



Dans un contexte de changement climatique, quels sont les impacts de la sécheresse sur la vigne et sur le devenir des vignobles ? L'exemple du Languedoc

Eric Lebon, Inaki Garcia de Cortazar Atauri

► To cite this version:

Eric Lebon, Inaki Garcia de Cortazar Atauri. Dans un contexte de changement climatique, quels sont les impacts de la sécheresse sur la vigne et sur le devenir des vignobles ? L'exemple du Languedoc. Innovations Agronomiques, 2014, 38, pp.1-12. hal-02630183

HAL Id: hal-02630183

<https://hal.inrae.fr/hal-02630183>

Submitted on 27 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Dans un contexte de changement climatique, quels sont les impacts de la sécheresse sur la vigne et sur le devenir des vignobles ? L'exemple du Languedoc

Lebon E.¹, Garcia de Cortazar-Atauri I.²

¹ INRA-Montpellier SupAgro, UMR 759 LEPSE, 2 place Viala, F-34060 Montpellier

² INRA, US 1116 Agroclim, 228, Domaine Saint Paul, Site Agroparc, F-84914 Avignon

Correspondance : lebon@supagro.inra.fr

Résumé

La vigne est une culture pérenne qui est majoritairement cultivée pour la production de vins et dont la rentabilité économique dépend à la fois du rendement et de la qualité de la production. Le meilleur compromis est en général obtenu dans des conditions de déficit hydrique modéré. Cet équilibre est aujourd'hui fragilisé par le changement climatique. Les résultats d'un modèle climatique global (Météo-France CNRM/GMGE, scénario A2) ont été couplés à un modèle de bilan hydrique pour analyser l'impact du changement climatique sur l'évolution de la disponibilité en eau du sol pour la vigne dans trois sous-régions représentatives du vignoble languedocien. Les résultats montrent une augmentation nette de l'intensité et de la durée du déficit hydrique estivale qui s'accroîtrait à partir de la seconde moitié du siècle. Cette tendance résulte de l'augmentation de la demande climatique aggravée par une légère diminution de la pluviométrie. Conséquence du raccourcissement progressif du cycle sous l'effet de la hausse des températures, les déficits hydriques les plus sévères seraient alors subis après la récolte, période critique où la vigne reconstitue ses réserves carbonées. Cette évolution, qui ne pourrait devenir réellement critique qu'à longue échéance, doit susciter dès à présent une réflexion approfondie sur les stratégies d'adaptation du système de production en considérant les combinaisons de techniques existantes ou nouvelles qui permettrait une adaptation à l'eau disponible.

Mots clés : sécheresse, changement climatique, vignoble, adaptation, Languedoc, Méditerranée.

Abstract: In a context of climate change, what are the impacts of drought on vine and the fate of vineyards. The Languedoc case study

Grapevine is a perennial crop mainly cultivated for the production of wine in which economic profitability depends both on yield and berry quality. The best compromise is generally obtained in conditions of moderated soil water deficits. This balance is weakened by climate change. The results of global climate simulations, downscaled at a regional level (Météo-France CNRM/GMGE, scenario A2) were coupled with a soil water balance model to analyze the impact of the climate change on soil water availability in three representative sub-regions of the Languedoc vineyard. The results show a clear increase in intensity and duration of water deficit during summer periods which would become more marked in the second half of the century. This tendency results from an increase of the climatic demand reinforced by a light decrease of rainfall. As a consequence of the progressive shortening of the cycle under the influence of the increase of the temperatures, severe water deficit would then be undergone after the harvest, a critical period when the vineyard reconstitutes its carbon reserves. This situation which could become really critical only in the long term nevertheless requires starting in-depth analysis of adaptation strategies of the production system by considering the combinations of existing or new techniques which would allow an adaptation to available water.

Key words: drought, climate change, vineyard, adaptation, Languedoc, Mediterranean.

Introduction

La vigne est une culture qui traditionnellement occupe et valorise, dans la plupart des régions où elle est implantée, les surfaces agricoles impropres aux cultures vivrières (Van Leeuwen *et al.*, 2009). Ces situations, fréquemment situées en coteaux, correspondent majoritairement à des sols peu profonds, caillouteux et peu fertiles. Les conditions de culture sub-optimales qui en résultent ont depuis longtemps été reconnues comme favorables à la production de vins de qualité. Elles constituent en France le fondement du système de délimitation actuel et participent à l'identité des appellations. Les travaux pionniers de Seguin et de ses collaborateurs dans les années 70 (Seguin, 1970, 1986) ont permis de montrer dans le vignoble Bordelais dans un premier temps, puis dans de nombreux autres vignobles (Koundouras *et al.*, 1999 ; Coipel *et al.*, 2006) que la composante hydrique de l'alimentation de la vigne jouait un rôle prépondérant sur l'ensemble des autres contraintes du milieu édaphique, dans le processus d'élaboration de la qualité de la baie (Van Leeuwen *et al.*, 2009). Ces conditions d'alimentation hydrique favorables à l'élaboration de la qualité correspondent à des dynamiques d'assèchement du sol de mieux en mieux décrites et quantifiées pour chaque type de production (Pellegrino *et al.*, 2006) et sur lesquels se fondent les stratégies d'irrigation déficitaire (Chaves *et al.*, 2010).

Une large proportion du vignoble mondial est localisée dans des régions méditerranéennes marquées par une sécheresse saisonnière, une forte variabilité interannuelle du régime pluviométrique et où les déficits hydriques édaphiques et atmosphériques exercent des contraintes fortes sur le rendement et la qualité. Dans ces régions, une intensification du déficit hydrique liée à l'accroissement généralisé des températures tant sur les valeurs extrêmes que sur les valeurs moyennes a été déjà détectée (Mousselin *et al.*, 2002 ; Chaouche *et al.*, 2010). La situation future prévue par les modèles couplés de circulation générale atmosphère océan, indique une poursuite *probable* du réchauffement observé en particulier pendant la période estivale associée à un accroissement *très probable* de l'intensité et la durée des vagues de chaleur. Parallèlement, les mêmes modèles prévoient une diminution *probable* sur l'année de la pluviométrie (Christensen *et al.*, 2013).

Dans ce contexte, le changement climatique et ses effets sur les disponibilités hydriques des sols pourraient devenir particulièrement problématiques pour la viticulture méditerranéenne (Moriando *et al.*, 2013) qui, comme beaucoup de systèmes agricoles ont d'ores et déjà été identifiés comme faisant partie des plus vulnérables (Lereboullet *et al.*, 2013). Il convient donc dès à présent de prendre en compte cette évolution climatique prédictible pour adapter le système production à des conditions de xéridité croissante.

Les objectifs de cet article sont (i) en premier lieu d'examiner l'impact du déficit hydrique sur le fonctionnement physiologique de la vigne, l'élaboration du rendement et la qualité, (ii) d'évaluer, à partir de projections climatiques régionalisées, les évolutions possibles du déficit hydrique sur la zone Languedoc (iii) de préciser dans ce contexte, les leviers d'action nécessaires à l'élaboration de stratégies d'adaptation à la sécheresse.

1. Les effets du déficit hydrique sur la vigne

Le déficit hydrique est une contrainte abiotique majeure qui impacte le développement et la productivité des plantes cultivées. Ses effets peuvent être très préjudiciables car des processus tels que l'expansion cellulaire ou bien le contrôle de l'ouverture stomatique sont étroitement dépendants de l'état d'équilibre entre la disponibilité en eau au niveau du sol et de la demande atmosphérique. A l'échelle de la plante entière, de tels mécanismes sont considérés comme des facteurs d'adaptation à la sécheresse. Ils permettent à la plante de gérer l'eau disponible du milieu en modulant les densités de flux et les surfaces transpirantes.

Bien que la vigne soit une culture réputée « adaptée à la sécheresse » en raison de son faible taux de couverture du sol et de sa capacité à s'enraciner profondément, elle répond globalement au déficit hydrique selon ces mêmes mécanismes généraux.

En situation de confort hydrique, la croissance végétative excessive exerce une forte compétition pour les assimilats au détriment des fruits. Ces situations de forte vigueur favorisent des structures de couvert denses où le microclimat lumineux devient défavorable à l'initiation des primordia d'inflorescences dans les bourgeons latents et aux processus de maturation du raisin (Smart *et al.*, 1990 ; Jackson et Lombard, 1993 ; Dokoozlian et Kliewer, 1996 ; Dry et Loveys, 1998).

A l'inverse, les conditions de déficit hydrique sévère réduisent fortement la photosynthèse et le rendement en limitant à l'échelle du couvert la croissance foliaire et l'interception du rayonnement alors qu'à l'échelle foliaire, ce sont les échanges gazeux qui sont réduits (Medrano *et al.*, 2003). Dans ces conditions, la survenue d'un épisode de forte température peut induire une chute de feuilles massive avec pour conséquence un déficit carboné et une maturation incomplète du raisin.

En situation de déficit hydrique modéré, l'inhibition précoce de la croissance des ramifications et la fermeture progressive des stomates limite les pertes en eau par transpiration (Lebon *et al.*, 2006). La fermeture stomatique réduit également, mais dans une moindre mesure, le taux d'activité photosynthétique. Ces processus ont pour conséquence d'accroître les disponibilités en carbone à l'échelle de la plante entière et d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau (Chaves *et al.*, 2010). Ils favorisent la réallocation des assimilats vers les fruits et peuvent promouvoir, via une signalétique contrôlée par l'acide abscissique (ABA), le déclenchement de la maturation du raisin (Coombe, 1989 ; Deluc *et al.*, 2009). Dans la plupart des cas rapportés, un déficit hydrique modéré tend à accroître la teneur en sucres des moûts et réduit le ratio malate/tartrate dû à la dégradation du malate. Parallèlement, la teneur en composés dérivés de la pellicule (e.g. polyphénols, arômes) est accrue (Chaves *et al.*, 2010). Ces modifications résultent d'effets complexes du déficit hydrique à la fois directs ou indirects, liés en particulier au microclimat lumineux et thermique de la grappe.

En recherchant à se rapprocher par le choix des sols et/ou des techniques culturales d'un **scénario de contrainte hydrique modérée**, le viticulteur tire parti de ces réponses pour (i) **optimiser l'équilibre entre croissance végétative et reproductive** afin de favoriser le développement du raisin, (ii) **maximiser la quantité de rayonnement intercepté de manière maintenir un fort taux d'activité photosynthétique** (iii) **optimiser le microclimat lumineux et thermique des fruits** pour favoriser l'accumulation de composés poly-phénoliques et aromatiques.

2. L'évolution du régime hydrique du vignoble dans le contexte du changement climatique : Le cas du vignoble Languedocien

Le vignoble Languedocien est soumis dans son ensemble au climat méditerranéen mais reste marqué par une variabilité spatiale forte liée d'une part à la proximité à la mer, facteur de régulation de la température, et d'autre part à la topographie de l'arrière-pays qui conditionne la pluviométrie. Les résultats montrent que l'évolution récente du climat dans cette région est caractérisée par une augmentation de la sécheresse principalement due à l'augmentation de la température et de la demande climatique alors que les précipitations demeurent stables (Lespinas *et al.*, 2010 ; Chaouche *et al.*, 2010). L'objectif de ce volet est de faire le point sur les projections climatiques déclinées à l'échelle de la zone viticole languedocienne et de quantifier leurs impacts sur le bilan et le vécu hydrique du vignoble.

2.1 Présentation des scénarios climatiques utilisés et des sites

Les projections climatiques ont été calculées à partir des données quotidiennes désagrégées issues du modèle ARPEGE grille étirée NEC fournies par Météo-France CNRM/GMGE (Projet SCRATCH08) sur la période 1950-2000 et la période 2001-2100. Trois points issus de la maille SAFRAN (8kmx8km) ont été sélectionnés pour représenter la **zone viticole littorale** (id_3654), **les collines viticoles du biterrois** (id_3650) et **la plaine viticole audoise** (id_3354) (Figure 1).



Figure 1 : Localisation des points issus de la maille SAFRAN représentatifs des trois zones étudiées

Seul le scénario d'émission A2¹, qualifié de « pessimiste » a été considéré (GIEC, 2007). Les données de base (température, pluie, rayonnement, humidité, vent) ont été utilisées pour calculer la demande climatique journalière (ET_o) à partir de la formule de Penman-Monteith FAO (Allen *et al.*, 1998). Un modèle simplifié de bilan hydrique dérivé de Lebon *et al.*, (2003) est utilisé pour simuler les principaux stades phénologiques de la vigne (Cv Syrah), l'évolution des flux de transpiration et d'évaporation et l'état hydrique du sol (FTSW) au pas de temps journalier. Ce modèle est paramétré pour une parcelle virtuelle conduite en espalier (Tableau 1).

Trois indices sont dérivés de ces simulations : (i) la durée annuelle de la période pendant laquelle l'état hydrique du sol ne peut satisfaire la demande atmosphérique. Cette période est définie par un taux de remplissage de la réserve hydrique du sol utilisable par la plante inférieur à 40% (correspond à la valeur du FTSW_c – Tableau 1) ; (ii) l'intensité maximale du déficit hydrique vécu pendant le cycle et (iii) l'intensité moyenne du déficit hydrique pendant la période véraison-maturité. L'intensité du déficit hydrique est exprimé selon l'indice (1-TR/TM) dans lequel TR et TM correspondent respectivement à la transpiration réelle et maximale (Figure 2). Cet indice prend la valeur 0 en l'absence de contrainte hydrique et 1 lorsque la contrainte est maximale.

Chaque indice est calculé pour la période de référence (1970-2000), pour l'horizon proche (2020-2050) et l'horizon à long terme (2070-2100). Ces trois périodes de 30 ans correspondent aux normales climatiques pour les années 1985, 2035 et 2085.

¹ Le scénario A2 (AR4 – IPCC 2007) décrit un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les schémas de fécondité entre régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique a une orientation principalement régionale, et la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont fragmentées et lentes. La prévision pour ce scénario est d'une augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère jusqu'à environ 860 ppm dans l'année 2100. Selon les modèles, cette augmentation serait accompagnée d'une augmentation de la température moyenne du globe égale à 3.8°C (± 1.0°C en fonction du modèle). Ce scénario est semblable au scénario RCP8.5 (AR5- IPCC, 2013).

Tableau 1 : Paramétrage du modèle

Paramètre	Abréviation	Valeur
Distance entre rangs	D	2.20 m
Hauteur de feuillage	H	1.20 m
Teneur maximale en eau transpirable du sol	TTSW	150 mm
Seuil de réponse stomatique	FTSWc	0.4

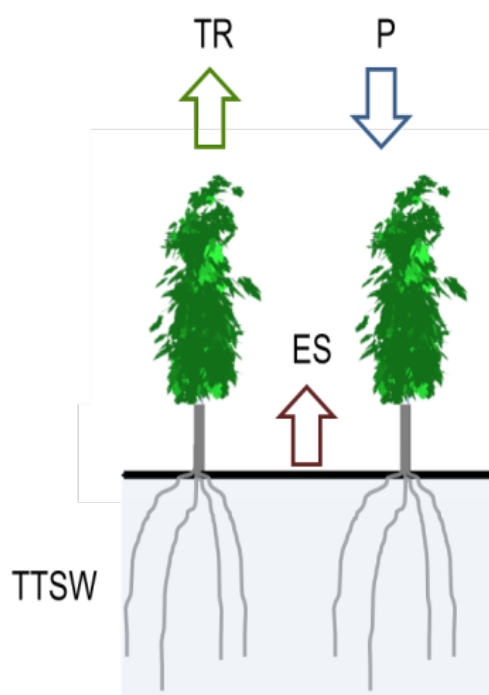


Figure 2 : Schéma du bilan hydrique d'une parcelle viticole. TR : Transpiration, ES : Evaporation, P : Précipitations, TTSW : Réserve hydrique maximale utilisable par la vigne, ASW : Réserve hydrique actuelle.

Bilan hydrique :

$$ASW_j = ASW_{j-1} - TR - ES + P$$

2.2 Tendances climatiques en termes de température, précipitation et évapotranspiration sur la zone Languedocienne

Le réchauffement moyen annuel calculé sur les 3 points de référence atteint respectivement +1.2°C et +3.2°C pour les périodes 2020-2050 et 2070-2100. Ce réchauffement induit une augmentation de la demande climatique (ETo) estimée en moyenne à 53 mm (+6%) pour la période 2020-2050 et 148 mm (+18%) à la fin du siècle. Cette tendance est légèrement accentuée sur les sites de l'arrière-pays où le réchauffement est plus important que sur le site de plaine (Figure 3). Dans le même temps, la pluviométrie moyenne annuelle diminue d'environ 100 mm sur l'ensemble des sites. Il est intéressant de noter que cet assèchement est prévu dès la période 2020-2050 avec un régime pluviométrique stabilisé dans une fourchette comprise entre 400 et 500 mm annuels selon les sites. Par contre, malgré une stabilisation autour de ces valeurs, nous pouvons observer un changement assez important de la variabilité interannuelle, avec une augmentation importante de celle-ci à court terme (notamment dans les zones intérieures) et une baisse assez significative de celle-ci à long terme.

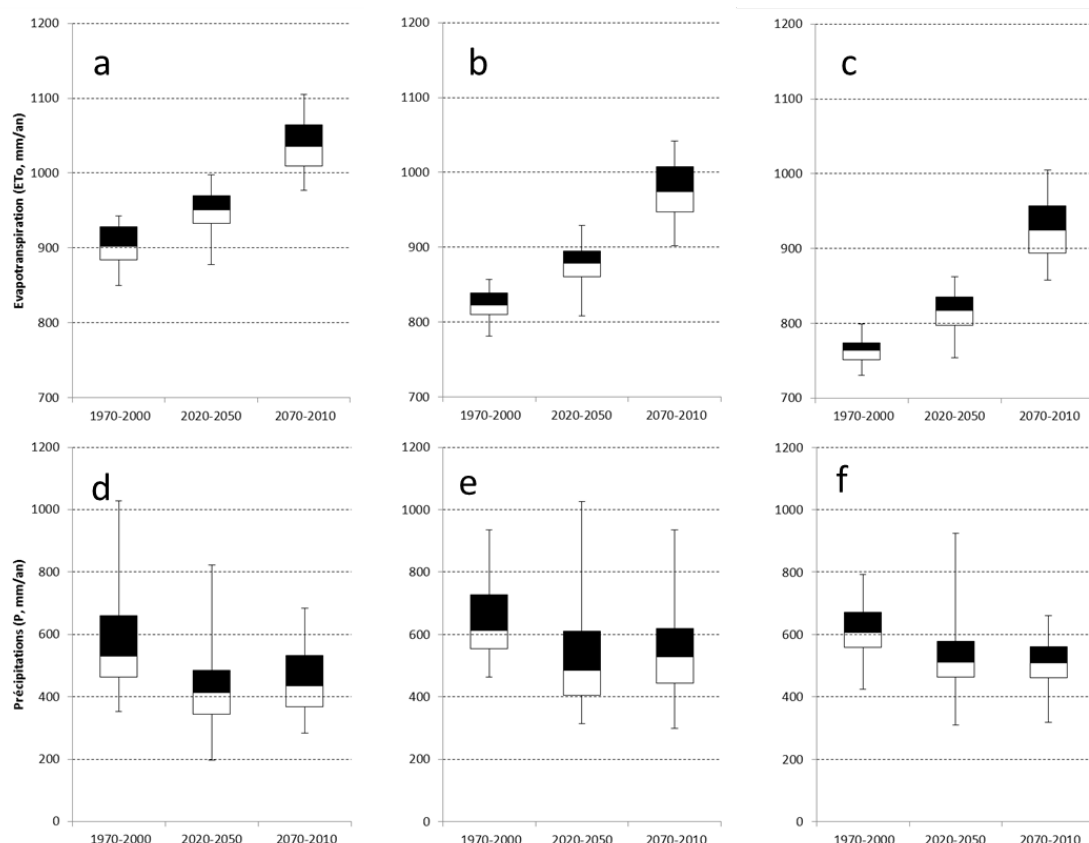


Figure 3 : Evolution de l'évapotranspiration (ETo) et des précipitations (P) annuelles sur (a,d) la zone littorale, (b,e) les collines du biterrois et (c,f) la plaine audoise (données calculées d'après les simulations Météo-France CNRM/GMGECC, scénario A2).

2.3 Conséquences attendues sur le régime hydrique du vignoble

Les simulations réalisées pour une situation viticole standard commune aux trois sites montrent que l'intensité moyenne du déficit hydrique et sa durée augmentent de manière importante (Figure 4). L'augmentation de l'intensité du déficit hydrique demeure modérée à l'horizon 2020-2050 (+13% de la valeur de l'indice) et s'accroît fortement au cours de la seconde partie du siècle (+63% à l'horizon 2070-2100). La durée moyenne de la période de sécheresse augmente de manière plus progressive (respectivement +47% et +100% pour les périodes 2020-2050 et 2070-2100). Ces évolutions sont particulièrement accentuées sur les collines du biterrois et la plaine audoise qui étaient soumises à des sécheresses limitées sur la période de référence. Ces zones, qui supportent l'essentiel du vignoble, pourraient être soumises à l'horizon 2070-2100 à des durées de déficit hydrique analogues à celles actuellement rencontrées sur la zone littorale.

Les conditions de déficit hydrique subies par la vigne à certaines périodes critiques du développement résultent des évolutions conjointes du bilan hydrique et de la phénologie. Elles sont illustrées ici à titre d'exemple par l'indice « intensité moyenne du déficit hydrique pendant la période véraison-maturité ». Les résultats montrent que l'accélération du développement de vigne et le gain de précocité qui en découlerait pourraient en partie contrebalancer les effets du déficit hydrique climatique et maintenir l'intensité de la contrainte hydrique subie pendant la phase de maturation (Figure 4-g,h,i). Cette compensation, totale sur la zone littorale et les collines biterroises, n'est que partielle sur la plaine audoise.

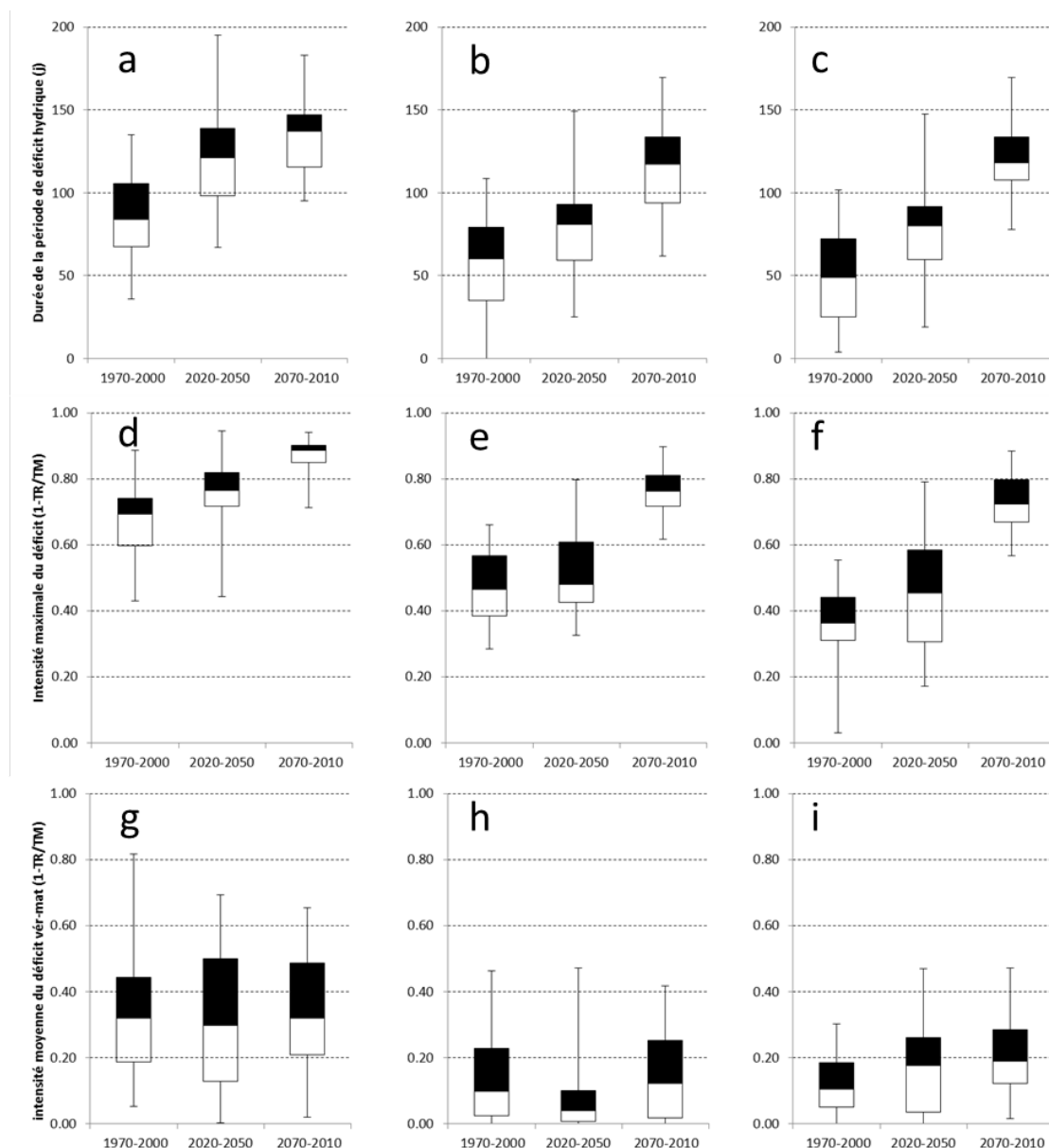


Figure 4 : Evolution de la durée de la période de déficit hydrique, de son intensité maximale au cours du cycle et de son intensité au stade fin-véraison pour (a,d,g) la zone littorale, (b,e,h) les collines du biterrois et (c,f,i) la plaine audoise (données calculés d'après les données Météo-France CNRM/GMGEC, scénario A2).

Au total, les projections climatiques fournies par Météo-France CNRM/GMGEC à l'échéance 2100 pour la zone viticole Languedoc conduisent à envisager **une accentuation du déficit hydrique climatique** due pour l'essentiel à **l'augmentation de la demande climatique**, conséquence du réchauffement climatique. Cette évolution est accentuée par une diminution modérée de la pluviométrie moyenne. **Ces évolutions impactent le régime hydrique du vignoble qui voit à la fois la durée et surtout l'intensité du déficit hydrique augmenter de manière accélérée à partir du milieu du siècle. Le gain de précocité du cycle lié à l'augmentation concomitante de la température de l'air limiterait l'intensité des contraintes perçues pendant la phase de maturation. Les sécheresses les plus intenses seraient alors subies pendant la période post-récolte, phase critique pendant laquelle la vigne reconstitue ses réserves carbonées.**

3. Adaptations des systèmes viticoles en zone méditerranéenne

Le fonctionnement global des systèmes viticoles méditerranéens demeure intimement lié à leur environnement physique et en particulier au climat et aux ressources en eau. L'adaptation de ces systèmes au changement climatique implique de devoir anticiper et concevoir des solutions techniquement et économiquement viables afin d'améliorer leur résilience. Certains travaux préliminaires suggèrent que les impacts pourraient ainsi être considérablement atténués via différents stratégies d'adaptation des vignobles (Diftenbaugh *et al.*, 2011 ; Nicholas et Durham, 2012). Sur les vignobles déjà en place, il s'agit de moduler les itinéraires culturaux par des adaptations de la conduite du feuillage, de l'inter-rang, la mise en place de stratégies d'irrigation déficitaire. A plus long terme, des modifications de conduite plus radicales, l'adoption de nouvelles combinaisons porte-greffe/greffon, voire le déplacement d'une partie du parcellaire vers des situations plus favorables devraient être envisagés.

3.1 Irrigation

Favorisée en France par l'évolution récente de la réglementation (décret n° 2006-1527 du 4 décembre 2006), l'irrigation a constitué la première réponse aux épisodes de sécheresses ayant sévi dans le vignoble du Languedoc-Roussillon au cours de la décennie 2000-2010 (+ 10 500 ha irrigués entre 2000 et 2010)². La surface totale irriguée ne comprend aujourd'hui que 11% du vignoble et son développement est conditionnée à l'existence ou la création d'infrastructures permettant l'accès à l'eau. Les pratiques actuelles s'appuient sur des stratégies d'irrigation déficitaire (*i.e.* la quantité apportée est inférieure aux besoins potentiels) (Dry *et al.*, 2001 ; Chaves *et al.*, 2007, 2010) dans l'objectif de stabiliser les rendements et la qualité de la vendange tout en maximisant l'efficacité d'utilisation de l'eau. Le pilotage s'appuie sur une palette d'outils incluant des indicateurs de l'état hydrique du sol, de la plante basés à la fois sur des mesures au vignoble (Cifre *et al.*, 2005 ; Pellegrino *et al.*, 2006) et des outils de modélisation (Lebon *et al.*, 2003 ; Celette *et al.*, 2010). Les travaux de recherche actuels visent à affiner l'état hydrique optimal de la plante et les besoins en eau en fonction du stade du développement de la baie et adaptés à chaque objectif de production (Shellie et Bowen, 2013).

3.2 Gestion de l'inter-rang

Les techniques de gestion de l'inter-rang offrent de multiples possibilités pour améliorer la disponibilité en eau pour la vigne en modulant les différentes composantes du bilan hydrique de la parcelle. Le travail superficiel du sol constitue une technique traditionnelle en zone méditerranéenne qui vise à limiter le flux d'évaporation et la concurrence des adventices. Moins développées en région méditerranéenne, les techniques d'enherbement, en expansion dans la plupart des vignobles européens, offrent des possibilités intéressantes pour limiter la vigueur printanière de la vigne et ses besoins en eau, améliorer la recharge hydrique hivernale du sol, favoriser par effet de compétition, une redistribution de l'enracinement en profondeur et un accès à des réserves hydriques profondes (Celette *et al.*, 2008, 2013). Les résultats expérimentaux montrent que ces bénéfices compensent, en région méditerranéenne et sur sols profonds, l'essentiel des pertes en eau induites par la transpiration printanière du couvert herbacé. Les travaux actuels de modélisation des dynamiques couplées de l'eau et de l'azote offrent la possibilité de concevoir des systèmes adaptés à différentes gammes d'environnement (Celette *et al.*, 2010 ; Ripoche *et al.*, 2010).

3.3 Système de conduite

La conduite constitue un des leviers d'adaptation aux conditions sèches jusqu'alors négligé. L'enjeu consisterait à configurer des structures de couvert dont les besoins en eau seraient compatibles avec des ressources limitées et qui maximiseraient l'efficacité de transpiration. L'écartement et l'orientation des rangs, l'architecture et les dimensions de la haie foliaire sont les paramètres qu'il est possible de

² Sciences Eaux & Territoires, 2013

moduler. Des travaux récents combinant expérimentation et modélisation 3D permettent une meilleure compréhension de la chaîne d'interactions qui lie la structure du couvert viticole, l'acquisition du carbone et l'efficacité d'utilisation de l'eau en l'absence de contrainte hydrique (Prieto *et al.*, 2013). Ils quantifient en particulier l'impact positif de l'exposition de feuillage sur l'efficacité d'utilisation de l'eau du système de conduite. Des projets en cours visent à intégrer les effets des contraintes hydriques et thermiques dans ces modèles afin de rechercher les meilleurs compromis adaptés à chaque type de situation.

3.4 Matériel végétal

De manière surprenante, l'amélioration de la tolérance de la vigne à la sécheresse constitue un champ de recherche peu exploré jusqu'à ces cinq dernières années ni en Europe, ni dans les régions viticoles du nouveau monde où la sécheresse est généralisée (Australie, Afrique de Sud, Chili, Argentine, États-Unis). Cet état de fait résulte pour l'essentiel de l'attachement de la filière à un nombre limité de cépages traditionnels devenus « internationaux » et à la généralisation de l'irrigation de la vigne à l'échelle mondiale. Sur la base de travaux préliminaires qui suggéraient une variabilité génétique du contrôle de la transpiration chez la vigne (Bota *et al.*, 2001 ; Schultz, 2003 ; Prieto *et al.*, 2010 ; Tomás *et al.*, 2012), un effort important de recherche a été engagé pour analyser les mécanismes physiologiques impliqués dans la tolérance à la sécheresse de la vigne à la fois au niveau du greffon et du porte-greffe ainsi que leurs déterminants génétiques (Marguerit *et al.*, 2012 ; Coupel-Ledru *et al.*, 2014). Cette approche doit permettre d'identifier des cibles phénotypiques et des marqueurs génétiques utilisables dans de futurs programmes de sélection afin de pouvoir proposer des combinaisons porte-greffe/greffon ayant des tolérances accrues à la sécheresse.

Les projections climatiques effectuées sur la base du scénario A2 « pessimiste » pour la Région Languedoc positionnent le vignoble sur la limite supérieure des 400 mm de précipitations moyennes annuelles considérés aujourd'hui comme le seuil de pluviométrie en deçà duquel la viticulture nécessite l'irrigation pour être économiquement viable (Van Leeuwen *et al.*, 2009). Dans ces conditions « limites », deux scénarios sont envisageables (i) **le recours à l'irrigation comme unique réponse à l'accroissement du risque de sécheresse** avec comme principale conséquence de voir s'accroître les tensions sur le partage de la ressource, (ii) **une reconfiguration progressive du système de production dans sa globalité en intégrant différentes techniques énoncées plus haut (incluant une irrigation raisonnée) adaptées aux spécificités locales du vignoble**. Les travaux de modélisation engagés combinés à l'expérimentation agronomique plus traditionnelle constituent une voie nouvelle pour la conception de ces nouveaux systèmes de culture.

Conclusions

La vigne est une culture pérenne qui est cultivée majoritairement pour la production de vins et dont la rentabilité économique dépend à la fois du rendement à l'hectare mais également de la qualité de la production. Le meilleur compromis est en général obtenu en conditions de culture sub-optimales correspondant à des scénarios de déficit hydrique modérés. Cet équilibre est aujourd'hui fragilisé par l'évolution climatique. Les vignobles méditerranéens sont particulièrement exposés à l'accentuation du déficit hydrique climatique.

Dans l'état actuel des connaissances, les projections climatiques réalisées sur la région Languedoc suggèrent une tendance à la poursuite du phénomène et son accentuation à partir du milieu du siècle. Il est dû pour l'essentiel à l'augmentation de la demande climatique aggravée par une diminution modérée de la pluviométrie. Conséquence du raccourcissement du cycle sous l'effet de la hausse des températures, les conditions de contrainte hydrique maximale seraient alors subies pendant la période post-récolte. Cette situation qui ne pourrait devenir réellement critique qu'à longue échéance doit néanmoins susciter une large réflexion sur l'évolution du système de production viticole.

Dans le contexte languedocien, le développement actuel d'infrastructures permettant l'accès à l'irrigation constitue clairement un atout. Cependant, celui-ci ne doit pas ralentir l'exploration d'autres stratégies d'adaptation combinant différentes solutions car la pression croissante sur la ressource et les coûts d'aménagement pour une généralisation de cette technique pourraient devenir difficilement supportables.

Cette évolution en profondeur du système de production pose un certain nombre de défis scientifiques. Il questionne en particulier sur notre compréhension des processus physiologiques ou génétique impliqués dans la réponse de la vigne à la sécheresse, leurs implications dans l'élaboration du rendement et de la qualité, mais également notre capacité à intégrer cette connaissance et de développer des outils permettant de concevoir les systèmes de production futurs. Ces recherches s'inscrivent dans l'effort actuel des chercheurs de l'INRA au sein du programme LACCAGE (Impacts et adaptations à long terme de la filière viti-vinicole au Changement Climatique) pour mieux cerner les impacts du changement climatique et étudier les stratégies d'adaptation de la filière viticole.

Références bibliographiques

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300, 6541.
- Bota J., Flexas J., Medrano H., 2001. Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars. *Annals of Applied Biology* 138, 353–365.
- Celette F., Gaudin R., Gary C., 2008. Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping. *European Journal of Agronomy* 29, 153-162.
- Celette F., Ripoche A., Gary C., 2010. WaLIS-A simple model to simulate water partitioning in a crop association: The example of an intercropped vineyard. *Agricultural Water Management* 97, 1749-1759.
- Celette F., Gary C., 2013. Dynamics of water and nitrogen stress along the grapevine cycle as affected by cover cropping. *European Journal of Agronomy* 45, 142-152.
- Coipel J., Rodriguez Lovelle B., Sipp C., Van Leeuwen C., 2006. "Terroir" effect, as a result of environmental stress, depends more on soil depth than on soil type (*Vitis vinifera* L. Cv. Grenache noir, Côtes du Rhône, France, 2000). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 40, 177-185.
- Chaouche K., Neppel L., Dieulin C., Pujol N., Ladouche B., Martin E., Salas D., Caballero Y., 2010. Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change. *Comptes Rendus Géoscience* 342, 234-243.
- Chaves M.M., Santos T.P., Souza C.R.D., Ortuño M.F., Rodrigues M.L., Lopes C.M., Maroco J.P., Pereira J.S., 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology* 150, 237-252.
- Chaves M.M., Zarrouk O., Francisco R., Costa J.M., Santos T., Regalado A.P., Rodrigues M.L., Lopes C.M., 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany* 105, 661-676.
- Christensen J.H., Krishna Kumar K., Aldrian E., An S.I., Cavalcanti I.F.A., de Castro M., Dong W., Goswami P., Hall A., Kanyanga J.K., Kitoh A., Kossin J., Lau N.C., Renwick J., Stephenson D.B., Xie S.P., Zhou T., 2013. Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Cifre J., Bota J., Escalona J.M., Medrano H., Flexas J., 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.): An open gate to improve water-use efficiency? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 106(2), 159-170.
- Coombe B.G., 1989. The grape berry as a sink. *Acta Horticulturae* 239, 149-158.
- Coupel-Ledru A., Lebon E., Christophe A., Doligez A., Péchier P., Hamard P., This P., Simonneau T., 2014. Genetic determinism of leaf water potential maintenance under drought in grapevine (*Vitis vinifera* L.) *Journal of Experimental Botany*. Sous presse.
- Deluc L.G., Quilici D.R., Decendit A., Grimplet J., Wheatley M.D., Schlauch K.A., Mérillon J.M., Cushman J.C., Cramer G.R., 2009. Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay. *BMC Genomics* 10, 212.
- Diffenbaugh N.S., White M.A., Jones G.V., Ashfaq M., 2011. Climate adaptation wedges: a case study of premium wine in the western United States. *Environmental Research Letters* 6, 024024.
- Dry P.R., Loveys B.R., 1998. Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 4, 140-148.
- Jackson D.I., Lombard P.B., 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-a review. *American Journal of Enology and Viticulture* 44, 409-430.
- Koundouras S., Van Leeuwen C., Seguin G., Glories Y., 1999. Influence of water status on vine vegetative growth, berry ripening, and wine characteristics in Mediterranean zone (example of Nemea, Greece, variety Saint-George, 1997). *International Journal of Vine and Wine Sciences* 33, 149-160.
- Koundouras S., Marinos V., Gkoulioti A., Kotseridis Y., Van Leeuwen C., 2006. Influence of vineyard location and vine water status on fruit maturation of non-irrigated cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). Effects on wine phenolic and aroma components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 5077-5086.
- Lebon E., Dumas V., Pieri P., Schultz H.R., 2003. Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Functional Plant Biology* 30, 699-710.
- Lebon E., Pellegrino A., Louarn G., Lecoœur J., 2006. Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (*Vitis vinifera*) growing in drying soil. *Annals of Botany* 98, 175-185.
- Lereboullet A.L., Beltrando G., Bardsley D.K., 2013. Socio-ecological adaptation to climate change: A comparative case study from the Mediterranean wine industry in France and Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 164, 273-285.
- Lespinas F., Ludwig W., Heussner S., 2010. Impact of recent climate change on the hydrology of coastal Mediterranean rivers in Southern France. *Climatic Change* 99, 425-456.
- Marguerit E., Brendel O., Lebon E., Van Leeuwen C., Ollat N., 2012. Rootstock control of scion transpiration and its acclimation to water deficit are controlled by different genes. *New Phytologist* 194, 416-429.
- Matthews M.A., Ishii R., Anderson M.M., O'Mahony M., 1990. Dependence of wine sensory attributes on vine water status. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 51, 321-335.
- Medrano H., Escalona J.M., Cifre J., Bota J., Flexas J., 2003. A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology* 30, 607-619.
- Moisselin J.M., Schneider M., Canellas C., Mestre O.A., 2002. Les changements climatiques en France au XXe siècle. *La Météorologie* 38, 45-56.
- Moriondo M., Jones G.V., Bois B., Dibari C., Ferrise R., Trombi G., Bindi M., 2013. Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Climatic Change* 119, 825-839.
- Pellegrino A., Lebon E., Simonneau T., Wery J., 2005. Towards a simple indicator of water stress in grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on the differential sensitivities of vegetative growth components. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 11, 306-315.
- Pellegrino A., Gozé E., Lebon E., Wery J., 2006. A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. *European Journal of Agronomy* 25, 49-59.

- Prieto J.A., Lebon E., Ojeda H., 2010. Stomatal behavior of different grapevine cultivars in response to soil water status and air water vapor pressure deficit. *International Journal of Vine and Wine sciences* 44, 9-20.
- Prieto J., Louarn G., Perez Peña J., Ojeda H., Simonneau T., Lebon E., 2013. Impact of training system on gas exchanges and water use efficiency: a 3D-modelling study with TOPVINE. In: *Proceedings of the 18 International Symposium GiESCO*, July 2013, Porto, Portugal. 2: 563-567
- Ripoche A., Celette F., Cinna J.P., Gary C., 2010. Design of intercrop management plans to fulfil production and environmental objectives in vineyards. *European Journal of Agronomy* 32, 30-39.
- Schultz H.R., 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell & Environment* 26, 1393-1405.
- Seguin G., 1970. Les sols des vignobles du Haut-Médoc. Influence sur l'alimentation en eau de la vigne et sur la maturation du raisin. Thèse de doctorat d'état, Faculté des Sciences, Université de Bordeaux.
- Seguin G., 1986. 'Terroirs' and pedology of wine growing. *Experientia* 42, 861-873.
- Shellie K.C., Bowen P., 2013. Isohydrodynamic behavior in deficit-irrigated Cabernet Sauvignon and Malbec and its relationship between yield and berry composition. *Irrigation Science* 32:87-97.
- Tomás M., Medrano H., Pou A., Escalona J.M., Martorell S., Ribas-Carbo M., Flexas J., 2012. Water-use efficiency in grapevine cultivars grown under controlled conditions: effects of water stress at the leaf and whole-plant level. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 18, 164-172.
- Tramontini S., Van Leeuwen C., Domec J.C., Destrac-Irvine A., Basteau C., Vitali M., Mosbach-Schulz O., Lovisolo C., 2013. Impact of soil texture and water availability on the hydraulic control of plant and grape-berry development. *Plant and Soil* 368, 215-230.
- Van Leeuwen C., Tregoat O., Choné X., Bois B., Pernet D., Gaudillère 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. *International Journal of Vine and Wine Sciences* 43, 121-134.