

Contrôle du stress hydrique pour la gestion de l'irrigation en viticulture.

Jean-Christophe PAYAN

Institut Français de la Vigne et du Vin
Domaine de Donadille F-30230 RODILHAN
Tél. : 04 66 20 67 00 Fax : 04 66 20 67 09
E_mail : jean-christophe.payan@vignevin.com

Compte tenu du changement climatique déjà observé (IPCC 2001), des hypothèses émises sur son évolution (Seguin 2006, 2007), et pour faire face à un souci d'amélioration de la compétitivité économique de la filière viti-vinicole française, la maîtrise des conditions de production à la parcelle est un enjeu d'actualité. De récents travaux (García de Cortázar 2007 ; Moriondo et Bindi 2007) proposent d'utiliser des outils de modélisation pour caractériser l'influence du changement climatique sur la conduite et la pérennité de la vigne. En participant à la réalisation de ces travaux, l'IFV s'inscrit dans l'accompagnement des producteurs pour le maintien d'une viticulture durable, en exploitant et développant des méthodes innovantes. Au vignoble, et plus particulièrement encore dans le vignoble méditerranéen, ceci se traduit par un besoin de maîtrise des conditions d'alimentation hydrique. C'est à ces fins que l'IFV expérimente depuis plusieurs années différentes méthodes et outils de diagnostic de la contrainte hydrique afin de mieux caractériser l'évolution des parcelles et des millésimes dans un premier temps, et afin de guider la réalisation d'irrigations correctives par la suite. Pour ce faire, un travail en réseau avec différents laboratoires de recherche agronomique et des acteurs du développement agricole a été instauré¹, il permet le test et la mise en œuvre de différentes méthodes de contrôle du statut hydrique du vignoble, parmi lesquelles figure un modèle de bilan hydrique proposé par l'IFV et l'INRA. Dans ce document seront présentés en premier lieu des notions de compréhension de l'effet probable du changement climatique sur le vignoble français, puis le modèle de bilan hydrique aujourd'hui utilisé en région méditerranéenne pour faciliter le suivi de la contrainte hydrique en réseau et évaluer l'intensité des millésimes.

1. Le changement climatique à l'échelle du paysage viticole français

- **Incidences au vignoble**

Au vignoble, les impacts du réchauffement climatique sont de différents ordres. L'un des événements les plus marquants devrait être une modification du cycle phénologique, avec comme conséquence une accélération de la croissance des organes (Brisson 2004). La date de floraison de la vigne pourrait être avancée de deux à trois semaines, et la date des vendanges de presque un mois, comme cela est déjà observé dans les Côtes-du-Rhône ou le Médoc (Ganichot 2002). Il est de ce fait probable qu'un équilibre agrophysiologique différent de l'actuel se mette en place, conduisant à revoir certaines pratiques culturales (García de Cortázar *et al.* 2004). Les conséquences pour la vigne se traduiront par un décalage précoce

¹ Laboratoires de recherche agronomique : INRA Montpellier, INRA Avignon, ENITA Bordeaux.
Organismes de développement agricole : Chambres d'Agriculture (Aude, Bouches-du-Rhône, Gard, Hérault, Var, Vaucluse), CIRAME Carpentras, CIVAM Corse, SGVRCRDR.

de la réalisation des stades phénologiques, avec une maturation réalisée plus précocement en saison, en pleine période estivale, avec un risque de modification des caractéristiques organoleptiques du raisin (Lebon 2002, García de Cortázar 2006). La typicité des produits devrait être affectée ainsi que, à terme, l'encépagement des vignobles. Des études sur l'adaptation des vignobles à ces modifications climatiques ont été abordées sur la base de différents indicateurs bio-climatiques, et montrent très clairement une tendance à la méridionalisation des vignobles, avec de possibles déplacements des aires actuelles de répartition des cépages (Schultz 2000 ; Jones *et al.* 2004 ; Seguin et García de Cortázar 2004). García de Cortázar (2007) indique par exemple que, selon le scénario climatique sélectionné, les exigences thermiques de la syrah pourraient être satisfaites pour sa maturation sur la quasi-totalité du territoire à la fin du XXIème siècle, dans des conditions similaires à celles connues aujourd'hui pour ce cépage dans le vignoble Rhodanien. Il va de soi que le produit fourni n'aurait pas les mêmes caractéristiques organoleptiques, mais ses exigences de maturation seraient atteintes.

- **Des modifications dans la conduite du vignoble**

Il faut pondérer à ce stade les conséquences théoriques induites par les modifications climatiques sur la physiologie de la vigne par la spécificité écologique de chaque vignoble du territoire. La première des conséquences du réchauffement climatique se traduit ainsi par une stimulation de la production de biomasse sous l'effet de l'augmentation de la teneur de l'air en CO₂, bien que l'augmentation de la respiration sous l'effet du réchauffement devrait la contenir dans des proportions de l'ordre de 15 à 20%. L'efficacité pour l'eau sera également améliorée par augmentation de la résistance stomatique (Schultz 2000). Cependant, compte tenu de l'évolution des disponibilités en eau d'une part, et de l'évolution des températures qui peuvent atteindre des valeurs destructrices pour les tissus végétaux d'autre part, les conséquences au vignoble ne se traduiront pas systématiquement par une hausse de la vigueur végétative sur l'ensemble du territoire. Comme en témoigne la figure 1, l'ensemble des régions viticoles pourront connaître une hausse de la production de biomasse, principalement liée au facteur thermique qui est d'autant plus favorable que la région est actuellement « fraîche », mais également tributaire de l'évolution du régime pluviométrique. Cette hausse de biomasse est de ce fait tout à fait contenue dans les vignobles méditerranéens, du fait des optimums thermiques déjà partiellement atteints et de conditions hydriques moins favorables. Au niveau des rendements, l'effet positif du réchauffement climatique dans les vignobles septentrionaux devient ainsi négatif dans les vignobles méridionaux, les stress thermiques et hydriques consécutifs du réchauffement climatique étant directement responsables de ce phénomène.

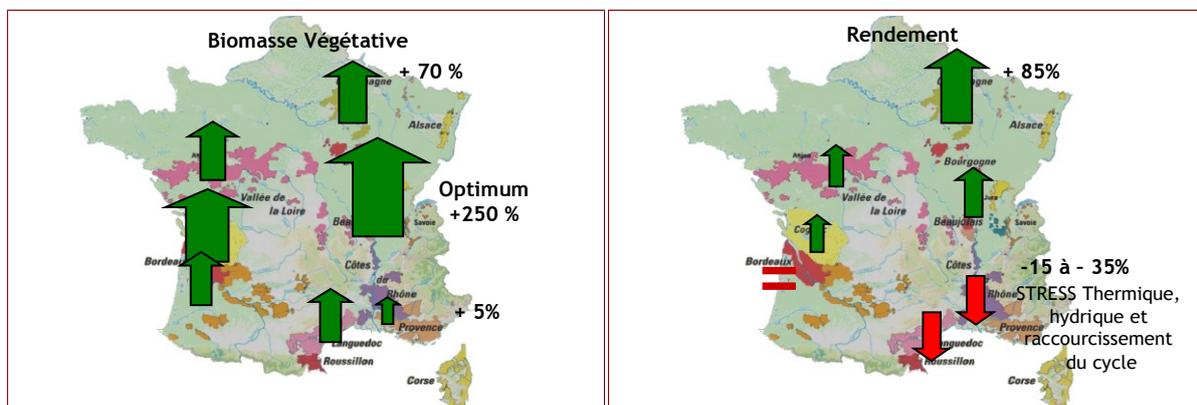


Figure 1 Estimation de l'impact du réchauffement climatique sur la biomasse végétative et le rendement viticole français à la fin du XXI^{ème} siècle (García de Cortázar, 2007).

2. Caractérisation de la contrainte hydrique

A l'échelle de la France, des études montrent déjà une tendance selon laquelle les écarts de pluviométrie entre le nord et le sud d'une part, et entre saisons d'autre part, vont s'accroître (Planton 2003). Seule la période hivernale permettra de connaître un gain de précipitations par rapport à l'actuel, les trois autres saisons laisseront apparaître des déficits pluviométriques importants, plus particulièrement encore dans les régions du sud et du sud-ouest (Payan *et al.* 2006 ; Seguin 2006). En région méditerranéenne, le cycle végétatif de la vigne devra ainsi se réaliser dans une période certes plus chaude, mais aussi plus sèche qu'à présent, augmentant la nécessité pour les viticulteurs de recourir à l'irrigation comme palliatif au déficit pluviométrique. Cependant, dans un souci de préservation de la ressource en eau d'une part, et afin de piloter cette pratique d'autre part, il est indispensable de recourir à des outils ou méthodes de mesure précis et simples d'accès techniquement et économiquement afin de quantifier la contrainte hydrique et d'optimiser les apports pour un objectif qualitatif et quantitatif donné. Les premiers travaux de l'IFV sur la maîtrise de la contrainte hydrique au vignoble ont été conduits en ce sens. Plusieurs méthodes ont été successivement testées au titre desquelles on peut par exemple citer la fluorescence des feuilles par imagerie globale ou la mesure de la température foliaire. La mesure du potentiel hydrique des feuilles grâce à une chambre à pression reste cependant la méthode de référence. La mesure consiste à placer une feuille prélevée directement à la parcelle dans une chambre hermétique au sein de laquelle on fait augmenter la pression grâce à une bouteille de gaz inerte, jusqu'à la pression nécessaire pour extraire la sève de la feuille. La pression exercée est d'autant plus importante que la vigne est en état de contrainte hydrique. D'autres méthodes plus simples d'accès sont toujours en évaluation, relativement aux mesures de chambre à pression, en particulier les observations effectuées sur les apex en croissance. En effet, cette observation simple initialement proposée par la Chambre d'Agriculture de Vaucluse, se base sur le constat simple que la croissance de la vigne est la première fonction physiologique affectée par la contrainte hydrique. Ces observations, extrêmement rapides et simples d'accès, pourraient, une fois corrélées à une gamme de contrainte hydrique, permettre un contrôle simple et rapide du régime hydrique des parcelles.

Plusieurs auteurs s'accordent à reconnaître la mesure du potentiel hydrique comme l'indicateur de référence pour la mesure de la contrainte hydrique au vignoble, avec en particulier le potentiel hydrique foliaire de base, effectué en fin de nuit, avant le lever du soleil (Carbonneau 1998 ; Deloire *et al.* 2003 ; Sibille 2007). C'est autour de cet indicateur qu'ont été élaborées les principales grilles d'interprétation des conséquences de la contrainte sur la qualité du raisin et sur le rendement. D'autres outils ou méthodes de mesure sont en cours de validation, en appuyant leur interprétation sur les mesures de potentiels hydriques foliaires de base. Cependant, bien qu'incontournable, cette mesure est peu pratique à mettre en oeuvre au vignoble et ne permet pas de suivre de nombreuses parcelles, c'est pourquoi le recours à la modélisation a été envisagé en agriculture, afin de faire de cette technique un véritable outil d'aide au suivi des parcelles. La modélisation permet de simuler la croissance des cultures à partir de données climatiques et pédologiques en particulier, complétées des renseignements spécifiques à la culture et à son itinéraire technique. La mise au point de ces modèles à des fins opérationnelles est d'actualité, avec en particulier les études menées par l'unité Agroclim de l'INRA d'Avignon d'une part sur le modèle de culture STICS-vigne (García de Cortázar 2007), et par l'UMR System de l'INRA de Montpellier d'autre part sur la

modélisation de la concurrence hydro-minérale en vignoble enherbé (Célette 2007). En ce qui concerne la caractérisation de la contrainte hydrique, l'IFV et l'INRA proposent un modèle aujourd'hui utilisé dans le sud de la France. Son fonctionnement est simple. Il s'appuie sur les travaux de Riou (1994) et Carbonneau (1998), et permet de suivre l'évolution des réserves en eau du sol en le considérant comme un simple réservoir (une procédure permet d'estimer cette valeur après 2 à 3 années de suivi si l'on n'a pas accès facilement à cette information) qui se remplit sous l'effet des pluies, et se vide par évaporation directe du sol et par transpiration de la vigne (figure 2). Les parcelles viticoles n'étant pas égales entre elles d'un point de vue agronomique (profondeur de sol, type de sol, densité de plantation...), une procédure de paramétrage des parcelles avec des mesures de potentiels hydriques foliaires de base permet de définir la réserve hydrique du sol utilisable par la vigne (Riou et Payan 2001 ; Lebon et al. 2003 ; Payan *et al.* 2003 ; Pellegrino 2003 ; Fermond 2005).

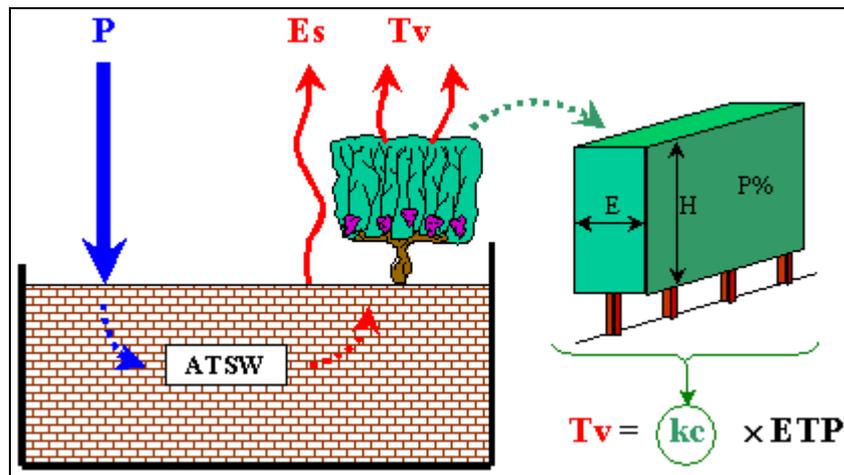


Figure 2 Illustration des flux hydriques pris en compte dans le bilan hydrique. ATSW = réserve en eau du sol utilisable par la plante ; P = précipitations ; Es = évaporation du sol ; Tv = transpiration de la végétation ; kc = coefficient d'interception du rayonnement solaire ; E = épaisseur de végétation ; H = hauteur de la végétation ; P% = porosité de la végétation ; ETP = évapotranspiration potentielle.

Ce modèle présente comme particularité de chercher à décrire l'évolution des potentiels hydriques foliaires de base. Ceci présente deux avantages. Premièrement, les mesures de potentiels hydriques foliaires de base permettent de vérifier facilement la pertinence du modèle avec une mesure directe au champ. Deuxièmement les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base étant la seule base sérieuse d'interprétation des conséquences de la contrainte hydrique, il était particulièrement nécessaire de bénéficier d'un indicateur évoluant dans les mêmes unités pour davantage de transparence. Une fois le potentiel hydriques foliaire de base correctement simulé, l'accès aux données météorologiques permet de suivre l'évolution de la contrainte en temps réel. Couplée à cette approche, une grille de diagnostic de l'incidence de la contrainte sur la qualité de la récolte est proposée (Payan 2004 ; Gary *et al.* 2005), elle permet d'aider au raisonnement du choix de la date de déclenchement de l'irrigation lorsque les conditions climatiques génèrent une contrainte plus importante que l'objectif souhaité (figure 3). Chaque zone décrite correspond à un objectif produit/rendement, du plus confortable dans les zones supérieures vers les plus contraintes dans les niveaux inférieurs.

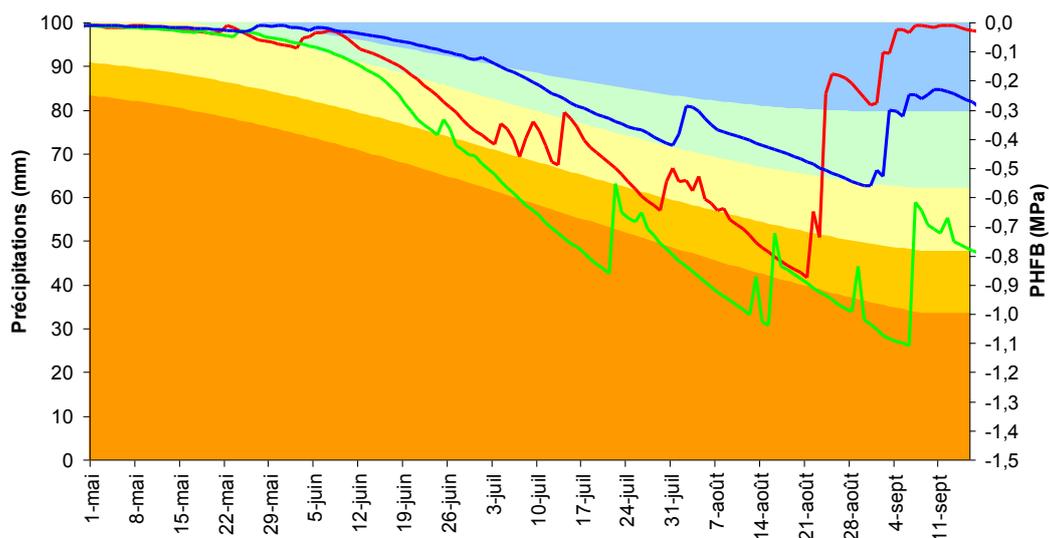


Figure 3 Exemple de discrimination de trois millésimes ou trois parcelles par le bilan hydrique du 1^{er} mai au 15 septembre. Une telle représentation permet de hiérarchiser l'importance de la contrainte hydrique pour une date donnée. Les zones colorées en fond d'écran représentent différents « parcours hydriques » conditionnant différents types de vin.

Au vignoble, l'expérience acquise indique que l'utilisation la plus pertinente de ce modèle passe par une approche en deux temps :

- une approche expérimentale sur vignes suivies en potentiel hydriques foliaires de base permet de paramétrer les termes du modèle d'une part et de s'assurer d'autre part de la bonne qualité de prédiction du modèle
- une approche théorique par secteur viticole en simulant artificiellement ce qu'est la contrainte pour le millésime, sur différents types de sol. Cette information permet d'une part d'adapter les simulations aux conditions locales de production et d'autre part de quantifier de façon répétable l'intensité du millésime pour chaque site d'observation..

Certains organismes de développement agricole appuient aujourd'hui en partie leurs préconisations sur l'utilisation de ce modèle de bilan hydrique, qui prend alors toute sa dimension d'outil d'aide à la décision.

Conclusion.

- **Situation climatique**

Depuis l'été 2003, la sécheresse et la canicule sont dans tous les esprits. Si les épisodes climatiques vécus jusqu'à présent n'ont pas connu une telle ampleur, certains secteurs viticoles ont été depuis touchés de la même façon, voire davantage par la sécheresse. A ces conditions estivales s'ajoutent des hivers et printemps inhabituellement secs et doux, faisant accroître l'inquiétude de maîtriser demain les conditions de production au vignoble. Le laboratoire d'Agroclimatologie de l'INRA d'Avignon travaille à ce titre sur l'interprétation des conséquences du changement climatique sur le vignoble. En association avec l'IFV et d'autres partenaires professionnels nationaux, l'INRA a proposé un modèle de culture adapté à la vigne (STICS Vigne). Ce modèle permet de simuler la croissance de la vigne et la maturation du raisin pour différentes conditions climatiques. Partant des scénarios de changement du climat

proposés par le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Etude sur le Climat), ce modèle a permis de quantifier l'avance induite sur le cycle phénologique, voire son raccourcissement ; et surtout d'établir que les stress hydriques et thermiques induiront dans la région méditerranéenne des modifications des caractéristiques organoleptiques et de la typicité des raisins, ainsi que des baisses substantielles de rendement, à cépages et modes de conduite identiques à l'actuel. Il est essentiel de souligner que les simulations réalisées avec différentes modifications des pratiques culturales (irrigation, mulchage, gestion du feuillage...) ont permis de contenir les effets du changement climatique, mais jamais de les compenser (García de Cortázar 2007).

- **Méthode de suivi de la contrainte hydrique en réseau de parcelle**

La mesure du potentiel hydrique foliaire de base permet d'estimer correctement le statut hydrique du vignoble. Cependant, son utilisation étant peu envisageable en routine et à grande échelle, plusieurs indicateurs utilisant les données météorologiques pour décrire l'évolution de la contrainte ont été proposés. Parmi ceux-ci, l'IFV a choisi de développer un modèle de bilan hydrique avec l'INRA et des partenaires professionnels du pourtour méditerranéen. Les algorithmes associés à ces calculs ont été regroupés sous un fichier Excel. Ce modèle est aujourd'hui distribué à titre d'évaluation auprès des organismes partenaires. Il permet de suivre l'évolution de la contrainte sur des parcelles de référence ou à partir de situations virtuelles (estimation du niveau de contrainte pour différents sols). Ce modèle simplifie le suivi de la contrainte et permet de quantifier l'intensité du millésime entre différents sites ou différentes années. Par ailleurs, une grille d'interprétation a été proposée. Elle permet de positionner la parcelle par rapport à un risque plus ou moins grand de contrainte hydrique. Des grilles spécifiques pour chaque type de produit, voire chaque cépage, peuvent être adaptées afin de respecter la typicité locale des vins produits.

En parallèle à ces approches descriptives permettant de raisonner les interventions correctrices de la situation viticole actuelle, d'autres travaux sont en cours visant à trouver des palliatifs au réchauffement climatique afin de préserver la typicité des produits réalisés, afin d'optimiser la conduite des vignobles, et surtout afin de préserver la pérennité et la compétitivité de la filière. Ces travaux passent autant par la redistribution des cartographies d'encépagement que par l'optimisation des itinéraires techniques ou la redéfinition des secteurs de production

Bibliographie

Brisson N. 2004 *Questionnements sur l'impact du changement climatique sur les grandes cultures*. Séminaire MICCES INRA, Isle sur Sorgue, 22-23 janvier 2004.

Carbonneau A., 1998 Irrigation, vignoble et produits de la vigne. *Traité d'irrigation*, Jean-Robert TIERCELIN, éd. Lavoisier Tec & Doc : 257-276.

Célette 2007 *Dynamique des fonctionnements hydrique et azoté dans une vigne enherbée sous le climat méditerranéen*. Thèse SupAgro Montpellier, 182p.

Deloire A., Carbonneau A., Federspiel B., Ojeda H., Wang Z. et Costanza P. 2003 La vigne et l'eau. *P.A.V.*, 120 n°4: 79-90.

Fermond N. 2005 *A propos de deux modèles de bilan hydrique*. Mémoire de fin d'études, ENITA Bordeaux, 53p.

Ganichot B. 2002 Evolution de la date des vendanges dans les Côtes-du-Rhône méridionales. *6èmes Rencontres Rhodaniennes*, éd. Institut Rhodanien, Orange, France : 38-41.

García de Cortázar Aauri I. 2006. Impacts sur le vignoble, perspectives. *Le Changement climatique: quelles conséquences pour l'agriculture et la sylviculture régionales? Rencontre Chercheurs/Professionnels*. 2 février. INRA. Avignon.

- García de Cortázar I. 2007** *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.* Thèse ENSAM, 292p.
- García de Cortázar Aauri I., Brisson N. et Seguin B. 2004** Estimation de l'impact du changement climatique sur les résultats agronomiques de la vigne avec le modèle STICS. *Cahier Technique Mondavi*, éd. ITV France : 151-159.
- Gary C., Payan J.C., Kansou K., Pellegrino A. et Wéry J. 2005** Un outil de diagnostic de la contrainte hydrique de parcelles viticoles, en relation avec des objectifs de rendement et de qualité. *Comptes-rendus GESCO vol.2*, Geisenheim : 449-456.
- IPCC 2001.** *Climate change 2001 : impacts, adaptation and vulnerability.* Contribution of Working Group II to the third assessment report of IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.
- Lebon E. 2002** Changements climatiques: quelles conséquences prévisibles sur la viticulture? *6èmes Rencontres Rhodaniennes*, éd. Institut Rhodanien. Orange, France. p. 31-36.
- Sibille I., Ojéda H., Prieto J., Maldonado S., Ladapère J.N. et Carbonneau A. 2007** Rapport entre les trois modalités de la chambre à pression (potentiel hydrique foliaire de base, foliaire à midi et « de tige » à midi) en fonction de la réponse de quatre cépages dans le sud de la France, applications pour le contrôle de l'irrigation. *Comptes-rendus du XV^{ème} symposium international du GESCO*, Croatie : 685-695.
- Lebon E., Dumas V., Pieri P. et Shultz H.R. 2003** Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Functional Plant Biology*, **30** : 699-710.
- Jones G. V., White M. A. et Cooper O. R. 2004** *Climate change and global wine quality.* Climatic Change. (in review).
- Lebon E. 2002** Changements climatiques: quelles conséquences prévisibles sur la viticulture? *6èmes Rencontres Rhodaniennes*, éd. Institut Rhodanien. Orange, France. p. 31-36.
- Lebon E., Dumas V., Pieri P. et Schultz H.R. 2003** Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Functional Plant Biology*, **30** : 699-710.
- Moriondo M. et Bindi M. 2007** L'impact du changement climatique sur la vigne (*Vitis vinifera* L.) dans l'échelle régionale : phénologie, production et réponses aux stress biotiques. *C.T. du congrès Conclivi sur le climat et la viticulture* : 5-9.
- Payan J.C. 2004** L'évaluation de la contrainte hydrique: développer des outils pour mieux connaître ses conséquences sur la qualité de la vendange. *Cahier Technique Mondavi*, Bordeaux, éd. ITV France : 127-132.
- Payan J.C., Ramel J.P., Martinez A.M. et Salançon E. 2003** Sécheresse et canicule en 2003 : caractérisation climatique et méthodes d'identification au vignoble. *Comptes-rendus Euroviti*, Montpellier, éd. ITV France : 3-14.
- Payan J.C., García de Cortázar et Seguin B. 2006** Changement climatique et ressource en eau : comment intégrer les données météorologiques pour mieux gérer la contrainte hydrique de la vigne ? *Compte-Rendus des Entrepreneurs Viti-vinicoles Rhône-Méditerranée*, éd. ITV France : 7-10.
- Pellegrino A. 2003** *Elaboration d'un outil de diagnostic du stress hydrique utilisable sur la vigne en parcelle agricole par couplage d'un modèle de bilan hydrique et d'indicateurs de fonctionnement de la plante.* Thèse ENSAM, 138p.
- Planton S. 2003** A l'échelle des continents : le regard des modèles. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, Paris. Tome 335, n°6-7 : 535-543.
- Riou C. 1994** *Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application au zonage de la teneur en sucres dans la communauté européenne.* Luxembourg, Office des Publications des Communautés Européennes, 322p.
- Riou C. et Payan J.C. 2001** Outils de gestion de l'eau en vignoble méditerranéen. Application du bilan hydrique au diagnostic du stress hydrique de la vigne. *Comptes-rendus GESCO*, journée professionnelle, Montpellier : 125-133
- Schultz H.B. 2000** Climate change and viticulture : a european perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **6** : 1-12.
- Seguin B. 2006** *Les impacts du changement climatique sur la production agricole.* Exposé oral,
- Seguin B. 2007** Les hypothèses d'évolution du climat pour les principaux vignobles. *Comptes-rendus Euroviti*, Montpellier, éd. ITV France
- Seguin B. et García de Cortázar Aauri I. 2004** Climate warning : consequences for viticulture and the notion of « terroirs » in Europe. *7th International Symposium of Vineyard Physiology and Biotechnology*, 21-25 june, Davis USA.