

# Le changement climatique en viticulture : les leviers d'adaptation au vignoble.

van Leeuwen C.<sup>1</sup> et Darriet P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bordeaux Sciences Agro, ISVV, UMR Ecophysiologie et Génomique Fonctionnelle de la Vigne, UMR 1287, F-33140 Villenave d'Ornon, France.

<sup>2</sup> Université de Bordeaux, Unité de Recherche CEnologie, USC 1366 INRA, ISVV, F-33140 Villenave d'Ornon, France.

Email: vanleeuwen@agro-bordeaux.fr

**Résumé :** Le changement climatique se manifeste par une augmentation des températures, une augmentation de la durée et de l'intensité du déficit hydrique ressenti par les cultures et une augmentation du rayonnement. Ces changements ont des répercussions sur la culture de la vigne, qui dépend fortement des conditions climatiques. Le changement climatique aura des répercussions sur le rendement et sur la composition du raisin. Par conséquent, la qualité et la typicité des vins seront impactées. Il existe de nombreux leviers d'adaptation au vignoble qui permettent de limiter de possibles effets négatifs du changement climatique. Parmi ces leviers, une modification du matériel végétal est probablement celui qui a l'action la plus puissante. Elle présente en outre l'avantage d'être neutre sur les coûts de production et de ne pas avoir un impact environnemental négatif. Les effets du changement climatique sur de la vigne et l'étude des possibles leviers d'adaptation sont les thèmes du métaprogramme INRA « LACCAVE », qui réunit une vingtaine d'instituts de recherche, écoles d'agronomie et universités français qui travaillent sur cette thématique.

## Les effets du changement climatique

Il y a aujourd'hui un consensus de la communauté scientifique sur la réalité du changement climatique. Celui-ci se manifeste principalement par une augmentation des températures. Le phénomène est observé sur l'ensemble du globe, même si l'amplitude de l'augmentation des températures présente des différences régionales majeures. Les climatologues prévoient une continuation de cette évolution, mais avec des différences marquées en fonction des scénarii des émissions de gaz à effet de serre, avec de 1 à 4°C supplémentaires d'ici la fin du siècle. Il est plus difficile de prévoir une tendance pour les précipitations. Les modifications des régimes de pluie connaîtront probablement des différences régionales et saisonnières marquées. Il est probable que des phénomènes extrêmes, comme des épisodes de précipitations diluviennes, deviendront plus fréquentes. La sécheresse perçue par les cultures dépend à la fois des précipitations et de l'Evapo Transpiration Potentielle (ETP). Comme l'ETP augmente mécaniquement avec la température, la durée et l'intensité des périodes de sécheresse sera accrue, même en l'absence d'une diminution des précipitations. Le changement climatique s'accompagne enfin d'une augmentation du rayonnement, en particulier dans les longueurs d'onde correspondant aux UV-B.

## Conséquences du changement climatique sur la culture de la vigne

L'effet le plus marquant d'une augmentation des températures est une avancée des cycles végétatifs et reproducteurs de la vigne. Les différents stades phénologiques (débourrement, floraison, véraison, maturité) sont atteints plus précocement, ce qui a pour répercussion que la maturation se déroule plus tôt en saison. Par conséquent, les raisins subissent des températures plus élevées pendant la période de maturation, à la fois parce que la température est plus élevée (effet direct du changement climatique) et parce que la maturation se déroule plus tôt en saison (effet indirect du changement climatique). Depuis 30 ans, on observe déjà une augmentation de la composition du raisin à maturité, qui est plus sucré et moins acide (figure 1). Même si d'autres facteurs participent à ces modifications (amélioration des techniques viticoles, augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, durée entre véraison et récolte plus longue), il est probable que l'augmentation des températures pendant la période de maturation en soit une des causes majeures. Ce type évolution est observé dans les vignobles du monde entier. L'augmentation de la température aura également un effet sur le potentiel aromatique du raisin. Cet aspect sera développé dans une autre communication (Darriet *et al.*, 2016).

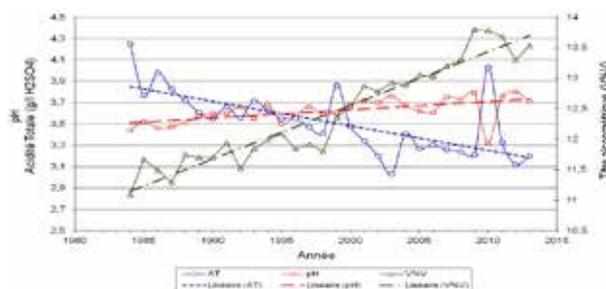
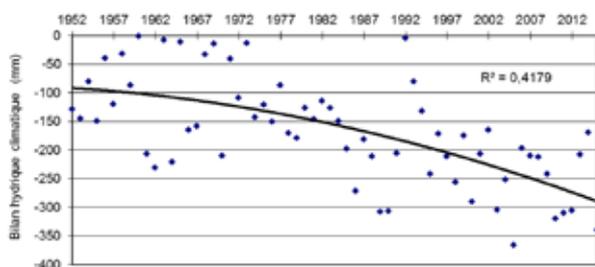


Figure 1 – Evolution du titre alcoométrique prévisionnel, de l'acidité et du pH du moût de raisin dans le vignoble du Languedoc entre 1984 et 2013 (données : laboratoire Dubernet, 11100 Montredon-Corbières).

L'augmentation de l'intensité de la sécheresse estivale est aussi une réalité. Elle est plus la conséquence d'une augmentation des valeurs de l'ETP que d'une diminution des précipitations. Le bilan hydrique climatique devient de plus en plus négatif, comme le montre un exemple pour la région de Bordeaux sur la période 1952 – 2015 (figure 2). Comme pour toutes les cultures agricoles, une augmentation de la contrainte hydrique de la vigne est un facteur important de diminution de rendement, ce qui peut impacter l'équilibre économique des exploitations viticoles. Sur les 15 dernières années on observe une diminution du rendement dans de nombreux vignobles français. Cependant, il n'est pas certain que cette évolution soit attribuable uniquement à l'augmentation de la durée et de l'intensité de la contrainte hydrique subie par la vigne. Pendant la même période, le désherbage chimique de la vigne a fortement reculé et l'enherbement (voulu ou subi) a fortement progressé. La présence d'herbe dans la vigne impacte relativement peu le régime hydrique de la vigne, car la vigne a généralement accès à des réserves en eau au-delà de la zone d'implantation des racines des graminées. En revanche, la concurrence avec l'herbe pour l'azote est frontale, car l'azote est présent seulement dans les horizons superficiels du sol. Par conséquent, il est probable que la diminution des rendements soit, au moins en partie, attribuable à un statut azoté plus contraint. Afin d'évaluer les causes de la diminution des rendements, il est dans ces conditions essentiel de mettre en œuvre des indicateurs pertinents pour évaluer le statut azoté de la vigne (van Leeuwen et Friant 2011) et le régime hydrique de la vigne (van Leeuwen *et al.*, 2009).

L'augmentation de la contrainte hydrique est généralement bénéfique pour le potentiel qualitatif du raisin, en particulier pour la production de vins rouges, car elle provoque un arrêt de croissance plus précoce et une diminution de la taille des baies. Dans ces conditions,

la maturation du raisin se déroule dans de meilleures conditions et les raisins sont moins acides, car ils contiennent moins d'acide malique, et sont plus riches en composés phénoliques. L'effet de la contrainte hydrique sur la teneur en sucre du raisin dépend de son intensité : les raisins sont plus sucrés si la vigne subit une contrainte hydrique modérée et moins sucrés si la contrainte hydrique est forte, à cause d'une diminution de la photosynthèse. En cas de stress hydrique sévère, le potentiel qualitatif du raisin peut être pénalisé, en particulier pour une production de vin blanc. L'augmentation de la contrainte hydrique aura également un effet sur le profil aromatique du raisin. Cet aspect sera développé dans une autre communication (Darriet *et al.*, 2016).



**Figure 2 – Evolution du bilan hydrique climatique de 1952 à 2015 par modélisation du bilan hydrique climatique calculé entre le 1er avril et le 30 septembre pour la région de Saint-Emilion (bilan hydrique calculé d'après Lebon *et al.*, 2003 ; paramétrage : RU = 0 mm et absence de régulation stomatique).**

Le changement climatique s'accompagne également d'augmentation du rayonnement incident et la modification du spectre de rayonnement, avec en particulier une augmentation de la composante UV-B. Cette évolution a des conséquences positives sur la teneur en composés phénoliques du raisin, mais elle peut et modifier la composition des arômes et précurseurs d'arômes. Cet aspect sera développé dans une autre communication (Darriet *et al.*, 2016).

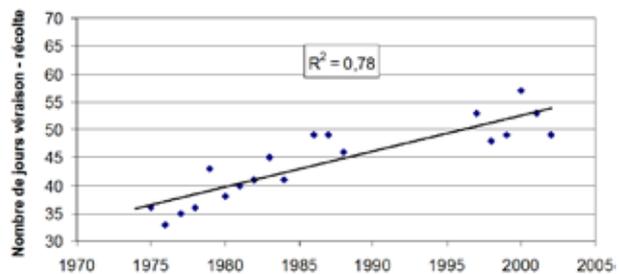
## Les leviers d'adaptation à une augmentation des températures

Pour la production d'un vin de qualité, qui exprime une typicité en relation avec le terroir sur lequel il a été produit, la maturité du raisin doit être atteinte à la fin de la saison, lorsque la température est plus modérée. En effet, une maturation du raisin à des températures trop élevées conduit à une composition du raisin déséquilibrée. Sur l'hémisphère nord, la fenêtre idéale pour atteindre la maturité se situe entre le 10 septembre et le 10 octobre (van Leeuwen et Seguin, 2006). Si la maturité est atteinte plus tôt, le raisin risque de mûrir dans des conditions trop chaudes. Au-delà du 10 octobre il est difficile d'obtenir une maturité complète. Avec le changement climatique, les stades phénologiques sont atteints de plus en plus tôt dans la saison et dans de nombreux vignobles le raisin risque de mûrir avant le 10 septembre dans les années à venir. Les viticulteurs doivent s'adapter en essayant de maintenir la période de maturité à l'intérieur de la fenêtre idéale. Cela représente une réelle modification de l'approche de la viticulture. Dans la plupart des régions françaises, le problème majeur pour l'obtention de vins de qualité a été pendant toujours un manque de maturité. Jusqu'à il y a vingt ans, la chaptalisation, ou l'ajout de moût concentré rectifié, était une pratique courante pour augmenter artificiellement la teneur en alcool des vins. Aujourd'hui, pour s'adapter au nouveau contexte climatique, il convient de rechercher, de plus en plus souvent, à retarder la maturité du raisin.

La palette de leviers qui permettent de retarder la maturité est très large. Certains de ces options ont des effets mineurs et ne modifient pas beaucoup les conditions de production et la typicité des vins. D'autres sont plus invasifs et auront des répercussions plus impor-

tantes sur les vins produits. Il est important de souligner que les effets des différents leviers sont cumulatifs : plusieurs modifications qui ont un petit effet sur la précocité peuvent, lorsqu'elles sont mises en œuvre ensemble, avoir un effet tout à fait significatif. Il convient de mettre en place les adaptations progressivement, d'abord celles qui ont un effet limité sur la typicité des vins et seulement lorsque cela ne suffit plus, mettre en place les adaptations plus invasives. On peut classer les adaptations qui permettent de retarder la maturité en deux grandes catégories : celles qui mettent en œuvre une modification des techniques viticoles et celles qui concernent une modification du matériel végétal.

Une modification facile à mettre en œuvre est l'avancée de la date des vendanges. Cela ne permet pas aux raisins de mûrir dans des conditions plus fraîches, mais cela peut permettre d'éviter un déséquilibre majeur dans la balance sucre/acidité et une augmentation excessive du pH des moûts et des vins. Curieusement, pour l'instant dans de très nombreuses régions viticoles les viticulteurs ont plutôt tendance à rallonger la durée véraison – récolte (figure 3). Le degré alcoolique des vins et les pH des moûts et des vins augmentent à cause de l'élévation de températures, mais ce comportement accentue ces phénomènes.



**Figure 3 – Nombre de jours entre la mi-véraison et la récolte pour une parcelle de Cabernet-Sauvignon dans l'appellation Margaux entre 1975 et 2002 (données ISVV, Guy Guimberteau et Laurence Gény).**

Plusieurs techniques viticoles permettent de retarder le cycle reproducteur de la vigne. Une taille tardive (en février ou mars) retarde le débourgeoisement de quelques jours. Dans la pratique il n'est cependant pas possibles de tailler l'ensemble des parcelles d'un domaine dans ce créneau, car une utilisation optimale de main d'œuvre disponible incite à étaler la période de taille de décembre à mars. Au cours de la journée, les températures sont nettement plus élevées à proximité de la surface du sol, surtout en l'absence de végétation et lorsque le sol est sec. Dans les régions où historiquement les raisins avaient du mal à atteindre une maturité complète, comme ce fut le cas pour le Cabernet-Sauvignon dans le Médoc, les viticulteurs établissaient les pieds les plus bas possible pour profiter de ce surplus de chaleur. Dans un contexte de réchauffement climatique, l'augmentation de la hauteur du tronc permettrait de faire mûrir les raisins dans un microclimat un peu plus frais, ce qui devrait retarder la maturité. Pour conserver la même surface foliaire il faudrait augmenter la hauteur de rognage dans les mêmes proportions que l'augmentation de la hauteur du tronc. La dégradation du rapport feuille-fruit permet de retarder la véraison (Parker *et al.*, 2014). Cependant, elle a de nombreuses autres conséquences, dont certaines peuvent être intéressantes telle qu'une diminution de la teneur en sucre du raisin sans augmenter l'acidité (Parker *et al.*, 2015). En revanche, d'autres effets qui peuvent potentiellement hypothéquer la qualité du vin, comme une diminution de la teneur en composés phénoliques, ou une possible augmentation de la flavure herbacée du raisin, doivent être étudiés plus en profondeur.

Le choix du matériel végétal est certainement le levier le plus important pour jouer sur la date de maturité. La variabilité génétique qui existe à l'intérieur des cépages a été, depuis une cinquantaine d'années, exploitée comme voie d'amélioration variétale. Dans le contexte de la fin du XXe siècle, il est logique que les clones sélectionnés fussent précoces et producteurs de raisins riches

en sucre. Aujourd'hui, il faut reprendre la sélection clonale des principales variétés à l'envers, en recherchant des clones tardifs et produisant des raisins moins riches en sucre. Face à l'évolution constante des besoins des viticulteurs, il est primordial de conserver les ressources nécessaires pour pouvoir toujours sélectionner de nouveaux clones adaptés aux besoins du moment (van Leeuwen et Roby, 2013). Ensuite, il est possible de choisir des porte-greffe qui rallongent le cycle de la vigne, comme le 420A, au détriment de porte-greffe précoces, comme le Riparia Gloire de Montpellier. Enfin, le levier le plus puissant est de jouer sur les différences de précocité entre cépages. Lorsqu'une large palette de cépages est cultivée au même endroit, la différence de la date de maturité entre le cépage le plus précoce et le cépage le plus tardif est de plus de deux mois. Dans les régions où plusieurs cépages rentrent dans le décret d'appellation, il sera possible d'augmenter progressivement la proportion de cépages tardifs. Dans le Bordelais la proportion de Cabernet-Sauvignon (cépage tardif, qui compte aujourd'hui pour seulement 23% de l'encépagement rouge) peut augmenter au détriment de Merlot, nettement plus précoce (65% de l'encépagement rouge). En Languedoc le Mourvèdre, un des cépages les plus tardifs de l'espèce *Vitis vinifera*, peut remplacer des cépages plus précoces (Syrah) ou qui ont tendance à produire des raisins très sucrés (Grenache). Lorsque cela ne sera pas suffisant pour maintenir la date des vendanges après le 10 septembre, il sera possible d'importer des cépages tardifs venant d'autres régions. Il faut néanmoins au préalable étudier leur aptitude à produire des vins d'une typicité proche des vins de la région de production. Tel est l'objectif du projet VitAdapt à l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin, où 52 cépages sont comparés sur une longue durée, pour identifier des candidats potentiels à une introduction dans l'encépagement bordelais.

Certaines modifications de techniques viticoles ou de matériel végétal induisent peu ou pas de modifications dans la typicité des vins produits : augmentation de la hauteur du tronc, taille tardive, sélection de clones tardifs, plantation de porte-greffe à cycle long, augmentation de la proportion de cépages tardifs déjà cultivées dans la région de production. Même si la plupart de ces adaptations ne retardent le cycle reproducteur de la vigne que de quelques jours, mis bout à bout le gain peut être de l'ordre de trois semaines. Les modélisations de l'avancé de la date des vendanges sous l'effet du changement climatique montrent que cela peut suffire jusqu'en 2050 (Brisson et Levrault, 2010). Au-delà de cette horizon, des changements plus invasifs, comme la plantation de cépages tardifs venant d'autres régions viticoles, sera sans doute nécessaire.

## Les leviers d'adaptation à une sécheresse accrue

Dans la pratique viticole, la confusion entre les conséquences d'une contrainte hydrique et d'une carence en azote est assez fréquente. Les deux phénomènes conduisent à un jaunissement du feuillage et une chute des rendements. Par conséquent, avant de mettre en place d'éventuelles adaptations à la sécheresse il convient de diagnostiquer avec soin l'état hydrique de la vigne, par des mesures de  $\delta^{13}C$  ou de potentiel tige (van Leeuwen *et al.*, 2009) et le statut azoté de la vigne, par des analyses pétiolaires ou la mesure de l'azote assimilable dans le moût (van Leeuwen et Friant, 2011).

Le choix du matériel végétal est sans aucun doute le levier le plus puissant pour adapter la vigne à une sécheresse accrue. Il a l'avantage d'être neutre sur les coûts de production de ne pas porter atteinte à l'environnement. Il existe une très large variabilité de la résistance à la sécheresse des porte-greffe. Parmi ceux qui sont homologués en France, le 110 Richter et le 140 Ruggeri sont les plus résistants. Le premier présente l'avantage d'être très qualitatif. Il existe certainement des porte-greffe encore plus résistants parmi ceux qui sont utilisés dans d'autres pays. Ils sont actuellement testés dans le dispositif GrefAdapt à l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin de Bordeaux. La recherche doit se donner comme objectif d'en créer d'autres par des croisements suivis de sélections

précoces orientés par la connaissance des gènes impliqués dans la résistance à la sécheresse. Ce travail de longue haleine a récemment été initié (Marguerit *et al.*, 2012). Il existe aussi des différences parmi les cépages vis-à-vis de leur résistance à la sécheresse. Les cépages méditerranéens sont dans leur grande majorité adaptés à un contexte de sécheresse. Parmi les cépages de la façade atlantique, le Cabernet-Sauvignon est réputé plus résistant que le Merlot. La recherche devrait se donner comme objectif d'étudier plus finement ces différences et de proposer un classement de la résistance à la sécheresse pour une large palette de cépages.

Une autre possibilité d'adaptation à la sécheresse passe par la conduite de la vigne. Dans le bassin méditerranéen, les viticulteurs ont depuis des siècles développés un système de conduite très résistant à la sécheresse : la conduite en gobelet. Elle possède en outre d'excellentes performances qualitatives, comme le montrent les vins de Châteauneuf du Pape en France et du Priorat en Espagne. La résistance à la sécheresse des gobelets peut être expliquée par la surface foliaire par hectare, qui est relativement faible et qui limite les pertes d'eau par transpiration. Comme le rendement est également assez faible, le rapport feuille-fruits n'est pas dégradé. Ce système de conduite est très économe en main d'œuvre car il n'y a pas d'opérations de levage, ni de tirage des bois et il n'y a pas de système de palissage à installer ou à entretenir. De ce fait, les rendements relativement faibles ne conduisent pas mécaniquement à un coût de production élevé par kg de raisins produit. Malheureusement, ce système est en train d'être abandonné (souvent avec des aides européennes !), car il est très difficile à vendanger à la machine, alors qu'il pourrait rendre un grand service à un moment où la fréquence et l'intensité de la sécheresse augmentent. Les instituts techniques devraient élever au premier rang de leur priorité le développement d'une machine à vendanger capable de vendanger des vignes en gobelet.

L'état hydrique de la vigne dépend autant de paramètres climatiques (précipitations et ETP) que de l'importance de la réserve en eau du sol, appelé communément Réserve Utile (RU). Lorsque la RU est importante, et la pluviosité hivernale suffisante pour la remplir, la vigne est capable de résister à de longues périodes sans pluie, sans effet délétère sur le rendement ou le potentiel qualitatif des raisins. Dans un contexte de sécheresse climatique accrue, les sols avec une RU au moins moyennement importante peuvent être intéressants pour produire des vins de qualité avec des rendements économiquement soutenables. La vigne résiste d'autant mieux à la sécheresse que la charge en fruits est faible. Sur des sols avec de faibles réserves en eau, les effets délétères d'un stress hydrique excessif peuvent être évités et limitant fortement les rendements. Cette option est évidemment uniquement possible pour les vins à forte valeur ajoutée.

L'irrigation peut également permettre d'éviter les effets négatifs d'un stress hydrique excessif, notamment sur le rendement. Parmi toutes les options qui se présentent aux viticulteurs (adaptation du matériel végétal et de la conduite de la vigne), l'irrigation doit cependant être envisagée seulement en dernier recours, si les autres adaptations sont insuffisantes, car l'irrigation de la vigne a un certain nombre d'inconvénients. Elle a un coût financier, sociétal et environnemental élevé. L'irrigation de la vigne entraîne un coût d'environ 500€/ha, ce qui comprend l'amortissement du système d'irrigation, le pilotage de l'irrigation et l'achat de l'eau (Nicolas Cellié, communication personnelle). Ce coût est en règle générale compensé par l'augmentation du rendement. Elle ne comprend cependant pas le coût pour amener l'eau à la parcelle qui est très variable, mais souvent élevé. Même si celui-ci est en règle générale supporté par la collectivité, il n'en reste pas moins une réalité économique. Dans les régions irriguées, le paradoxe est que l'accessibilité à l'eau est facile dans les vallées et les plaines, où les besoins en irrigation sont faibles ou nuls, alors que dans les parcelles plus éloignées des cours d'eau, où les sols présentent en règle générale les plus faibles réserves en eau, l'eau pour irriguer est rarement disponible. Ces différences d'accès à l'eau d'irrigation peuvent avoir comme effet pervers que les sols les plus propices à la production de vins de qualité risquent d'être abandonnés pour la culture de la vigne, car ils ne sont plus

compétitifs par rapport à des parcelles irriguées. Concernant le coût sociétal, il est important de se poser la question si dans un contexte de raréfaction des ressources en eau, l'irrigation d'une culture naturellement très résistante à la sécheresse doit être prioritaire par rapport à l'irrigation des cultures vivrières ou la distribution de l'eau potable aux populations. Certaines régions où la vigne est irriguée depuis des décennies (Californie, région du bassin de la rivière Murray en Australie) connaissent déjà de fortes tensions sur l'accessibilité à l'eau. Enfin, il ne faut pas oublier que l'irrigation peut à terme conduire à une augmentation de la teneur en sel des sols, au point de les rendre impropres à la culture de la vigne. Ce processus est lent (il prend plusieurs décennies) mais néanmoins irréversible, en particulier dans les régions où la pluviosité hivernale est faible. L'Australie et l'Argentine connaissent déjà des problèmes de ce type. Il faut donc être prudent avec le recours à l'irrigation et l'éviter tant que d'autres solutions sont possibles. Si la culture de la vigne n'est économiquement pas viable sans avoir recours à l'irrigation, il faut favoriser les conduites d'irrigation les moins consommatrices en eau. L'économie de l'eau d'irrigation repose sur un monitoring précis de l'état hydrique de la vigne. La mesure du potentiel tige est parmi les méthodes les plus précises pour piloter l'irrigation.

## Les leviers d'adaptation à une augmentation du rayonnement

L'exposition directe des grappes au rayonnement augmente la teneur en composés phénoliques du raisin et modifie le profil aromatique des vins produits. Cet aspect sera traité dans une autre communication (Darriet *et al.*, 2016). L'augmentation de la teneur en composés phénoliques du raisin sont favorables à la qualité dans le cadre de production de vin rouge, mais défavorables dans le cadre d'une production de vin blanc. De forts rayonnements peuvent provoquer des brûlures. Si cela se produit avant la véraison, les variétés à raisins rouges sont autant touchées que les variétés blanches. Le moyen le plus simple d'éviter les effets négatifs de rayonnements excessifs est de limiter l'effeuillage. Si cela n'est pas suffisant, la mise en place d'écrans peut diminuer le rayonnement reçu par les grappes. Ces écrans peuvent éventuellement être conçus pour filtrer spécifiquement les UV-B.

## Conclusions

Le changement climatique, qui se manifeste par une augmentation des températures, une augmentation de l'intensité et de la durée des épisodes de sécheresse et un rayonnement incident accru, a des effets majeurs sur la culture de la vigne. Il existe néanmoins de nombreux leviers d'adaptations qui permettront de continuer à produire des vins de qualité à des rendements économiquement

soutenables dans la plupart des régions viticoles actuelles. Parmi les solutions envisagées, celles qui passent par une modification du matériel végétal (clones, porte-greffe, éventuellement cépages) doivent avoir la priorité, car elles n'augmentent pas les coûts de production et elles n'ont pas d'impact négatif sur l'environnement. La plupart des actions possibles, qui sont étudiées dans le cadre du métaprogramme « LACCAVE » coordonné par l'INRA, ont un effet cumulatif. Cela permet de les mettre en œuvre progressivement, en commençant par celles qui impactent le moins la typicité des vins produits. Des mesures plus radicales, comme une modification de l'encépagement, sont peut-être inévitables dans la deuxième moitié du XXI<sup>e</sup> siècle, en particulier lorsque les hypothèses les plus pessimistes concernant le rejet des gaz à effet de serre devraient se réaliser.

## Références bibliographiques

BRISSON N. et LEVRAULT F., 2010. Le Livre Vert du projet CLIMATOR. Ed. ADEME. 334p

DARRIET P., PONS A., THIBON C., SCHÜTTLER A., ALLAMY L. et VAN LEEUWEN, C., 2016. Quels impacts attendus du changement climatique sur les composés aromatiques et leurs précurseurs? 3<sup>èmes</sup> assises des vins du Sud-Ouest, IFV, Toulouse, 14 janvier 2016.

LEBON E., DUMAS V., PIERI P. and SCHULTZ H., 2003. Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Functional Plant Biology*, 30, 699-710.

MARGUERIT E., BRENDÉL O., LEBON E., DECROOQ S., VAN LEEUWEN C. and OLLAT N. 2012. Rootstock control of scion transpiration and its acclimation to water deficit are controlled by different genes. *The New Phytologist*, 194, (2), 416-429. doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04059.x

PARKER A., HOFMANN R., VAN LEEUWEN C., MCLACHLAN and TROUGHT M., 2014. Leaf area to fruit mass ratio determines the time of veraison in Sauvignon blanc and Pinot noir grapevines. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 20, 422-431.

PARKER A., HOFMANN R., VAN LEEUWEN C., MCLACHLAN A. and TROUGHT M., 2015. Manipulating the leaf area to fruit mass ratio alters the synchrony of soluble solids accumulation and titratable acidity of grapevines: implications for modelling fruit development. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 21, 266-276. doi:10.1111/ajgw.12132.

VAN LEEUWEN C. and SEGUIN G., 2006. The concept of terroir in viticulture. *J. Wine Research*, 17, n°1, 1-10.

VAN LEEUWEN C., TREGOAT O., CHONE X., BOIS B., PERNET D. and GAUDILLERE J.-P., 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 43, n°3, 121-134.

VAN LEEUWEN C. et FRIANT Ph., 2011. Les méthodes d'estimation de l'alimentation azotée de la vigne et des raisins au vignoble : état de l'art. Colloque « l'azote : un élément clé en viticulture et en œnologie », IFV, 8 décembre 2011, Toulouse. <http://www.vignevin-sudouest.com/publications/itv-colloque/azote-viticulture-oenologie/documents/COLLOQUE-methodes-estimation.pdf>

VAN LEEUWEN C. et ROBY J.-P., 2013. Préservation des ressources génétiques de la vigne. Cohabitation entre sélection clonale institutionnelle, sélection massale et sélection clonale privée. *Revue des œnologues*, 148, octobre 2013, 13-16.