

DURABILITÉ DES RÉSISTANCES AU MILDIU ET À L'OÏDIUM : ANALYSE SCIENTIFIQUE DES CONNAISSANCES ET JUSTIFICATION DU TRANSFERT DES GÉNOTYPES RÉSISTANTS ET QUALITATIFS

« ROTUNDIFOLIA – VINIFERA 'rV' »

*SUSTAINABILITY OF RESISTANCES TO DOWNY MILDEW AND POWDERY
MILDEW : SCIENTIFIC ANALYSIS OF KNOWLEDGES AND JUSTIFICATION
OF THE TRANSFER OF RESISTANT AND QUALITATIVE GENOTYPES*

“ROTUNDIFOLIA – VINIFERA 'rV”

Alain CARBONNEAU

Montpellier SupAgro, IHEV, Professeur de Viticulture
alain.carbonneau@supagro.fr

Contexte

Plusieurs projets basés sur des programmes de sélection des cépages résistants aux parasites associant l'INRA de Pech Rouge, Montpellier SupAgro et différents partenaires publics et privés sont en marche. Ils justifient maintenant sur la base de résultats pluridisciplinaires et d'une analyse scientifique faite par cette équipe, la **possibilité de transfert de génotypes qualitatifs et résistants** au mildiou, à l'oïdium et aussi à la pourriture qui sont issus du programme d'Alain Bouquet '*Muscadinia rotundifolia* rétro-croisé jusqu'à 5 ou 6 fois avec *Vitis vinifera*'. Ces génotypes sont appelés **rV5** (un peu plus de 1% de génome 'non-vinifera') ou **rV6** (un peu moins de 1% de génome 'non-*Vitis vinifera*').

RAPPELS

La première analyse scientifique a été synthétisée dans la chronique d'Alain Carbonneau du PAV n°11 2015 reprise par Vitisphère « Les cépages résistants '*Muscadinia RC Vinifera*' : Comment vous convaincre de leur transfert maintenant ? » ; ensuite, au CIVL et à l'AG des IG Pays d'Oc de décembre 2015, à l'invitation du Président Jacques Gravegeal, Jean-Louis Escudier et Alain Carbonneau ont présenté l'ensemble du problème (cf. annexe « Vitiviniculture durable : cépages qualitatifs résistants »).

Dernièrement, des analyses sensorielles de 5 vins d'hybrides rV5 (réalisés au CIVL au sein de la commission recherche), d'un vin blanc et de six rouges dans la catégorie des vins à degré d'alcool classiques (12% à 13% vol) d'hybrides rV5 et rV6 (en lien avec les IG Pays d'Oc) ont été convaincantes quant à la typicité et à la qualité ; en particulier, un vin blanc *jugé remarquable dans une typicité Chardonnay*, un vin rouge *jugé remarquable dans une typicité 'Cabernet'*, et les autres rouges à *grand potentiel*. Quelques vins blancs et rouges dans la catégorie 'faible degré' (10% vol) particulièrement bien adaptés aux évolutions climatiques en cours, ont été identifiés et sont expérimentés avec succès depuis 2005 à Pech Rouge avec le CIVL et la société Pernod Ricard (programme ANR VDQA). Les résultats à la demande de la société Pernod Ricard ont été présentés en décembre 2015 à l'Académie de Technologie par Jean-Louis Escudier.

L'objet de cette chronique est de faire une analyse scientifique des connaissances actuelles et de poursuivre notre action de reconnaissance des génotypes qualitatifs rV5 et rV6, dans un contexte de recherche européenne sur ces sujets (France, Allemagne, Italie, Suisse). Un débat interne à l'INRA se poursuit à ce jour concernant leurs résistances : les rV sont toujours considérés officiellement faute de plus amples informations comme 'monogéniques' (du moins vis-à-vis de l'Oïdium) et potentiellement 'contournables' dès qu'ils seront cultivés à grande échelle, ceci malgré les arguments que nous avons maintes fois avancés. Aussi, nous faisons ici état d'informations nouvelles issues de publications internationales à l'appui de nos thèses **en prenant en compte les aptitudes spécifiques du matériel 'vigne' et les résultats scientifiques qui ont été occultés à ce jour**. Nous redoublons notre demande en faveur de l'expérimentation en vraie grandeur et du transfert dès que possible de ces cépages potentiels. Au-delà de la présentation positive des qualités des rV5-6, il faut désormais les reconsidérer quant à la génétique de leurs résistances et les évaluer par rapport aux autres options issues de la recherche.

BILAN DES GÈNES CONNUS

Les tableaux 1 et 2, mis à jour à partir de <http://www.vivc.de/docs/dataonbreeding>, recensent les connaissances disponibles sur les loci de résistance connus à l'oïdium et au mildiou identifiés chez la vigne à ce jour. Leur examen est révélateur. Rappelons qu'un locus peut correspondre à un seul gène (une séquence d'ADN) ou à quelques-uns (ce qui d'ailleurs est le cas pour les gènes Run).

Tableau 1. Liste des loci de résistance à l'oïdium connus.

Nom du gène	Origine	Chromosome	Introgression dans <i>V. Vinifera</i>	Commentaires	Référence
<i>Run1</i>	<i>M. rotundifolia</i>	12	Oui	Non contourné en Europe..... Contourné sur transgéniques/NY isolats..	Pauquet et al. 2001 Feechan et al. 2015
<i>Run 2.1</i>	<i>M. rotundifolia</i> (<i>Magnolia</i>)	18	Non	Peut-être même locus que <i>Run2.2</i>	Riaz et al. 2011
<i>Run 2.2</i>	<i>M. rotundifolia</i> (<i>Trayshed</i>)	18	Non	Peut-être même locus que <i>Run2.1</i>	Riaz et al. 2011
<i>Ren1</i>	<i>V. vinifera</i>	13	-		Hoffman et al. 2008
<i>Ren2</i>	<i>Vitis américaines</i>	14	Non		Dalbo et al. 2001
<i>Ren3</i>	<i>Vitis américaines</i>	15	Oui		Welter et al. 2007
<i>Ren4</i>	<i>V. romanetii</i>	18	Non		Riaz et al. 2012
<i>Ren5</i>	<i>M. rotundifolia</i>	14	Non		Blanc et al. 2012
<i>Ren6</i>	<i>V. piasezkii</i>	9	Non		Pap et al. (cp)
<i>Ren7</i>	<i>V. piasezkii</i>	19	Non		Pap et al. (cp)

Tableau 2. Liste des loci de résistance au mildiou connus.

Nom du gène	Origine	Chromosome	Introgression dans <i>V. Vinifera</i>	Commentaires	Référence
<i>Rpv1</i>	<i>M. rotundifolia</i>	12	Oui	Non contourné en Europe	Merdinoglu et al. 2003
<i>Rpv2</i>	<i>M. rotundifolia</i>	18	Oui		Wiedemann- Merdinoglu et al. 2006
<i>Rpv3</i>	<i>Vitis américaines</i>	18	Oui	Contourné en Europe	Welter et al. 2007
<i>Rpv4</i>	<i>Vitis américaines</i>	4	Oui	Effet faible et contourné en Europe	Welter et al. 2007
<i>Rpv5</i>	<i>V. riparia</i>	9	Non		Marguerit et al. 2009
<i>Rpv6</i>	<i>V. riparia</i>	12	Non		Marguerit et al. 2009
<i>Rpv7</i>	<i>Vitis américaines</i>	7	Oui	Effet faible et contourné en Europe	Bellin et al. 2009
<i>Rpv8</i>	<i>V. amurensis</i>	14	Non	Peut-être même locus que <i>Rpv12</i>	Blasi et al. 2011
<i>Rpv9</i>	<i>V. Riparia</i>	7	Non		Moreira et al. 2011
<i>Rpv10</i>	<i>V. amurensis</i>	9	Oui		Schwander et al. 2011
<i>Rpv11</i>	<i>Vitis américaines</i>	5	Oui	Effet faible et contourné en Europe	Fischer et al. 2004
<i>Rpv12</i>	<i>V. amurensis</i>	14	Oui	Peut-être même locus que <i>Rpv8</i>	Venuti et al. 2013
<i>Rpv13</i>	<i>Vitis américaines</i>	12	Non		Moreira et al. 2011
<i>Rpv14</i>	<i>Vitis américaines</i>	-	Non		Fetcher et al. (cp)
<i>Rpv15</i>	<i>Vitis américaines</i>	18	Non		Pap et al. (cp)

Tout d'abord il est symptomatique au niveau des géniteurs de résistance de constater la richesse (qu'il faudrait d'ailleurs étendre à d'autres bio-agresseurs) des loci de résistance apportés par la seule muscadine du sud-est des USA *Muscadinia rotundifolia* : *Run1*, *Run2.1*, *Run2.2*, *Ren5* / oïdium ; *Rpv1*, *Rpv2* / mildiou ; *Run1*, *Rpv1*, *Rpv2* ont été introgressés dans *Vitis vinifera*. Aucune de ces résistances n'a été contournée à ce jour en milieu naturel.

La vigne asiatique *Vitis amurensis* apporte la résistance au mildiou avec les loci *Rpv8*, *Rpv10* et *Rpv12*, mais pas celle à l'oïdium ; notons qu'elle est aussi utilisée comme génitrice de la tolérance au froid (Europe centrale et orientale; Chine).

Les *Vitis* américaines apportent une série de loci de résistance au mildiou et à l'oïdium ; cependant, seuls *Rpv3*, *Rpv4*, *Rpv7*, *Rpv11* et *Ren3* ont été introgressés dans *Vitis vinifera*. Notons que tous les gènes de résistances au mildiou introgressés ont été (partiellement) contournés dans certains hybrides comme Regent ou Bianca, en soulignant que ces exemples sont spécifiques à ces hybrides et n'ont pas valeur de généralité.

La dernière publication en date de l'équipe de Geneva New York (Feechan et al., 2015 : voir encadré ci-après) est révélatrice des outils utilisés par la plupart des chercheurs pour étudier la génétique de la résistance. Son analyse nous permet définitivement de relativiser la portée des résultats de ce type.

En effet, on teste l'efficacité de gènes (Run1, Run2, Ren1) sur des cépages sensibles transformés génétiquement pour ces gènes, donc dans un contexte délibérément monogénique dont on connaît a priori le risque de contournement et dont on sait qu'il ne représente pas la réalité d'un hybride ayant ce même gène car le contexte génomique est différent ; et de plus on teste cette efficacité par rapport à des souches précises du parasite oïdium qui n'ont pas valeur de représentativité de l'évolution du parasite en milieu naturel. Enfin, la durée brève des expériences et la spécificité des isolats du parasite, ne permettent pas de montrer que les autres gènes que Run1, par exemple Run2, Ren1, ne sont pas contournables par une autre souche d'oïdium, même en les associant ! Bref, toutes ces recherches, qui font certes progresser nos connaissances, n'ont pas de valeur de transposition à la réalité d'une culture d'hybride dans nos vignobles, et ne permettent aucune conclusion sérieuse et scientifique sur les risques de contournement de vignes issues d'hybridation.

LES rV NE SONT PAS MONOGÉNIQUES !

Contrairement à ce que beaucoup avançaient jusqu'à présent, les rV ne sont pas 'monogéniques'. Voici les observations qui démontrent, au contraire, que la génétique de la résistance des rV est fondée sur un locus (pour l'oïdium) ou deux loci majeurs (pour le mildiou) que l'on identifie par marquage moléculaire avec des QTL majeurs, et déjà 'pyramidés' par des gènes complémentaires que l'on peut identifier par des QTL mineurs mais qui sont souvent ignorés ou méconnus. Voici pourquoi par ordre chronologique :

1/ Le géniteur des résistances *Muscadinia rotundifolia* : Sur la base des QTL majeurs, elle est considérée comme monogénique vis-à-vis de la résistance à l'oïdium avec Run1, donc potentiellement contournable. Cependant depuis des temps immémoriaux sa résistance est totale et stable ! Deux explications possibles : ou bien Run1 (le locus) est particulièrement polymorphe et capable en soi d'opposer à la variabilité génétique du parasite un système que ce dernier ne peut reconnaître ni contourner ; ou bien Run1 est épaulé par des gènes complémentaires, la combinaison de leurs effets dominant les capacités du parasite. Concernant le mildiou, le géniteur possède deux loci majeurs Rpv1 et Rpv2, donc avec un risque de contournement inférieur au cas de Run1 mais néanmoins réel ; et le même raisonnement que précédemment peut être fait.

2/ La population de descendants possédant Run1 à Geneva New York : L'étude est publiée dans *Vitis* en 2011 (Natural infection of *Run1*-positive vines by naïve genotypes of *Erisiphe necator*. L. Cadle-Davidson, S. Mahanil, D.M. Gadoury, P. Kozma, B.I. Reisch). Elle permet de trancher entre les deux hypothèses précédentes et de montrer que la seule explication possible est celle du locus majeur Run1 épaulé par des gènes complémentaires. En effet la descendance d'un croisement qui possède Run1 est environ à 85% résistante en conditions naturelles à des populations d'oïdium, et 15% simplement tolérante (mais pas véritablement sensible). Il apparaît donc que Run1 tout seul ne confère pas la résistance totale, et que pour cela il faut l'apport de gènes complémentaires (non identifiés dans l'étude), ces derniers faisant défaut pour tout ou partie aux 15% restants de la population étudiée.

3/ L'étude des transgènes Run1, Run2, Ren1 à Geneva New York : L'étude est publiée dans *Phytopathology* en 2015 (Strategies for RUN1 Deployment Using RUN2 and REN2 to Manage Grapevine Powdery Mildew Informed by Studies of Race Specificity. Angela Feechan, Marianna Kocsis, Summaira Riaz, Wei Zhang, David M. Gadoury, M. Andrew Walker, Ian B. Dry, Bruce Reisch, and Lance Cadle-Davidson). Ces résultats montrent d'abord qu'un gène isolé comme Run1 introduit par transgénèse peut ne pas induire de résistance totale (comme c'était le cas dans l'étude précédente) face à des isolats très particuliers d'oïdium, en notant que cette situation est véritablement monogénique par construction et qu'elle est confrontée à des souches particulières du parasite ; autant elle vérifie le risque potentiel de contournement, autant elle ne peut s'appliquer à des hybrides possédant Run1 (et d'autres gènes) par hybridation et cultivés en conditions naturelles avec une population et non une lignée du parasite. Notons qu'elle permet en fait la critique d'une stratégie OGM pour créer des variétés résistantes avec une ou même deux constructions génétiques.

Mais surtout un examen complet démontre finalement la véracité de l'hypothèse du paragraphe 2 concernant la résistance à l'oïdium où l'efficacité d'un gène majeur est renforcée par la présence de gènes (QTL) mineurs qui sont apportés ici aussi par un génotype 'rV' ; **ces gènes ont été identifiés : RGA4, RGA8 pour leur contribution additive secondaire améliorant significativement la résistance à l'oïdium.** Il est d'ailleurs permis de penser qu'une situation analogue existe vis-à-vis du mildiou. Cette étude apporte aussi une autre information sur les effets combinés des gènes majeurs Run1, Run2, Ren1 introduits par transgénèse dans des variétés de vigne. L'adjonction de ces gènes de provenance indépendante n'assure pas une résistance totale : un tel pyramidage que l'on peut qualifier d'aveugle n'est pas une garantie absolue contre le risque de contournement. En revanche, **un pyramidage d'un gène majeur avec des gènes complémentaires issus du même corpus génétique qui assure la résistance d'un géniteur comme *Muscadinia rotundifolia* est la voie rationnelle.** Les rV s'inscrivent dans ce cadre, sachant qu'à ce jour les marqueurs de ces gènes complémentaires ne sont pas disponibles et que la seule garantie est l'étude sur le terrain de l'expression de leurs résistances.

ANALYSE DU MATÉRIEL VÉGÉTAL

A la lumière des informations de ces tableaux, examinons les caractéristiques des divers types d'hybrides interspécifiques qui sont l'objet d'intérêt par de nombreux professionnels.

1) Vieux hybrides français :

Sur la base des connaissances actuelles, il découle que la résistance à l'oïdium ne repose que sur Ren3 ce qui les expose à un risque de contournement similaire à celui que l'on suppose pour les rV. Or la plupart de ces hybrides sont restés pour le moins **très tolérants** à l'oïdium, alors qu'ils ont représenté à **échelle immense** jusqu'à 60% des surfaces des vignobles du sud-ouest de la France en 1960 selon les statistiques de l'ONIVINS. Donc, ou bien Ren3 est particulièrement incontournable, ou bien il est assorti de gènes complémentaires à effet stabilisant. Le même raisonnement peut du reste être avancé pour Run1 en rapport avec les rV !

Concernant le mildiou, les vieux hybrides français possèdent sans doute le plus fréquemment Rpv3, ou d'autres loci de même type : tous sont notés 'contournables' ou avec une efficacité faible. Or ces hybrides sont restés durablement résistants ou tolérants au mildiou, et la même explication que pour l'oïdium peut être avancée. Ici les rV sembleraient posséder un avantage avec Rpv1 et Rpv2 efficaces et non contournés.

2) Nouveaux hybrides européens :

Un raisonnement similaire au cas précédent peut être fait. Etant donné la plus grande complexité des programmes de sélection et le nombre élevé de géniteurs et de croisements par rapport à la première génération d'hybrides, il est logique de penser que la plupart d'entre eux possèdent plusieurs loci de résistance au mildiou, mais cependant pas vis-à-vis de l'oïdium.

Nous constatons donc que la situation de 'polygénisme' ou de 'multi loci' de ces hybrides concernant le mildiou est celle qui a provoqué certains contournements de résistance (en soulignant que ceci a concerné des cépages particuliers, Regent et Bianca, et ne peut avoir valeur de généralité), alors que celle de 'monogénisme' ou de 'mono locus' concernant l'oïdium n'a pas induit un tel risque ! Que penser alors ? Simplement que le **nombre de gènes ou de loci n'est pas le premier facteur de la stabilité de la résistance, mais que c'est la nature même du gène ou mieux du locus avec de possibles renforcements par des gènes complémentaires non connus, qui en est responsable !** Il convient donc d'arrêter d'investir les rV de monogéniques en reconnaissant la justesse de nos arguments montrant qu'ils ne le sont pas, et de revenir à plus d'objectivité voire de prudence !

3) rV5,6 :

Les informations des tableaux conduisent à considérer les RV comme *durablement résistants à l'oïdium grâce au locus Run1*, ce qui est corroboré par les observations effectuées pendant la trentaine d'années qu'a duré leur sélection, certaines conditions correspondant d'ailleurs à une pression parasitaire maximale depuis une décennie. Rappelons que les essais sur Run1 conduits à Geneva New York montrent qu'environ 85% des descendants d'un croisement ayant Run1 ont une résistance totale et 15% ont une résistance amoindrie (tolérance), et non pas contourné comme trop souvent annoncé par erreur!, ce qui corrobore le modèle du gène majeur (Run1) et des gènes complémentaires (RGA4, RGA8). En tout cas les derniers résultats de cette équipe, s'ils montrent la possibilité pour Run1 d'être contourné –c'est bien dans un contexte purement monogénique sur matériel transgénique, et face à des isolats spécifiques d'oïdium, *comme ce serait le cas pour la plupart des gènes de résistance sortis du contexte du géniteur de résistance*. On pourrait en dire autant d'autres gènes et même des associations de tels gènes qui ne font que retarder l'échéance du contournement.

Au niveau de la résistance au mildiou, les RV avec les loci Rpv1 et Rpv2, *seuls non contournés dans la série des Rpv*, sont aussi mieux 'armés' que les hybrides précédents. La seule réserve concerne le niveau d'échelle de l'expérimentation des RV. Cependant lorsque l'on se souvient que malgré les réserves émises au sujet de Rpv3 et autres Rpv provenant des *Vitis* américaines, les hybrides à part quelques exceptions ont conservé leur résistance ou leur tolérance à une très grande échelle, et des décennies durant, il est normal de considérer que les rV présenteraient un risque vraiment très faible de contournement si jamais ils étaient cultivés à ce niveau d'échelle.

4) Resdur :

L'ambition de ce programme qui s'appuie sur le fonds génétique des RV est d'y adjoindre un maximum d'autres gènes ou loci de résistance par utilisation des géniteurs les plus exotiques et résistants possibles. Toutefois si cette manipulation large de la diversité génétique est parfaitement justifiée afin d'élargir le potentiel d'adaptation 'multi-stress', RIEN ne justifie le blocage du transfert des rV qui présentent au moins autant, sinon davantage, de garanties de résistance efficaces et durables que les autres hybrides aujourd'hui disponibles !

De surcroît, le pyramidage 'aveugle' qui est pratiqué dans ce programme est scientifiquement contestable, car ce n'est pas en cumulant les gènes que l'on peut garantir de façon absolue la durabilité des résistances. Statistiquement, les phénomènes de contournement de la résistance sont ainsi réduits, contrairement aux résistances monogéniques, mais pas écartés ! Comme cela a été vu ci-avant, l'important est l'effet intrinsèque du gène ou du locus (connu), avec l'apport possible de gènes complémentaires (non connus). *Le 'pyramidage' ne peut être aveugle ou purement statistique, il doit porter sur des gènes réellement complémentaires qui sont ceux du géniteur de résistances, comme Muscadinia rotundifolia, dont l'évolution a sélectionné un équilibre génique complexe assurant l'efficacité et la pérennité les résistances et que l'on doit transmettre au moins en partie aux génotypes sélectionnés ! Mais on ne connaît pas tous ces gènes...*

En tout cas, nos collègues suisses de l'Agroscope de Changins homologuent après analyse responsable des variétés dites 'monogéniques', par exemple le DIVICO (Gamaret x Bronner) porteur des gènes Ren 3.2 et Rpv 10 afin de répondre immédiatement aux besoins des professionnels. En même temps l'INRA Colmar et l'Agroscope de Changins ont entrepris un travail de pyramidage sur ce même DIVICO pour préparer une nouvelle vague à l'horizon 2025. Où est la cohérence ?

Sur le plan de l'application de ce programme Resdur, il est utile de rappeler que Didier Merdinoglu responsable de ce programme Resdur à l'INRA Colmar, annonçait lors de MondiaViti 2014 que la première inscription de variété issue du programme Resdur était attendue pour 2016 (ce qui s'est déjà avéré être impossible !) et que « **la durabilité est une notion que l'on ne peut juger qu'après coup** ». Sur la base de cette réflexion judicieuse, les RV ont en fait 10 ans d'avance sur les Resdur, à l'échelle de plusieurs parcelles grâce à l'expérience acquise à l'Unité INRA de Pech Rouge !

QUE FAIRE ?

Cela étant, est-il préférable d'attendre les premières sorties du programme Resdur ? CERTAINEMENT PAS, pour les raisons suivantes :

- Les rV ont environ 1% du génome de *Muscadina rotundifolia* dans leur patrimoine génétique, autant reconnaître que ce sont quasiment des *Vitis vinifera* ce qui du reste se constate au niveau de leur aspect ampélographique et de la typicité de leurs vins ; les premières générations de Resdur ont une part importante de leur génome 'non-Vinifera' dans une fourchette que l'on peut estimer de 10 à 50% selon les géniteurs utilisés : il faudra donc au moins 2 à 3 générations de rétrocroisements sur *Vitis vinifera* pour retrouver l'équilibre exceptionnel des RV et logiquement une typicité des vins en rapport : annoncer un résultat en première génération est une **prise de risque inconsidérée** ! La vraie précaution serait de prévoir les sorties pour la troisième génération, soit après 2020 de toutes façons !
- Les Resdur, suite au 're-brassage génétique' avec des 'non-Vinifera', courent le risque de manifester des **problèmes marginaux** par rapport à leurs critères de sélection, comme une sensibilité à des maladies secondaires (déjà notée pour le black rot), une extériorisation du phylloxéra gallicole (déjà constaté à Pech Rouge comme ce fut le cas avec de nombreux hybrides de première génération), un aspect ampélographique trop exotique (assez évident à constater). La sûreté de proposer des hybrides résistants, qualitatifs et sans problème annexe est donc loin d'être évidente, même en seconde génération ! Alors pourquoi bloquer les RV qui ont déjà franchi tous ces tests ?
- Enfin les Resdur ne pourront garantir la durabilité de leur résistance à la seule vue de leur génome, qui restera en tout état de cause incomplète ! Comme le responsable de son programme l'a lui-même évoqué en public, il faudra l'épreuve du terrain, et non **pas un blanc-seing génétique** ! Les hybrides disponibles aujourd'hui et les RV peuvent déjà apporter des résultats de terrain, certains à grande échelle ; les Resdur devront y passer... donc en toute logique, rendez-vous en 2030 !

Voici donc les arguments pour transférer comme les collègues suisses, allemands, italiens le font, et de façon responsable et tracée, les rV qualitatifs qui intéressent les professionnels, et ce, dès maintenant tout en poursuivant un travail à plus long terme concernant les références Resdur, comme le font aussi les collègues suisses. Les rV sont-ils exempts de tout risque comme d'ailleurs les hybrides européens disponibles actuellement ? Théoriquement la réponse est non. La raison est que toute nouvelle introduction génétique à grande échelle dans un environnement biotique et abiotique donné, peut conduire à une **nouvelle orientation du génome des parasites**, dans le sens d'un contournement des résistances ou dans un autre : que ce soit les hybrides disponibles, les Resdur, les rV !

La seule réponse qui puisse être apportée à ce stade, pour les RV du moins, est la diversité et la dureté des conditions de sélection et d'étude. Mais, en dehors des nouveaux essais de Pech Rouge (parcelle des Colombiers), le niveau d'échelle reste grand (petite surface). A petite échelle que peut-on dire ? La seule réponse par anticipation qui paraît pouvoir être apportée à ce jour est l'observation des populations de mildiou et d'oïdium face à l'utilisation à petite échelle de certains pesticides. Il ne s'agit certes que d'une analogie, mais tout de même...

Mildiou : que ce soit sur des petites parcelles expérimentales ou sur des régions entières les anti-mildious sont presque tous restés efficaces alors que le champignon parasite avait toute latitude pour évoluer : les produits cupriques de couverture, les 'anti-mildiou pénétrants', les éliciteurs de synthèse des défenses naturelles comme les phoséthyl-Al.

Oïdium : même constat s'agissant du soufre ou des 'anti-oïdium' biodégradables ; en revanche, l'efficacité des IBS (Inhibiteurs de la Biosynthèse des Stéroïdes) ou des strobilurines s'affaiblit avec un usage exclusif répété ; mais par exemple une alternance S/IBS est viable. Il est aussi indiqué dans la 'Note nationale gestion de la résistance mildiou et oïdium de la vigne 2014' que : « L'augmentation de la fréquence de cette mutation dans une population (d'oïdium) n'est pas susceptible d'entraîner systématiquement une perte d'efficacité (des strobilurines) ». De telles observations ont été notées à diverses échelles spatiales, y compris des petites parcelles (comme celles des programmes de sélection), mais requièrent un minimum de quelques années.

En conclusion le risque d'une perte d'efficacité de résistance concerne essentiellement l'oïdium, et se révèle avec le temps d'application plus qu'avec la surface plantée : 10 ans en zone de forte pression d'oïdium ça suffit tout de même pour se rendre compte d'un tel phénomène. Arrêtons aussi de considérer la génétique moléculaire comme la panacée des outils scientifiques, et surtout :

***Ne faisons pas dire à la génétique moléculaire ce qu'elle ne peut montrer !
Expérimentons, développons à échelle réelle les hybrides qualitatifs rV ! Merci aux responsables concernés de prendre en considération ces derniers acquis de la science, et d'autoriser rapidement le transfert contrôlé scientifiquement des rV de Bouquet au bénéfice de la viticulture, de la science et de notre environnement qui en a tant besoin vis-à-vis des pesticides !***

ANNEXE




VITIVINICULTURE DURABLE:
Cépages qualitatifs résistants

Collectif:
Alain Carbonneau, Hernan Ojeda,
Laurent Torregrosa, Bruno Tisseyre,
Jean-Louis Escudier





Charte GiESCO

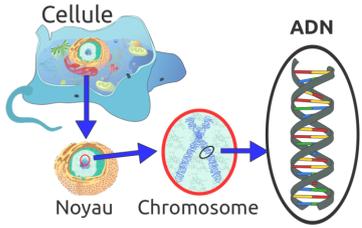
CONSEIL SOCIO ECO	CHOIX / ORIENTATION			
	Priorité	RENTABILITE	QUALITE	HOMME
	Durabilité	Succès commercial	Notoriété	Conditions de vie
	Conduite	Larges	Qualitatives	Esthétiques

CONSEIL TECHNIQUE	CONTRAINTE ENVIRONNEMENT / TECHNIQUE / REGLEMENTAIRE				
	A	B	C	D	E
	RISQUE NUL/FAIBLE	RISQUE REDUIT	RISQUE ELEVE BIODIVERSITE VITIS	RISQUE ELEVE CONTRAINTE VITIS	CEPAGES RESISTANTS

STRATEGIE DE PROTECTION		
1	2	3
INTEGREE « Nature »?	BIOLOGIQUE	BODYDYNAMIQUE

MESURES COMPLEMENTAIRES				
CLIMAT	SOL	EAU	FERTILISATION	CONDUITE

2



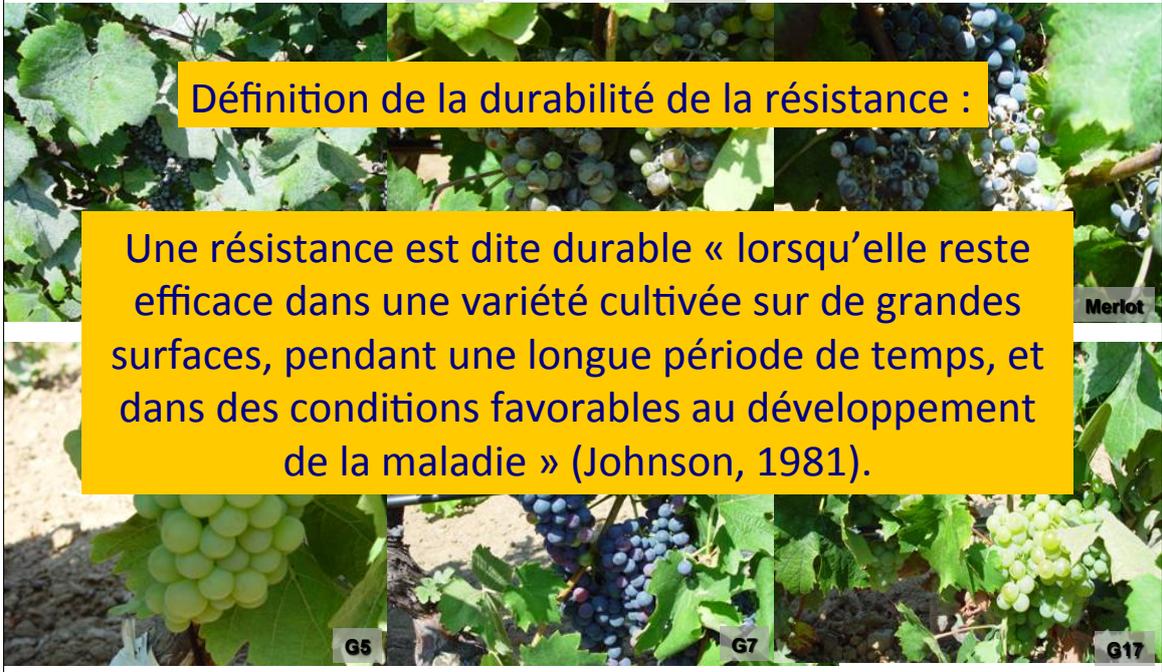
.... ARN ... protéines
 → Gènes de résistance de la plante
 → Gènes d'agression du parasite à forte capacité de mutation pour contourner la résistance de l'hôte

Comment la plante hôte lutte et rend sa résistance durable?

- **Cumul de gènes (polygénisme):** risque de contournement diminué
Plusieurs clés moléculaires à trouver par le parasite
- **Gène majeur (monogénisme) renforcé par des gènes mineurs***
Une clé moléculaire complexe et des obstacles
 - **Gène majeur (monogénisme) à large spectre***
Une clé moléculaire inimitable

Chez la Vigne:

***des *Vitis* américaines et asiatiques ont quelques gènes de résistance**
****Muscadinia rotundifolia* a des gènes majeurs durables ***



Définition de la durabilité de la résistance :

Une résistance est dite durable « lorsqu'elle reste efficace dans une variété cultivée sur de grandes surfaces, pendant une longue période de temps, et dans des conditions favorables au développement de la maladie » (Johnson, 1981).

Parcours d'innovation à VITICULTURE



Quelques bases de génétique:

Gènes de résistances connus:
/ mildiou: Rpv1, Rpv2+X gènes mineurs?

/ oïdium: Run1, Ren1+Y?

Monogénisme:

- * contournement risqué
- * 5,6 générations
- * Résistances durables SI gènes 'large spectre' ou avec gènes mineurs

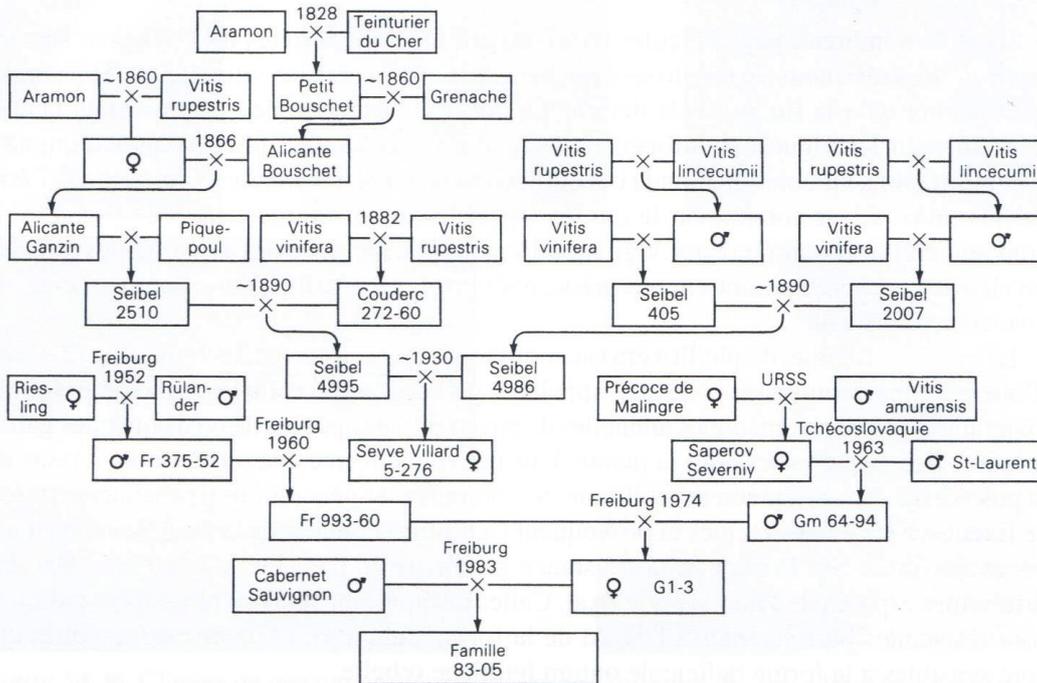
Polygénisme

- * peu de contournement
- * nombreuses générations
 - résistances 'diluées'
 - typicité moins ciblée

Stratégie d'amélioration génétique:

- Introgression des gènes majeurs de résistance (Run1, Rpv1)
- Sélection de génotypes résistants stables (+ gènes mineurs)
- Evaluation du transfert possible & suite vers le polygénisme

Programme de Fribourg (polygénisme, nombreuses générations)



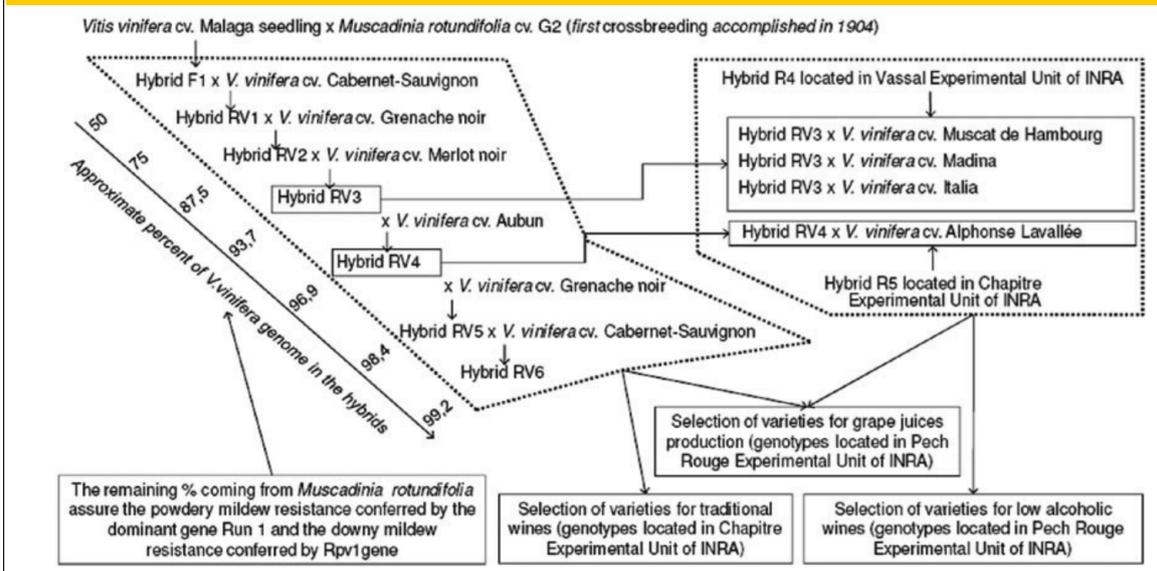
Panoplie des hybrides interspécifiques disponibles:

- Premiers hybrides français (F1, F2):
 - résistants ou tolérants stables
 - rejet qualitatif mais des exemples encore valables (Seyval blanc, Maréchal Foch/Kuhlmann)
- Seconde génération de croisements:
 - INRA non encouragé à poursuivre (exceptions: 8502 N, 'Villeneuve B')
 - création de nombreuses variétés tolérantes en Italie, Allemagne, Suisse, Europe de l'est, New York... (quelques exemples intéressants: VCR/Sauvignon, Merlot, Cab.Sauv, Muscaris B, Rondo N, Cabernet Jura...)



Recensement – 56 fiches détaillées

**A ce jour les génotypes les plus qualitatifs et résistants (stables même sous forte pression parasitaire), sont issus des derniers rétrocroisements '*Muscadina rotundifolia x vitis vinifera*' (Alain Bouquet) ou *Muscadina rc5,6 Vinifera*:
 Mono (bi) géniques / gènes majeurs Run1 et Rpv1, Rpv2 MAIS:
 Gènes à large spectre ou avec gènes mineurs stabilisant la résistance!**





Résistance forte et toujours stable au mildiou et à l'oïdium

Tenue parfaite sur souche / pourritures du raisin permettant d'attendre la maturité optimale (2013)



Cépages résistants diversifiés: vins de qualité, vins de qualité à faible degré, jus de raisin, 'sucre de raisin', raisin de table

Réponse des différents génotypes à l'oïdium en l'absence totale de traitements antifongiques.



G1 à G17 (génotypes issus de rétro-croisements inter-spécifiques): on observe l'absence totale de symptômes. Gamay, Merlot et Prosecco (cépages témoins): des symptômes graves d'oïdium sur feuilles et grappes.

Photos : Marc Heywang

Bilan des risques de contournement des résistances:

un seul gène majeur de résistance de la vigne peut être contourné par la variabilité génétique du parasite,

MAIS:

→ Qui a plus d'un gène majeur (connu)?

1 gène pour hybrides disponibles : français, allemands, italiens, suisses

2 gènes/mildiou pour Muscadinia, RV, Resdur (+oïdium?)

→ Où sont les gènes complémentaires (non connus)?

Existents sans doute dans Muscadinia et RV/oïdium

Éventuellement dans les hybrides disponibles, les Resdur?

→ Quelles conditions de sélection et de culture?

Hybrides disponibles: *la plupart tolérants durables à grande échelle*

RV: *résistants durables sous forte pression parasitaire à petite échelle*

Resdur: *résistants MAIS à tester sous forte pression et à diverse échelle*



INRA Pech- Rouge:

10 ans de Projets en réalisation à partir de génotypes résistants Inra:

Vins de qualité à teneur réduite en alcool (Projet ANR VDQA, 2005-2009),
4 variétés Muscadinia rc-vinifera pré sélectionnées (Bouquet)

Développement d'une nouvelle gamme dédiée purs jus de raisin & Création d'une filière « jus de raisin » (Projet FUI FIJUS-R@isol, 2009-2015)

11 variétés dont 9 hybrides seront inscrites en 2016 (3 Muscadinia rc -vinifera en attente).

Expérimentation Vitiviniculture durable:

1) projet France Agrimer-CIVL-Inra (100 kE) en cours

5 MrcV (RV5), 3 Resdur (10X 0,5 ha) 2013-2018

2016: 2) Focus sur 4 MrcV(RV6) ,Pays d'OC-Inra en cours

Projet Divine



Dispositif expérimental Pech Rouge

- Une centaine de ref Resdur (4 plants) depuis 2011 issus des recherches de Inra Colmar.
- 17 MrcRV6 -vinifera(entre 25 et 90 plants), dont 4 vinifiés pour Pays d'OC en 2015, depuis 2010
- 5 MrcRV5-vinifera à 0,5 ha (2000 plants) depuis 2012
- 3 Resdur à 0,5 ha (2000 plants) depuis 2015.
- 5 ref Udine par 80 plants depuis 2014.



INRA
SCIENCE & IMPACT

Unité Expérimentale de PECH ROUGE
INNOVATION, DIVERSIFICATION et
DURABILITÉ
en VITICULTURE et ŒNOLOGIE

<http://www.montpellier.inra.fr/pechrouge>



Résultats Inra Pech Rouge

- **Ref MuscadiniaRV5/6-Vinifera résistances totale depuis 10 ans .**
- **Peu de maladies secondaires sur ces références.**
- **Qualitatifs/ vins méditerranéens de qualité**
- **Resdur à valider (qualité, maladies secondaires)**



INRA
SCIENCE & IMPACT

Unité Expérimentale de PECH ROUGE
INNOVATION, DIVERSIFICATION et
DURABILITÉ
en VITICULTURE et ŒNOLOGIE

<http://www.montpellier.inra.fr/pechrouge>



Position Inra: principe de précaution comme obtenteur.

- Déploiement responsable (ie, durable) des variétés résistantes aux maladies.
- Ce déploiement privilégie en l'état actuel des connaissances les résistances polygéniques, programme Resdur à partir des RV5 Muscadinia (2017- 2025) rétrocroisés avec des hybrides.
- Capacité de régulation collective à maîtriser sur les créations variétales INRA pour les observer.



Pourquoi un tel principe de précaution INRA?

- Le gène de résistance à l'oïdium RUN 1, issu de *Muscadinia* est le seul connu à résistance totale.
- Joyau à protéger pour qu'il ne soit pas contourné!
- RPV1 pour le mildiou est aussi le plus efficace.
- Pour d'autres plantes (pomme) il y a eu contournement de résistance, (ex / Tavelure) à échelle 15 ha.
- Certains variétés monogéniques ont été contournées (ex Régent)
- Mais ..les références MrcV à ce jour sont tolérantes (+ de 10 ans de recul) à échelle de l'hectare, et très qualitative.
- Mais*Muscadinia* : **jamais contourné!**



Comment y répondre?

- Par des approches scientifiques au niveau de parcelles expérimentales en vrai grandeur ..sans déployer..
- Surfaces à définir avec les pathologistes selon les bassins de production
- Plus la surface est grande meilleure sera la réponse!
- Mais traçabilité à assurer pour suivre sur le long terme l'évolution des populations et l'efficacité des résistances au vignoble
- Développement des maladies et ravageurs « secondaires » en absence ou réduction de traitements à étudier...seul des essais en vrai grandeur le permet aussi .



Comment aller plus loin?

- Connaitre les demandes et intérêts de la profession.
- Dialoguer avec L'Inra d'abord, comme créateur qui porte la responsabilité juridique , en lien aussi avec les chambres d'agriculture, IFV , ICV pour assurer sans faille le principe de précaution et faire progresser les connaissances sur toute construction génétique.. Au sein d'observatoires
- Le déploiement sera fait dans le cadre de la marque ENTAV INRA



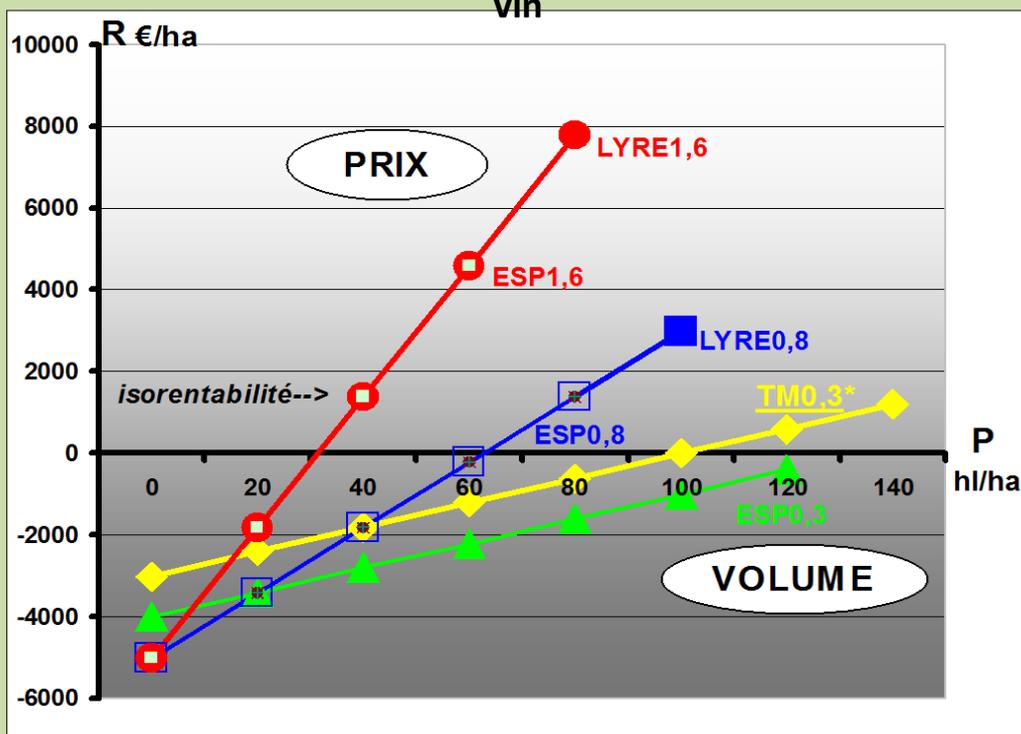
Une possibilité d'application du principe de précaution :

deux traitements annuels
(si besoin).

A proposer de façon responsable à la DG Inra par un club de professionnels ??.



Systeme de conduite = clé de la rentabilité (coûts/volume):
Diverses options selon le niveau du prix ou de la typicité/qualité du vin



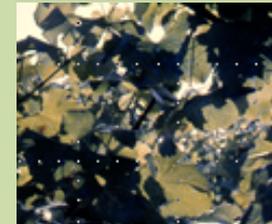
Résumé des critères de durabilité en conduite du vignoble:

*La condition préalable de la maîtrise de la *vigueur des ceps*



*Les caractères indispensables de l'*architecture de la vigne* :

-Surface Foliaire Exposée élevée



-Exposition optimale du raisin

-Eloignement suffisant du sol



2 modèles ressortent: *Lyre* et *Taille Minimale*

Lyre pliable



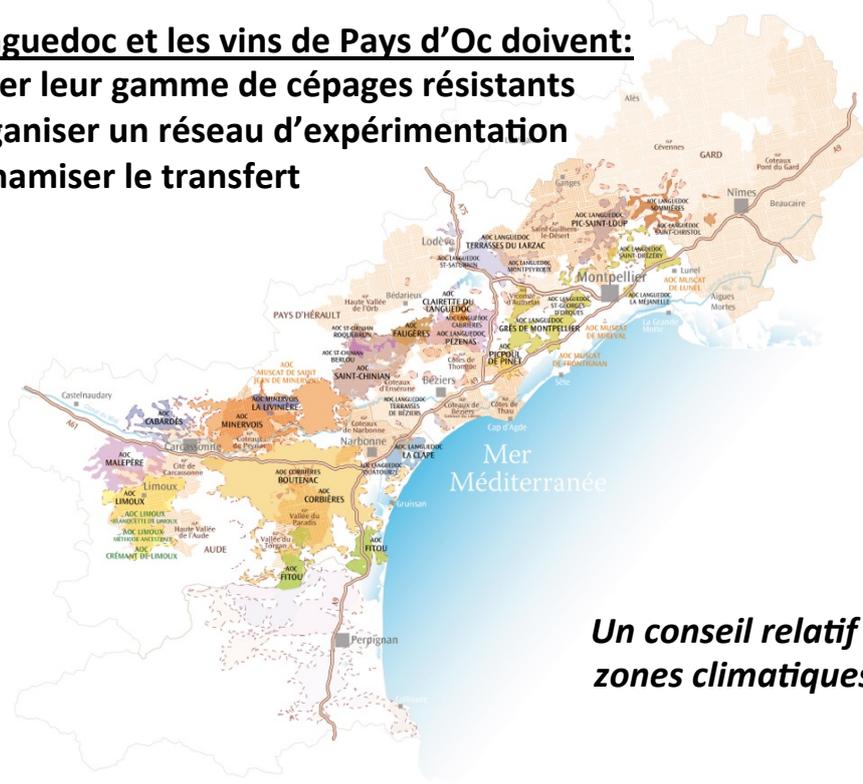
Taille Minimale



Taille Minimale - Merlot - Languedoc

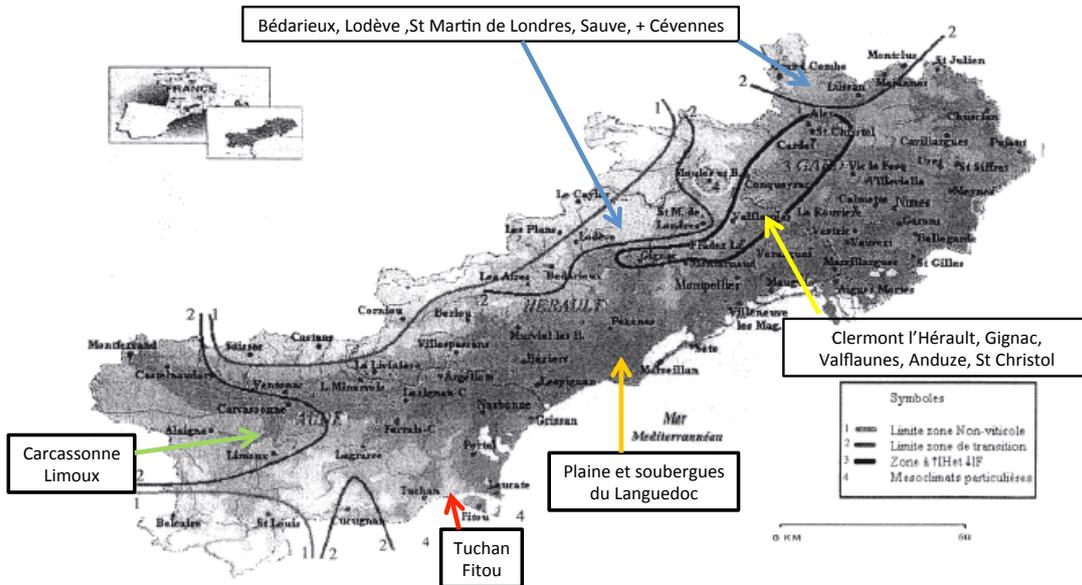
Le Languedoc et les vins de Pays d’Oc doivent:

- Créer leur gamme de cépages résistants
- Organiser un réseau d’expérimentation
- Dynamiser le transfert



Un conseil relatif aux zones climatiques →

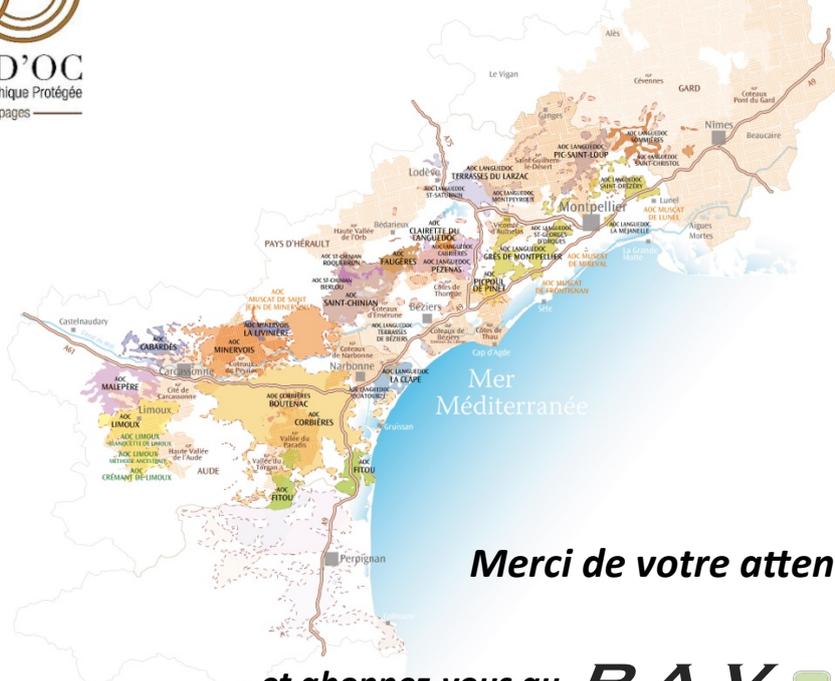
CLIMATOLOGIE VITICOLE DU LANGUEDOC (IS, IH, IF)
Déclinaisons tempérées du climat méditerranéen (PAV 2002 n°5)





PAYS D'OC
Indication Géographique Protégée
Vins de cépages

Pourquoi pas un GI/ESCO « OC » ?



Merci de votre attention...

*... et abonnez-vous au **PAV** *
Publications Actualités Vitivinicoles