*, ...). Grâce aux progrès de l'analyse génétique des dernières années, de nombreux facteurs de résistance ont pu être identifiés et positionnés sur le génome de la vigne. Pour le mildiou, ils sont dénommés *Rpv* et pour l'oïdium *Run* ou *Ren*. Une liste compilée avec les références est disponible sur [www.vivc.de](http://www.vivc.de) (data on breeding and genetics). Le niveau de protection attaché à ces différents facteurs est variable, partiel pour la plupart et total pour certains. En pratique, tous les facteurs de résistance de la liste ne sont cependant pas pertinents ou faciles à utiliser dans un programme de création variétale, soit en raison d'un faible effet de protection, soit

en raison d'un niveau d'introgression insuffisant. Cette dernière notion recouvre l'incorporation par croisements successifs, d'un facteur de résistance par exemple, dans le fonds génétique cultivé. Finalement, seuls trois ou quatre des facteurs identifiés sont réellement mobilisés dans les programmes de création variétale développés par les obtenteurs européens (Tableau 1). D'autres facteurs, identifiés plus récemment, sont en cours d'introgression et viendront progressivement compléter le panel utilisable par les sélectionneurs.

**Tableau 1.** Facteurs de résistance au mildiou et à l'oïdium utilisés par les obtenteurs européens.

Maladie (agent pathogène)	Facteur de résistance	Origine	Situation sur le génome	Niveau de protection conféré	Niveau d'introgression (*)
Mildiou ( <i>Plasmopara viticola</i> )	<i>Rpv1</i>	<i>V. rotundifolia</i>	chr. 12	élevé	4 ou 5
	<i>Rpv3</i>	<i>V. rupestris</i>	chr. 18	moyen	5
	<i>Rpv10</i>	<i>V. amurensis</i>	chr. 9	élevé	3
	<i>Rpv12</i>	<i>V. amurensis</i>	chr. 14	élevé	3 ou 4
Oïdium ( <i>Uncinula</i> ou <i>Erysiphe necator</i> )	<i>Run1</i>	<i>V. rotundifolia</i>	chr. 12	total	4 ou 5
	<i>Ren1</i>	<i>V. vinifera</i>	chr. 13	élevé	vigne cultivée
	<i>Ren3</i>	<i>V. rupestris</i>	chr. 15	moyen	5

(\*) Le niveau d'introgression est représenté par le nombre de cycles de croisement/rétrocroisement en démarrant à partir de l'hybride F1. Selon la source de résistance, il faut au moins 3 cycles pour éliminer les défauts cultureux et qualitatifs majeurs de l'espèce sauvage.

Pour l'ensemble de ces facteurs, des marqueurs génétiques spécifiques ont été développés, ce qui permet par un simple test moléculaire de savoir si un facteur donné est présent ou non dans un parent potentiel ou parmi les individus d'une descendance. Il devient ainsi possible d'utiliser la Sélection Assistée par Marqueurs (SAM) pour réaliser des tris rapides de descendance.

Ces facteurs ou gènes de résistance fonctionnent comme des sentinelles capables de repérer un motif particulier de l'agent pathogène lorsqu'il envahit une cellule de la plante. La survenue d'une infection est ainsi signalée très rapidement au système de défense de la plante, qui peut alors intervenir en empêchant la progression du pathogène et en l'éliminant. Ce système très efficace peut cependant être remis en cause si une petite modification intervient sur le motif reconnu par le gène résistance, suite à une mutation ponctuelle du pathogène. On parle alors de contournement de la résistance : le facteur de résistance n'est plus efficace et le pathogène peut se développer comme il le ferait en son absence.

De nombreuses ruptures de gènes de résistance ont été observées dans diverses interactions plantes-pathogènes. Le premier cas de rupture de résistance au mildiou de la vigne a été décrit dans le cultivar Bianca et concerne le facteur *Rpv3*, qui confère à Bianca une résistance partielle à la majorité des souches de *P. viticola*. Mais après infection par la souche '*Lednice*' collectée en République tchèque, Bianca s'avère aussi sensible que le Chardonnay (Peressotti et al., 2010). Plus récemment, une situation similaire a été observée pour *Run1* avec '*Musc4*', un isolat naturel d'oïdium originaire du Sud-Est de l'Amérique du Nord, capable de se développer sur des vignes portant le gène de résistance *Run1* en échappant complètement à la détection (Feechan et al., 2015). Très récemment, l'information d'un isolat de mildiou contournant à la fois les gènes de résistance *Rpv3* et *Rpv12* a été rapportée en Suisse.

### Stratégie de croisements pour des résistances durables

Il paraît donc indispensable de prendre en compte la durabilité des résistances dans la stratégie de sélection des nouvelles variétés (Merdinoglu et al., 2018). La combinaison de plusieurs facteurs de résistance à une maladie au sein d'une même variété permet de répondre à cette exigence, ce que la résolution de l'Organisation Internationale de la Vigne et du vin (OIV, 2013) recommande à tous les sélectionneurs. Le développement des nouveaux outils de sélection reposant sur les marqueurs moléculaires (SAM) rend la mise en œuvre de ce type de stratégie possible, et aboutit à des variétés à résistances polygéniques.

Le programme ResDur, qui est en totale conformité avec cette recommandation, est poursuivi prioritairement par INRAE. Il ambitionne de développer une gamme de variétés durablement résistantes au mildiou et à l'oïdium pour les vignobles français (Schneider et al. 2018). Il repose sur l'utilisation de géniteurs de résistance diversifiés et complémentaires, dont des lignées d'introgression issues de *V. rotundifolia* par rétrocroisements successifs (Bouquet, 1986) constituent le pivot. L'analyse et le tri des descendance sont réalisés au moyen de la SAM depuis le démarrage de ce programme.



## Question / Réponse n°2 : Quels sont les croisements réalisés et comment se déroule la sélection dans le cadre du programme INRAE-ResDur ?

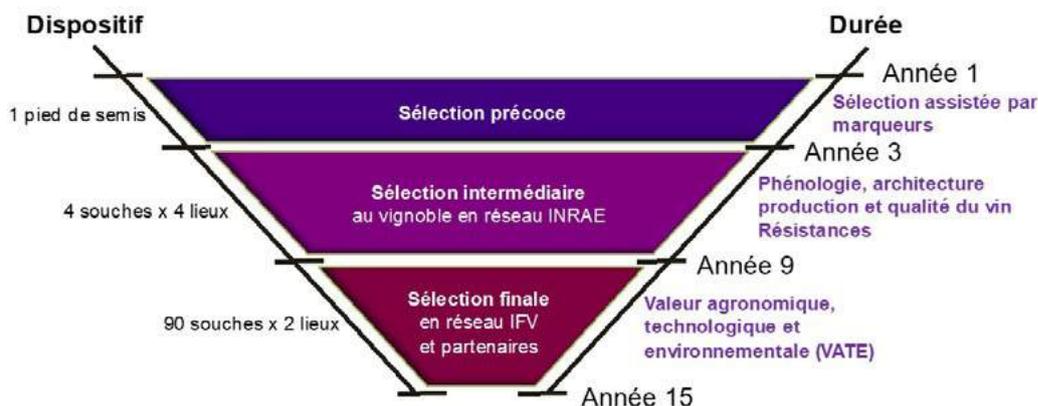
### Des sources de résistance multiples, des géniteurs bien introgressés

Trois séries de croisements, appelées chronologiquement ResDur1, ResDur2 et ResDur3, ont été réalisées entre 2000 et 2013. Elles incluent comme géniteurs des lignées introgressées dérivées de *V. rotundifolia* et des variétés résistantes inscrites aux catalogues officiels allemand ou suisse, dont l'origine des résistances remonte à des *Vitis* américains ou asiatiques. Dans certains cas, des collaborations avec les obtenteurs de ces variétés ont été mises en place (JKI, Siebeldingen ; WBI Freiburg ; Agroscope Changins). Tous ces géniteurs sont le fruit d'un long travail d'introgression, qui pour certains s'est déroulé sur plus d'un siècle. Ils satisfont tous au niveau d'introgression nécessaire pour éliminer les défauts cultureux et qualitatifs des espèces sauvages dont ils sont issus, comme indiqué dans le tableau 1.

Le programme ResDur mobilise ainsi 6 facteurs, *Rpv1*, *Rpv3*, *Rpv10* pour le mildiou, et *Run1*, *Ren3*, *Ren9* pour l'oidium dont les allèles de résistance sont suivis grâce à la SAM. Il permet de développer des variétés portant deux ou trois gènes pour contrôler chaque maladie.

### Un processus de sélection qui dure 15 ans

Le processus de sélection est organisé en trois étapes successives (Figure 1) : (i) la sélection précoce, qui est une étape de sélection rapide dans des conditions contrôlées, y compris la SAM et un phénotypage précoce, (ii) la sélection intermédiaire dans le réseau expérimental Inrae-ResDur, et (iii) la sélection finale dans le réseau VATE (valeur agronomique, technologique et environnementale), géré en collaboration avec l'IFV et les partenaires de la sélection. Les deux dernières étapes sont réalisées au vignoble et incluent des vinifications en petit volume avec la dégustation du vin. L'ensemble du processus d'évaluation des variétés candidates prend une quinzaine d'années.



**Fig. 1** : Les trois étapes de la sélection des descendants associant résistances, caractères agronomiques et œnologiques

Au total, le programme ResDur a permis d'obtenir 20 000 pépins, à partir de 50 croisements différents, et d'engager une centaine de variétés-candidates en sélection finale, qui ouvre sur l'inscription au catalogue. Dans ce cadre, l'objectif est de proposer à l'inscription une vingtaine de variétés à baies noires ou blanches d'ici 2025. Ces variétés, à résistance polygénique, portent toutes au moins deux des facteurs de résistance mobilisés pour chacune des maladies.



## Question / Réponse n°3 : Quelles sont les premières variétés ResDur disponibles et quelles sont les perspectives d'ici 2025 ?

### Les variétés ResDur1, inscrites en 2018

<p><b>Floreal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Productivité moyenne</li> <li>• Vins expressifs, frais et parfumés</li> <li>• Aromes dominés par des notes de fruits exotiques et de buis</li> </ul>		<p><b>Vidoc</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Productivité élevée</li> <li>• Vins puissants, corsés, très colorés</li> <li>• Aromes dominés par des notes fruitées et épicées</li> </ul>
<p><b>Voltis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Productivité moyenne à élevée</li> <li>• Vins amples et persistants</li> <li>• Acidité soutenue à faible degré de maturité</li> </ul>		<p><b>Artaban</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Productivité élevée</li> <li>• Vins légers, gouleyants, bien colorés</li> <li>• Aromes dominés par des notes fruitées</li> </ul>

Quatre variétés issues des croisements ResDur1 sont entrées au catalogue officiel en 2018, il s'agit de Floreal (B) Voltis (B), Artaban (N) et Vidoc (N). Elles associent deux facteurs de résistance au mildiou (*Rpv1*, *Rpv3*) et trois à l'oïdium (*Run1*, *Ren3*, *Ren9*) et peuvent être cultivées avec une économie de 80% de fongicides. Leurs principales aptitudes sont rappelées ci-dessus et des fiches techniques détaillées sont disponibles à l'adresse suivante : <https://observatoire-cepages-resistants.fr>. Les quatre variétés ont été récompensées par un Sival d'or en 2019 dans la catégorie innovation variétale. Leur diffusion est assurée sous la marque ENTAV-INRA® et est maintenant bien engagée, avec plus de 500 ha plantés en 2021 en catégorie Vin de France ou IGP. Des expérimentations sont en cours afin d'intégrer Voltis au cahier des charges des appellations Champagne et Alsace, en tant que variété d'intérêt à fin d'adaptation (VIFA).

### Les variétés ResDur2, dont l'inscription est annoncée en 2022

Cinq nouvelles variétés sont arrivées en fin d'examen et devraient être inscrites au catalogue en début d'année 2022. Leurs dénominations sont encore en cours d'approbation, nous les désignerons donc par leurs références obtenteur : Col-2293L (B), Col-2383L (B), Col-2689K (N), Col-2692K (N), Col-1259L (N).

Ces variétés associent les facteurs (*Rpv1*, *Rpv10*) pour le mildiou et (*Run1*, *Ren3*, *Ren9*) pour l'oïdium, ce qui leur confère des niveaux de résistance très élevés sur feuilles comme sur grappes (Figure 2). Elles présentent en outre une résistance significative au black rot, qui apporte une certaine protection, toutefois insuffisante lorsque la pression de cette maladie est forte comme en 2021. En l'état actuel des expérimentations, les économies possibles en intrants phytosanitaires atteignent 90 %.

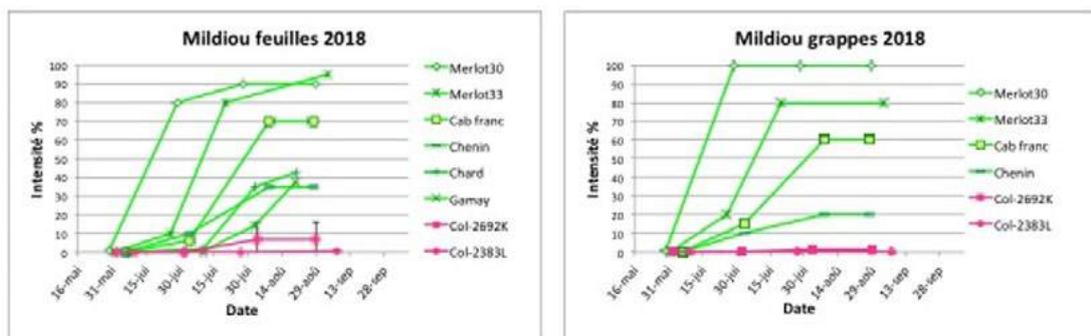


Fig. 2 : Résistance au mildiou des variétés ResDur2, en l'absence de protection fongicide

La gamme de précocité des cinq variétés va de la première à la deuxième époque tardive (Figure 3), ce qui laisse envisager une utilisation dans les moitiés Nord et Sud de la France, respectivement.

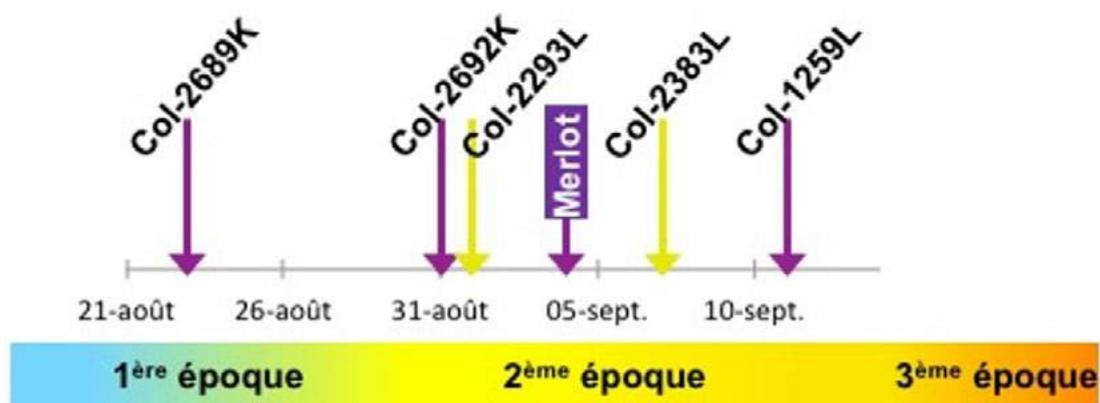


Fig. 3 : Dates de récolte à bonne maturité en comparaison au Merlot (moyenne 3 ans, 2018-20)

La productivité est satisfaisante pour toutes ces variétés, avec des rendements allant de 1,0 à 1,2 kg/m<sup>2</sup>, en moyenne sur 3 ans, du même ordre de grandeur que les cépages témoins (Gamay, Pinot blanc, Chardonnay, Merlot, Cabernet franc).

La qualité des vins a été jugée équivalente aux mêmes témoins dans les nombreuses dégustations à l'aveugle organisées dans le cadre des essais pour l'inscription, qui font appel à des mini-vinifications de 100 litres (Figure 4). Des commentaires plus particulièrement élogieux ont été relevés pour les trois variétés à raisins noirs.



Fig. 4 : Qualité des vins produits par les variétés ResDur2

La multiplication des cinq variétés a commencé et quelques milliers de plants seront disponibles au printemps 2022, auprès de l'IFV.

### Les variétés ResDur3, dont l'inscription est prévue en 2025

Les dispositifs de sélection finale (VATE) ont été engagés à partir de 2018, et l'acquisition des données obligatoires arrivera à son terme en fin d'année 2024. A ce jour, 35 variétés-candidates sont expérimentées, et il est encore prévu d'y adjoindre les 20 dernières en 2022-2023. Le programme ResDur s'achèvera avec ces dernières obtentions, mais il a d'ores et déjà une suite, avec la douzaine de programmes régionaux engagés avec l'IFV et les principales interprofessions viticoles du pays. En effet, ces programmes sont basés sur les géniteurs de résistance d'IFV et d'INRAE, ces derniers étant choisis parmi les individus ResDur (voir présentation de Loïc Le Cunff, dans cette session).

### Bibliographie

- Bouquet A. 1986. Introduction dans l'espèce *Vitis vinifera* d'un caractère de résistance à l'oïdium (*Uncinula necator*) issu de l'espèce *Muscadinia rotundifolia* (Michx.) Small. Fourth International Conference on Grape Genetics, Verona, Italy, Vignevini 12:141-146.
- Feechan A, Kocsis M, Riaz S, et al. 2015. Strategies for RUN1 deployment using RUN2 and REN2 to manage grapevine powdery mildew informed by studies of race specificity. *Phytopathology* 105:1104-1113.
- Merdinoglu D., Schneider C., Prado E., Wiedemann-Merdinoglu S. and Mestre P. 2018. Breeding for durable resistance to downy and powdery mildew in grapevine. *OENO One* 52:189-195.
- Peressotti E, Wiedemann-Merdinoglu S, Delmotte F, et al. 2010. Breakdown of resistance to grapevine downy mildew upon limited deployment of a resistant variety. *Bmc Plant Biology* 10:147.
- Schneider C., Onimus C., Prado E., et al. 2019. INRA-ResDur: the French grapevine breeding program for durable resistance to downy and powdery mildew. *Proc. XII International Conference on Grapevine Breeding and Genetics. Acta Hort.* 1248:207-213.

**Christophe Schneider**

INRAE, Université de Strasbourg, UMR1131 SVQV

Tél : 03 89 22 49 00

Email : christophe.schneider@inrae.fr