

# Adaptation à long terme au changement climatique pour la viticulture et l'œnologie: un programme de recherche sur les vignobles français

Nathalie OLLAT<sup>1</sup>, Jean-Marc TOUZARD<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingénieur de Recherche, INRA, UMR EGFV, ISVV Bordeaux, chemin de Leysotte 33883 Villenave d'Ornon

<sup>2</sup> Directeur de Recherche, INRA, UMR Innovation, 2 place Viala 34060 Montpellier cedex 1

Email: touzard@supagro.inra.fr

**Résumé :** La communication présente les enjeux et les premières synthèses du projet LACCAVE qui fédère les chercheurs INRA travaillant en France sur l'adaptation du secteur vigne et vin au changement climatique. Le projet vise à coordonner les travaux en cours dans différentes disciplines en les inscrivant dans une démarche de prospective. Il s'appuie sur une vision globale de l'ensemble de la chaîne technique et de valeur, permettant d'analyser à la fois les différentes formes d'impact du changement climatique et la diversité des leviers d'adaptation possibles, à plusieurs échelles. Dans un premier temps, nous rappelons les enjeux et la définition de l'adaptation. Nous présentons ensuite une synthèse des travaux réalisés sur les impacts du changement climatique, puis les premières réflexions sur les stratégies d'adaptation. Celles-ci combinent des innovations techniques (matériel végétal, pratiques agronomiques, procédés œnologiques...), avec des stratégies spatiales, des changements institutionnels et la possibilité d'évolution des représentations des consommateurs. Dans une dernière partie, le projet LACCAVE est présenté dans ses orientations générales et selon les différents groupes de travail qui le composent. En conclusion, les conséquences pour la recherche sont précisées, en soulignant que la capacité à construire des relations de coopération avec les viticulteurs et leurs organisations à l'échelle de clusters régionaux est l'un des principaux leviers de l'adaptation au changement climatique.

## Introduction

La vigne et le vin constituent des marqueurs du changement climatique, mais ils pourraient aussi devenir exemplaires pour étudier les stratégies d'adaptation à ce changement. L'influence spécifique du climat sur la viticulture et la qualité du vin, les interactions entre actions à court et à long termes, les combinaisons possibles entre choix de localisation et innovations techniques, le rôle des changements institutionnels dans le secteur viticole... permettent en effet de traiter des questions génériques sur l'adaptation, et dans différentes disciplines (Seguin, 2010 ; Ollat, Touzard, 2011). En France, ces enjeux scientifiques rejoignent des enjeux économiques importants : le vin constitue près de 15% de la valeur de la production agricole du pays ; il est le deuxième poste d'exportation (11 milliards d'euros) et induit de nombreux emplois ; il a des effets positifs sur le tourisme, autre secteur stratégique pour la France, à travers sa contribution aux paysages, au patrimoine culinaire et culturel, à l'attractivité et l'identité du pays. Compte tenu de ces enjeux, l'INRA a décidé de lancer un projet de recherche pluridisciplinaire pour étudier non seulement les impacts du changement climatique sur la vigne et le vin, mais aussi les stratégies d'adaptation actuelles et futures. Vingt trois laboratoires de recherche ont ainsi réuni leur expertise dans le projet LACCAVE (Long term impacts and adaptations to Climate Change in Viticulture and Enology) pour construire des connaissances communes sur les effets du changement climatique et les stratégies d'adaptation, et proposer des scénarios d'adaptation pour les régions viticoles françaises. Cet article propose une première synthèse des recherches sur l'impact du changement climatique sur la vigne et le vin, puis explore les premiers travaux étudiant les stratégies d'adaptation, pour préciser finalement comment le projet LACCAVE peut poursuivre ces recherches au niveau français.

## Etudier l'adaptation au changement climatique : une priorité de l'INRA

Le changement climatique (CC) est bien là. Pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, les différentes simulations prédisent des concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> comprises entre 540 et 950 ppm. Selon les travaux du GIEC, la température pourrait en conséquence augmenter de 1,8 à 4 °C sur un siècle. Les modèles climatiques sont moins convergents pour les évolutions possibles des précipitations, qui augmenteraient légèrement, mais avec une diminution en été dans les zones tempérées, notamment méditerranéennes. Au-delà

de ces évolutions moyennes, le CC se traduit aussi par une variabilité spatiale et temporelle plus importante, et une plus grande probabilité d'événements extrêmes. Même si il reste plus que jamais nécessaire de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) afin d'atténuer leurs effets sur le climat, il est maintenant clair que le CC va se poursuivre en raison de l'inertie du système bio-physique terrestre, des comportements routiniers ou opportunistes des entreprises et des consommateurs, et du recul des politiques publiques. L'adaptation est donc incontournable et doit être considérée, étudiée, accompagnée de manière complémentaire à l'atténuation. L'adaptation au CC peut être définie comme « l'ensemble des actions et processus visant à modifier les systèmes naturels et humains en réponse au changement climatique, afin de réduire leurs effets négatifs ou de tirer avantage de leurs effets positifs » (Hallegatte 2009). Le CC va induire des coûts d'adaptation pour la société, mais il peut aussi apporter de nouvelles opportunités (Hallegatte et al. 2011). Pour ces raisons, l'INRA a décidé de lancer le métaprogramme ACCAF : Adaptation aux Changements Climatiques pour les Agrosystèmes et Forêts. L'objectif d'ACCAF est d'évaluer les risques liés aux évolutions climatiques et aux événements climatiques extrêmes, et de définir des stratégies pour anticiper et prévenir les conséquences de ces crises. Il vise i) à simuler à différentes échelles les impacts du CC sur l'agriculture et les écosystèmes, ii) à favoriser l'adaptation des espèces cultivées à des modifications climatiques, mais aussi les capacités d'adaptation des systèmes de production agricole, iii) à développer des innovations techniques compatibles avec la réduction des GES, iv) à identifier les coûts et les avantages des pratiques d'adaptation et v) à proposer des formes d'organisation sociales permettant de renforcer les capacités d'adaptation au CC. Dans le cadre du métaprogramme ACCAF, le secteur viti-vinicole est vu comme un « système agricole modèle » permettant d'analyser à la fois les impacts du CC et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation (Seguin, 2010). Un projet spécifique a donc été retenu sur la vigne et le vin, le projet LACCAVE.

## Les effets du changement climatique sur la vigne et le vin

La proposition du projet LACCAVE s'appuie d'abord sur un premier bilan des effets du CC sur la vigne et le vin. Les conditions de production des raisins de cuve (*Vitis vinifera*) sont limitées à une frange climatique assez étroite. Ils sont par conséquent particulièrement sensibles au CC, avec des effets potentiels sur le rendement, la qualité et la viabilité économique (Jones et al., 2005). Les effets possibles du CC sur le développement de la vigne et sur les pro-

cessus de maturation ont été récemment examinés par plusieurs auteurs (Garcia de Cortazar, 2006 ; Holland et al., 2010 ; Duchêne et al., 2010 ; Mira de Orduna, 2010 ; Schultz et al., 2010). Toutefois, les effets à long terme restent difficiles à prévoir et la diversité des réponses variétales ou les mécanismes d'adaptation propres aux plantes elles-mêmes sont encore mal connus. La température joue un rôle majeur dans la régulation de la phénologie de la vigne. Il y a un accord général pour dire que tous les stades phénologiques seront avancés à l'avenir. Dans la seconde moitié du XXI<sup>ème</sup> siècle, le débourrement pourrait être plus précoce de 3 à 18 jours, et la période de maturation de 20 à 40 jours par rapport aux 30 dernières années (Duchêne et al., 2010 ; Garcia de Cortazar, 2006 ; Webb et al., 2007 ; Pieri, 2010). L'avancée de la période de maturation vers des jours plus chauds augmente l'impact de la température sur la maturation. Garcia de Cortazar (2006) a montré que la période de maturation pourrait être caractérisée par des températures supérieures à ce qui est observé aujourd'hui, de 4-6 °C dans le sud de la France et 6-8 °C dans la moitié nord de la France. Les impacts du CC sur la biomasse et le développement des fruits sont plus difficiles à prévoir, en raison de multiples interactions entre paramètres et des différences variétales. L'activité photosynthétique est renforcée par une plus forte concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, mais des mécanismes de rétroaction interviennent et la respiration des plantes serait intensifiée (Schultz, 2000). Une expérience FACE sur le Sangiovese (Bindi et al., 1996a ; Bindi et al., 1996b ; Webb et al., 2007) a montré que la surface foliaire et le poids sec végétatif total augmentent de façon plus importante que le poids sec des parties associées à la reproduction. L'effet de l'augmentation en CO<sub>2</sub> sur le rendement semble même plutôt négatif lorsque la température et le rayonnement solaire sont également plus élevés, avec des variations selon les cépages. Par ailleurs, le développement végétatif va accentuer les besoins en eau, amplifiant l'effet direct de la température sur la transpiration. Le confort hydrique des plantes serait moindre à partir de 2050, avec des impacts négatifs dans le Sud de la France (Pieri, 2010). Le contrôle de l'équilibre hydrique de la vigne dans des conditions climatiques modifiées (haute teneur en CO<sub>2</sub>, température élevée, faible teneur en eau) est une question clé (Schultz et al., 2010). La maturation du raisin serait directement affectée par les paramètres environnementaux du CC, et indirectement par les effets de ces paramètres sur la physiologie et le microclimat de la canopée. La maturation se ferait dans des conditions beaucoup plus chaudes qu'aujourd'hui, avec des impacts sur la composition des baies et son aptitude à élaborer les types de vins actuels (Duchêne et al., 2010). Une augmentation de la teneur en sucres des baies a été vérifiée pour les dernières décennies du XX<sup>e</sup> siècle (Duchêne et al., 2005), probablement à cause de l'augmentation progressive des radiations solaires avant et pendant la période de maturation. Un effet important de la température sur l'acidité doit aussi être souligné. Combinée à une augmentation de l'absorption de potassium, elle induit une augmentation du pH du jus du raisin (Kiewer, 1971 ; Coombe, 1987), avec des différences variétales (Sadras et al., 2013). Les composants polyphénoliques et aromatiques, cruciaux pour la qualité, seront affectés en quantité et en qualité (Mori et al., 2007 ; Sadras et al., 2012). Les interactions entre températures extrêmes et intensité lumineuse sont en effet déterminantes pour ces éléments (Tarara et al., 2008). Il faut également noter que les changements climatiques peuvent influencer l'impact des ravageurs et maladies, affectant à la fois l'épidémiologie des parasites et des champignons, et la sensibilité des cultivars à ces agents pathogènes (Mira de Orduna, 2010 ; Salinari et al., 2007 ; Pangga et al., 2011). L'évolution attendue des principaux paramètres climatiques dans l'espace, confrontés aux conditions de développement de la vigne et de maturation des raisins pourrait avoir des effets importants sur la répartition géographique possible des vignobles. L'évolution des indices climatiques joue sur la répartition des variétés (Jones, Webb, 2010) et permettent de simuler leurs aires potentielles de plantation (Pieri, 2010). Si la structure de l'encépagement et les pratiques ne changent pas, une partie des vignobles actuels se trouverait dans des situations très difficiles pour obtenir des qualités acceptables de raisin et de vins, voir même pour maintenir des vignes productives. A l'inverse de nouvelles régions du Nord de la France deviendraient plus approprié pour la viticulture (Malheiro et al., 2010). Ces changements géographiques pourraient avoir des effets indirects non

négligeables sur les ressources en eau et les écosystèmes (Hanna et al., 2013). L'ensemble de ces effets du CC sur les composants des raisins, le fonctionnement de la vigne et sa répartition spatiale auront des impacts économiques et sociaux importants. Les effets sur les rendements seront entre régions, affectant en positif ou négatif les marges de manœuvre des exploitations et leur rentabilité économique (Holland et Smit, 2010). L'augmentation du taux d'alcool et le changement des profils aromatiques des vins peuvent aussi modifier, en bien ou en mal, la hiérarchie des préférences des consommateurs et influencer les prix (Pichery, Bourdon, 2007). On peut s'attendre en France à des évolutions différentes de la compétitivité des régions viticoles. Les Indications Géographiques jouent un rôle clé dans l'économie du vin en codifiant l'usage des variétés, la localisation des plantations et les pratiques techniques pour garantir une qualité liée à une origine. Les conditions climatiques des lieux d'origines se modifiant, le système des Appellations risque d'être remis en cause, avec des effets contrastés sur les territoires. C'est l'ensemble du système économique et institutionnel de la vigne et du vin qui pourrait donc être affecté.

## La diversité des leviers d'adaptation pour la vigne et le vin

La plupart des experts soulignent la complexité de la question du changement climatique pour la viticulture et l'élaboration du vin (Jones et al. 2010), touchant à des aspects physiques, biologiques, techniques, sociaux, économiques et culturels. Jusqu'à présent, l'essentiel des recherches ont concerné les impacts du CC sur les aspects physiques et biologiques de la viticulture. Toutefois, évaluer si le changement climatique représente un risque ou une opportunité dépend de la capacité des acteurs du secteur à s'adapter aux nouvelles conditions et peu d'études se sont penchées sur cette capacité (Holland et al., 2010). Une évaluation de la perception du changement climatique par les producteurs de vins dans trois pays européens a montré que la plupart d'entre eux en perçoivent certains éléments : les impacts sur le rendement, la qualité et les risques de ravageurs et de maladies ont été relevés avec de légères variations selon les pays. Des stratégies d'adaptations varient entre les pays et la volonté d'adopter de nouvelles pratiques sont corrélées avec le degré de modifications déjà envisagées, indépendamment du changement climatique (Battaglini et al., 2009). Une approche en terme de vulnérabilité a montré que de nombreux facteurs doivent être pris en compte pour évaluer les risques perçus par les producteurs et les types d'adaptations qu'ils emploient (Holland et al., 2010). De nombreuses études permettent de repérer des innovations techniques qui sont des réponses possibles aux contraintes ou opportunités du CC, poursuivant en accéléré un processus historique d'adaptation permanente de la vigne à de nouveaux territoires et marchés (Schultz et al., 2010). La création variétale ou le choix d'introduire d'une variété exogène, par exemple plus tardive ou résistante à la sécheresse, est une première solution (Pelligrino et al., 2010). L'irrigation est proposée pour compenser les besoins accrus en eau de la vigne, notamment dans les zones méditerranéennes, avec différentes modalités de pilotage (Carboneau, Ojeda, 2012). Les modes de conduite offrent aussi toute une gamme de changements possibles, pour raisonner la protection des grappes ou leur microclimat (Schultz, Stolz, 2010) ; la gestion des sols ou des vendanges sont des éléments sur lesquels jouent déjà les viticulteurs ; enfin les pratiques œnologiques sont un domaine où les innovations peuvent compenser ou valoriser des effets du CC, par exemple réduire le taux d'alcool (Kuntoudakis et al., 2011). Au-delà de l'adoption d'innovations techniques, c'est leur gestion à l'échelle locale qui est importante, en tenant compte de la diversité des ressources qui caractérise un terroir. De grandes variations dans les conditions climatiques existent au sein d'un même région viticole, du fait de la géomorphologie, de l'occupation des sols ou même de la proximité de plans d'eau et de zones urbaines (Bois et al., 2008). Les paramètres environnementaux (température, l'eau, le CO<sub>2</sub>, la composition minérale du sol) interagissent et leurs effets combinés sur les nombreuses combinaisons de variétés / porte-greffe sont difficiles à prévoir, en particulier pour la composition de

fruits. L'adaptation des pratiques techniques et du matériel végétal à l'échelle locale sera cruciale (Van Leeuwen et al. 2007, Ollat et al, 2011) et est en soi un domaine de recherche, à renouveler face à l'enjeu du CC.

Plus largement, la relocalisation des vignes et vignobles est une alternative largement évoquée, à l'échelle locale, mais aussi régionale ou même continentale. La recherche de parcelles plus fraîches ou disposant de sols avec une réserve utile plus importante guide déjà les plantations de viticulteurs du pourtour méditerranéen, par exemple en les déplaçant en altitude (peut-être citer Quéno... Hannah et al., 2013). L'objectif de réduire le risque climatique peut aussi motiver une stratégie spatiale à une échelle locale et régionale. Sur-tout, l'évolution des frontières climatiques offre la possibilité de créer en Europe de nouveaux vignobles dans des zones septentrionales, même si les investissements matériels et immatériels pour inscrire un vignoble dans un territoire sont importants et risquent de limiter ces relocalisations à grande échelle (Touzard, 2010a).

Enfin, les changements institutionnels, apparaissent incontournables. En France l'évolution du système des appellations est sans doute une condition pour intégrer des innovations techniques ou modifications de zonage. La mise en place de systèmes d'assurance ou la constitution de clusters innovants à l'échelle régionale sont également des leviers importants, limitant les risques et renforçant les capacités des viticulteurs à faire face au CC (Touzard, 2010b). La capacité d'adaptation du secteur vitivinicole est influencée par des facteurs économiques, sociologiques et juridiques, sur lesquels les acteurs peuvent agir collectivement. Les stratégies d'adaptation seront différents selon les régions viticoles (Hinnewinkel, 2007; Holland et al., 2010).

Une approche globale est alors nécessaire pour proposer des stratégies d'adaptation, associant innovation technique, stratégies de localisation et changements institutionnels. C'est l'ambition du projet LACCAVE.

## Le projet LACCAVE

Le projet LACCAVE (2012-2015) est avant tout un projet d'animation scientifique. Il vise à renforcer l'échange de connaissances entre les équipes de l'INRA dans différentes disciplines (climatologie, génétique, écophysiologie, agronomie, œnologie, économie, sociologie...) en les inscrivant dans une démarche de prospective à l'horizon 2050. Pour cela, il s'appuie sur une vision globale de l'ensemble de la chaîne technique et de valeur du vin, permettant de repérer et d'analyser à la fois les différentes formes d'impact du changement climatique et surtout la diversité des leviers d'adaptation possibles. Cette analyse s'effectue à plusieurs échelles (plante, parcelle, exploitation, vignoble régional et secteur) avec une attention particulière aux niveaux régionaux où se différencient les impacts climatiques et peuvent se coordonner les stratégies d'adaptation. Coordonné par 2 scientifiques de Bordeaux et Montpellier, le projet s'organise en 7 groupes de travail (WP), avec des assemblages disciplinaires différents. Pendant la durée du projet, les relations entre WP sont appelées à se renforcer, tout comme les collaborations avec les organismes techniques ou professionnels. LACCAVE s'est aussi associé un comité scientifique international, comprenant des scientifiques d'Allemagne, d'Espagne, Etats-Unis, le Brésil et l'Afrique du Sud. Le projet peut être détaillé en reprenant les objectifs et les activités engagées pour chaque WP.

**WP1. Caractérisation et perception du CC :** ce WP vise à rassembler et à élaborer les informations sur le CC et ses effets sur la vigne et le vin, que ces informations proviennent de la communauté scientifique ou des viticulteurs. Il s'agit de partager en premier lieu les connaissances sur les travaux du GIEC et les résultats des simulations climatiques régionales à différentes échelles spatiales et à différents horizons (avant 2050, 2050-2100), provenant généralement d'autres projets (par ex. Climator). Le WP prend aussi en compte les perceptions du CC par les acteurs du secteur viticole et cherche à repérer les paramètres à partir desquels se construisent

ces perceptions. Cette information, cruciale pour élaborer des stratégies d'adaptation, est produite à partir d'entretiens sociologiques dans les principales régions viticoles, et en Anjou par un travail sur les pratiques viticoles. Les travaux de ce WP concernent aussi les connaissances actuelles des participants au projet, estimant que leurs expertises sont incomplètes et qu'ils ont besoin de partager une vision commune et un vocabulaire commun sur le CC.

**WP2. Bases physiologiques et génétiques de l'adaptation de la vigne au CC :** ce WP étudie les réponses de la vigne aux principaux paramètres concernés par le CC (CO<sub>2</sub> atmosphérique, température, eau) et les mécanismes génétiques qui contrôlent ces réponses, en tenant compte des différences entre variétés de greffons et de porte-greffes. Sont mesurés les caractères liés à la phénologie, la croissance végétative, la consommation en eau, le développement des baies et leur composition (sucres, acides, composés phénoliques et arômes). Les effets des modifications de la composition des baies et de la microflore du vignoble sur les processus de vinification sont aussi examinés. L'essentiel des résultats collectés viennent d'autres projets de recherche et devraient être intégrés dans ce WP en utilisant une approche systémique. Deux opérations à caractère méthodologique sont engagées : un échange d'information sur les installations expérimentales, afin de définir des protocoles communs pour la description du matériel végétal (phénotypage) ; un travail de confrontation des approches de modélisation qui pourraient être utiles pour simuler les performances de la vigne dans les conditions climatiques futures.

**WP3. Développement d'innovations techniques pour l'adaptation au CC :** ce WP vise à analyser les innovations techniques qui pourraient contribuer à l'adaptation des systèmes de production du raisin et du vin au CC. Ces innovations portent sur les pratiques œnologiques, considérées comme pouvant répondre à court terme à l'évolution de la modification des compositions des baies (exemple des techniques de désalcooolisation). Ces innovations concernent aussi les pratiques viticoles, notamment les choix de densité de plantation, la gestion des sols, les systèmes de conduite, la modification du rapport fruit/feuille, mais aussi l'irrigation. La valorisation de la diversité génétique pour les variétés de greffons et de porte-greffe existants est un autre aspect retenu. L'un des objectifs de ce groupe est en effet de concevoir des idéotypes à partir d'une évaluation des besoins des viticulteurs et du potentiel d'adaptation de la vigne. Une analyse plus globale des systèmes de culture innovants est également proposée, à partir d'un travail de thèse associant enjeux climatique et enjeux environnementaux (réduction usage de pesticide).

**W4. Évaluation des innovations techniques à une échelle territoriale :** ce WP évalue à l'échelle locale (petite région, bassin versant, terroir) les impacts du changement climatique en tenant compte des pratiques viticoles actuelles et nouvelles. Il vise à mesurer les conséquences de pratiques d'adaptation (innovations techniques et relocalisation) sur les paysages viticoles et sur la viabilité des systèmes de production. Pour ces évaluations, des méthodes multicritères sont utilisées sur le raisin et la typicité des vins, mais aussi sur des paramètres environnementaux (ressources en eau et sol). Les conditions d'adoption par les producteurs de pratiques d'adaptation seront étudiées à partir d'entretiens et de « focus groups ». Des études de cas seront réalisées dans différents vignobles (Val de Loire, Alsace, Languedoc Roussillon). Dans ce WP, les chercheurs étudient l'hypothèse que l'échelle locale est un niveau pertinent d'adaptation, en combinant différents niveaux d'actions et d'innovations, et en tirant avantage de la diversité et de la variabilité des ressources locales.

**WP5. Evolution des stratégies économiques :** le CC aura un impact sur les coûts de production et la relation entre la qualité et l'origine géographique. Ces facteurs sont cruciaux pour la compétitivité des entreprises vitivinicoles à l'échelle locale, nationale mais aussi internationale. Le WP étudie les effets du CC sur les stratégies de production, mais aussi sur le goût des consommateurs. Si les consommateurs acceptent l'impact du CC sur la qualité du vin, les besoins de changements radicaux dans les systèmes techniques

seront moins importants. Si les consommateurs ne l'acceptent pas, maintenir une qualité définie de vin devient alors un enjeu majeur pour les producteurs et les chercheurs. La concurrence entre les régions productrices et les évolutions possibles de la réglementation (système d'appellation) seront également analysés. Le WP concentre néanmoins ses travaux sur l'évaluation de la perception des consommateurs (thèse financée par le projet), et sur les stratégies des producteurs en tenant compte du coût de l'adaptation.

**WP6. Gestion et analyse des données :** ce WP fournit aux partenaires un appui pour la gestion des données. Les bases de données existantes et les systèmes d'information utilisés seront identifiés. Le WP proposera un système d'information qui tient compte des spécificités des différents domaines scientifiques concernés, mais avec des parties communes. Un appui méthodologique pour l'analyse et l'intégration de données complexes sera aussi fourni aux participants.

**WP7. Elaboration de scénarios stratégiques pour 2050 :** une étude prospective est proposée pour élaborer et explorer plusieurs scénarios d'adaptation au CC. Ces scénarios fourniront un cadre conceptuel pour l'ensemble des WP du projet, et seront alimentés en retour par les résultats et l'expertise des différents WP. L'originalité de l'approche est de partir de 4 scénarios d'adaptation prédéfinis: un scénario « conservateur » qui n'intègre que des changements à la marge, permettant d'évaluer les impacts de l'adaptation passive ; un scénario « innovation pour rester » qui ouvre l'ensemble des vignobles à une large gamme d'innovations techniques ; un scénario « vignobles nomades » qui met en avant les possibilités de relocalisation des vignobles en fonction des conditions climatiques ; un scénario « libéral » qui permet de tester une situation où « tout est possible partout ». Ces quatre scénarios seront soumis aux producteurs dans différentes régions viticoles françaises afin de susciter un débat et de définir des stratégies réalistes. L'adaptation se fera a priori par de multiples étapes qui pourront se combiner différemment dans chaque région. Un travail spécifique (thèse) sur l'importance des relations de coopération entre la recherche et les entreprises viticoles vient compléter cette réflexion prospective.

## Conclusion

Le projet LACCAVE a été lancé en mars 2012, lors d'une assemblée générale organisée à Bordeaux ISV. Il a déjà permis de faire le point sur les principaux effets du changement climatique sur la vigne et le vin, comme sur les innovations possibles pour envisager des stratégies d'adaptation. Ces premiers travaux feront l'objet d'un numéro spécial du Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin. La construction d'un réseau scientifique national, connecté à l'international, est déjà un acquis important. L'enjeu maintenant est de fournir de nouvelles connaissances sur les stratégies d'adaptation en fonction de différents scénarios. Le projet ne vise pas à fournir des solutions définitives, mais des outils qui aideront à élaborer les stratégies des producteurs, de la recherche et des pouvoirs publics.

## Références

Battagliani A., Barbeau G., Bindi M., Badeck F.-W., 2009. European winegrowers' perceptions of climate change impact and options for adaptation. *Regional Environmental Change* 9: 61-73.

Bindi M., Fibbi L., Gozzini B., Orlandi S., Miglietta, F., 1996a. Modeling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine. *Climate Research* 7, 213-224.

Bindi M., Fibbi L., Gozzini B., Orlandi S., Seghi L. 1996b. The effect of elevated CO<sub>2</sub> concentration on grapevine growth under field conditions. *Acta Horticulturae-Hort.* 427, 325-330.

Bois B., Wald L., Pieri P., Van Leeuwen C., Commagnac L., Chery P., Christen M., Gaudillère J.P., Saur E., 2008. Estimating spatial and temporal variations in solar radiation within Bordeaux winegrowing region using remotely sensed data. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 42, n°1, 15-25.

Carbonneau A., Ojeda H. 2012. Ecophysiology and gestion de l'eau en viticulture. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 129 (21) : 508-512.

Coombe, B.G., 1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Proc. Int. Symp. Grapevine Canopy and Vigor Management*, Davis, USA (ISHS), pp 23-35.

Duchêne E., Huard F., Dumas V., Schneider C., Merdinoglu D., 2010. The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Climate res.earth* 41, 193-204.

Duchêne E., Schneider C., 2005. Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agronomical Sustainable Development* 25, 93-99.

Garcia de Cortazar Atauri I., 2006. Adaptation du modèle STICS à la vigne (*Vitis vinifera* L.). Utilisation dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatique à l'échelle de la France. PhD Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier, 291 pp.

Halleгатte, S. 2009. Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change* 19 (2): 240-247.

Halleгатte, S., F. Lecocq, et C. de Perthuis. 2011. Designing climate change adaptation policies: an economic framework. *Policy Research Working Paper Series*

Hannah L. et al. (2013) Climate change, wine, and conservation. *Proc Natl Sci USA*

Hinnewinkel, J.C. 2007. Le vignoble bordelais à l'épreuve du changement climatique. In *Proceedings of «Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ? 28-30 mars 2007, Dijon.*

Holland T., Smit B., 2010. Climate Change and the Wine Industry: Current Research Themes and New Directions. *Journal of Wine Research* 21, 125-136.

Jones G.V., White M. A. Cooper, O.R., Storchmann K., 2005. Climate change and global wine quality. *Climate Change* 73, 319-343.

Jones, G. V. and Webb, L. B., 2010. Climate change, viticulture, and wine: Challenges and opportunities. *J. Wine Res.* 21, 103-106

Kliewer W.M., 1971. Effect of day temperature and light intensity on concentration of malic and tartaric acids in *V. vinifera* grapes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 96, 372-377.

Kuntoudakis N., Esteruelas M., Fort F., Canals J.M., Zamora F. 2011. Use of unripe grapes harvested during cluster thinning as a method for reducing alcohol content and pH of wine. *Australian J. Grape Wine Res.* 17 (2): 230-238

Lafontaine M., Schultz H. R., Lopes C. M., Baló B., Varadi, G., 2005. Leaf and fruit responses of 'Riesling' grapevines to UV-radiation in the field. *Acta Horticulturae* 689., 125-131.

Malheiro A.C., Santos J.A., Fraga H., Pinto J.G., 2010. Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Climate Research* 43, 163-177.

Mira de Orduna R., 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International* 43, 1844-1855.

Mori K., Goto-Yamamoto N., Kitayama M., Hashizume K., 2007. Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *J Exp Bot* 58, 1935-1945

Ollat N., Fernandez L., Romieu C., Duchene E., Lissarague J.R., Lecourieux D., Ageorges A., Kelly M., Cacho J., Rivas J., Lamuela R., Goutouly J.-P., Van Leeuwen C., Marguerit E., Peccoux A., Barrieu F., This P., Lebon E., Pellegrino A., Martinez- Zapater J.M., Toregrossa L., 2011. Multidisciplinary research to select new cultivars adapted to climate changes. XVIIth International GIESCO August 29 - September 2 2011, Asti and Alba, Italy.

Ollat N., Touzard J.M., 2011. Long Term impacts and adaptation to climate change in viticulture and oenology, projet du Meta-programme INRA ACCAF, INRA, 24 p.

Pangga IB, Hanan J, Chakraborty S., 2011. Pathogen dynamics in a crop canopy and their evolution under changing climate, *Plant Pathol.* 60: 70-81.

Pichery M.C., Bourdon F., 2007. Éléments de réflexion sur quelques impacts économiques du réchauffement climatique sur la filière vitivinicole en Bourgogne. Colloque « Global warming, which potential impacts on the vineyards ? », Dijon 28-30 mars 2007.

Pieri P., 2010. Changement climatique et culture de la vigne: l'essentiel des impacts. In, *Changement climatique, agriculture et forêt en France: simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010)*, Ademe ed, pp. 213-223.

Sadras V.O., Petrie P.R., Moran M.A., 2013. Effects of elevated temperature in grapevine. II juice pH, titratable acidity and wine sensory attributes. *Australian J. Grape Wine Res.* 19:107-115.

Sadras V.O., Moran M.A., 2012. Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. *Australian J. Grape Wine Res.* 18: 115-122.

Salinari F., Giogio S., Rossi V., Tubiello F.N., Rosenweig C., Gullino M.L., 2007. Downy mildew outbreaks on grapevine under climate change. *Bulletin OEPP* 37, 317-326.

Schultz H.R., 2000. Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian J. Grape Wine Res.* 6, 2-12.

Schultz H.R., Stoll M., 2010. Some critical issues in environmental physiology of grapevines: future challenges and current limitations. *Australian J. Grape Wine Res.* 16, 4-24.

Seguin B., 2010. Coup de chaud sur l'agriculture. Ed. Delachaux et Niestlé, Paris. 206p

Tarara J.M., Lee J., Spayd S.E., Scagel C.F., 2008. Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin in Merlot grapes. *Am. J. Enol. Vitic* 59, 235-247.

Touzard J.-M., 2010a. Ancre territorial et construction de règles dans une organisation. In *Le temps des SYAL*, Muchnick J., De Sainte Marie C. (eds), Versailles, éditions QUAE.

Touzard J.-M., 2010b. Innovation systems and the competition between regional vineyards. Symposium international ISDA 2010, Montpellier, 25 june-1 July 2010.

Van Leeuwen C., Bois B., Pieri P. and Gaudillère J.-P., 2007. Climate as a terroir component. Congress on climate and viticulture, 10-14 April 2007, Zaragoza, Spain.

Webb L.B., Whetton P.H., Barlow E.W.R., 2007. Modelled impact of future climate change on the phenology of grapevines in Australia. *Australian J. Grape Wine Res* 13, 165-175.