

RELATION ENTRE CLIMAT ET TERROIRS A DIFFERENTES ECHELLES SPATIALES : APPORT DE NOUVEAUX OUTILS METHODOLOGIQUES

ON THE RELATIONSHIP BETWEEN CLIMATE AND "TERROIR" AT DIFFERENT SPATIAL SCALES: THE INPUT OF NEW METHODOLOGICAL TOOLS

B. SEGUIN
INRA-Centre d'Avignon
Site Agroparc, domaine St Paul
84914 Avignon cedex 9

Mots clés : terroir, climat, qualité, modélisation, télédétection

Key words : "terroir", climate, quality, modelling, remote sensing

RESUME

Un grand nombre de travaux ont été consacrés à la mise en évidence et à la quantification de l'effet du climat sur la qualité de la production viticole. Ils ont permis de caractériser les grands types de production à une large échelle géographique, et d'en évaluer les variations interannuelles au niveau des millésimes. Lorsqu'on souhaite apprécier cependant les particularités au niveau des terroirs locaux, cette influence du climat devient plus délicate à apprécier. Il faut alors prendre en compte les variations spatiales du climat local à une échelle intermédiaire, ainsi que les caractéristiques microclimatiques au niveau de la parcelle viticole, qui sont fortement conditionnées par la situation topographique et le paysage environnant (brise-vent, par ex) ainsi que par l'interaction complexe avec le type de sol (par le biais de ses caractéristiques thermiques et hydriques) et avec les techniques culturales. A cette échelle fine, des moyens nouveaux d'approche méthodologique sont présentés :

- la mise en œuvre de modèles de simulations de la culture, incluant si possible le fonctionnement thermique et hydrique du système sol-plante-atmosphère,
- d'autre part, l'utilisation des outils de télédétection, (en particulier dans l'infrarouge thermique), pour caractériser l'environnement thermique aux différentes échelles concernées.

Les possibilités d'application de ces méthodes sont brièvement présentées, et la conclusion aborde les questions posées par les impacts d'un réchauffement climatique à prendre en compte pour les prochaines décennies.

ABSTRACT

A large number of studies have been devoted to the quantitative assessment of climate effects upon the quality of vineyard production. They have allowed to broadly characterize the main features of the most important wine production regions, as well as to evaluate their interannual variations ("millesime"). However, when it is needed to focus on smaller scales in order to take into account local features of so-called "terroirs", the influence of climate is more difficult to assess. In an intermediate scale, spatial variations of local climate elements have to be considered. At the smaller scales (individual fields), the characteristics of microclimate have to be considered: they combine the possible influence of local topography and surrounding landscape (shelterbelts, for instance) and the resulting effects of the complex interaction with soil type (by the way of thermal and hydric properties) and cultural practices. At this fine scale, new methodological tools may be considered:

- the use of crop simulation models, if possible including the description of the thermal and hydric characteristics of the soil-plant-atmosphere system,
- the input of remote sensing (especially thermal infrared bands) in order to characterize the thermal environment at different scales.

The possibilities and limits of these new tools are briefly presented and the questions raised by the possible impact of a global warming to be considered for the coming decades are presented in conclusion.

INTRODUCTION

Comme toute production cultivée, et en se situant sur le seul plan biotechnique, celle de la vigne fait intervenir la combinaison des facteurs du milieu (climat, sol) avec les caractéristiques de la plante et du couvert végétal, considérées dans le cadre du système de culture (incluant le choix du cépage et les pratiques culturales). Bien évidemment, l'importance particulière de la qualité de la récolte lui confère un statut particulier, qui s'est traduit par une mise en évidence déjà ancienne des relations avec le climat (voir les travaux de BRANAS *et al* 1946, définissant la limite septentrionale de la culture de la vigne en Europe à partir d'un indice héliothermique combinant une somme de températures moyennes supérieures à 10 deg et la durée d'éclairement pendant la période favorable). Un grand nombre de travaux ont permis, dès les années 1970, de préciser l'influence du climat sur les grandes lignes des caractéristiques du **potentiel viticole à la vendange** (sachant bien sûr qu'intervient ultérieurement le savoir-faire œnologique qui conditionne la qualité du vin). Les progrès des connaissances écophysiologicals ont ensuite permis d'affiner progressivement l'analyse de cette influence, en allant vers des échelles spatiales et temporelles plus fines. Le but de cet exposé est de présenter un état des lieux de la question, du point de vue de l'agrométéorologie. Pour cela, il convient d'abord de préciser brièvement les échelles mises en jeu.

LES ECHELLES D'ACTION DU CLIMAT

En considérant l'échelle par sa définition météorologique (dimension caractéristique), et non pas cartographique (rapport de reproduction de celle-ci), voir Fig.1, il est possible de dresser le tableau suivant :

- **aux échelles larges** (synoptique ou régionale, et au-delà globale), le climat définit, en premier lieu, des limites de culture (comme indiqué plus haut), puis les grandes caractéristiques des zones de production, en considérant les critères simples de qualité (comme la teneur moyenne en alcool ou en sucre, l'acidité, la coloration des raisins, etc.). **A ces échelles, on peut admettre que le climat est le facteur dominant**, sous réserve de la présence de sols adaptés et d'un choix de cépages judicieux. Il est alors possible d'identifier ces caractéristiques avec des indicateurs synthétiques comme celui d'HUGLIN (1978), basé lui aussi, sur une combinaison héliothermique, ou en faisant intervenir la prise en compte plus descriptive d'un ensemble de facteurs plus large (avec en premier lieu la pluviométrie, compte-tenu du poids important du facteur d'alimentation hydrique, mis en évidence progressivement dans les vingt ou trente dernières années) (voir les travaux de NIGOND 1971, reproduits en partie dans la Fig.2).

L'évolution de l'agrométéorologie dans les années 1980 a permis de franchir un pas marquant dans la démarche de caractérisation des potentialités de production, en généralisant le recours à des modèles combinant les données sol-climat-plante et décrivant le fonctionnement de cette dernière au travers des processus élémentaires mis en jeu (photosynthèse, bilan hydrique etc.). C'est ainsi que dans le cas de la vigne, le modèle développé par RIOU (1994) et précisé par CARBONNEAU (1994) a permis d'effectuer un zonage à l'échelle de l'UE. Bien évidemment, des progrès sont toujours possibles, mais il nous paraît possible de considérer que ces travaux (complétés par des démarches équivalentes à l'échelon international, dont il n'est pas possible ici de dresser un tableau exhaustif), apportent des éléments de réponse suffisants à cette échelle régionale.

- **à des échelles plus fines** correspondant au climat local (typiquement entre 10 et 100 km) apparaît la variabilité interne à ces grands groupes, en fonction des particularités des facteurs climatiques (liés à l'altitude et à l'exposition, dont le poids est illustré par la Fig.3, mais aussi la distance à la mer pour les zones côtières ou la position par rapport aux reliefs dominants qui influe sur la pluviométrie, etc.). La prise en compte de ces facteurs, ainsi que du sol (non seulement pour les aspects hydriques, mais aussi thermiques) est nécessaire pour les études agrométéorologiques à cette échelle (LEBON *et al* 1996, JACQUET et MORLAT 1997, TONIETTO et CARBONNEAU 1998). La modélisation comme proposée par RIOU (voir plus haut) peut encore être adaptée à cette échelle, sous réserve que les données d'entrée soient assez renseignées pour exprimer les déterminants des variations spatiales à apprécier.
- lorsque l'on descend à l'échelle du microclimat et que l'on se rapproche de l'échelle parcellaire (qui est l'échelle de prédilection des agronomes) apparaissent alors les effets possibles de la topographie locale et de l'environnement en termes de paysage, qui correspond à l'assemblage des parcelles et des milieux naturels contigus (comme pris en compte dans la composante climato-paysagère intervenant dans la définition des Unités de

Terroir de Base UTB mise au point par MORLAT 1998). A l'échelle de la parcelle, cette influence se traduit par l'effet individuel d'une haie ou d'un brise-vent (Fig.4), mais aussi de l'état de surface du sol (BRANAS 1974 évaluait l'effet résultant du travail du sol à $\pm 1^\circ$ d'alcool) ou du phytoclimat avec l'influence de l'écartement et de l'orientation, mais aussi des techniques culturales comme l'effeuillage ou le rognage. Dans une étude, sur le vignoble de Cognac rapportée par NIGOND (1971), la hauteur du tronc variant entre 150 cm et 50 cm faisait augmenter la teneur en alcool de 0.3° . Entre l'échelle du climat local et celle de la parcelle ou en d'autres termes entre le macroclimat et le microclimat (CARBONNEAU 1996), il est souvent difficile d'identifier un ensemble que l'on pourrait considérer comme homogène, et traduisant par des valeurs moyennes 'équivalentes' l'effet résultant de la mosaïque d'unités élémentaires. Ce qui explique le faible nombre d'études climatiques à ce niveau (on peut citer la démarche entreprise par la Chambre d'Agriculture de l'Aude, voir ASTRUC *et al* 1984), par rapport au grand nombre d'études portant sur la composante pédologique.

CONSEQUENCES POUR L'IDENTIFICATION DES TERROIRS

A partir de ce parcours (dans le sens descendant) des échelles, il est possible de présenter les constats suivants :

- **à l'intérieur de chaque échelle apparaît une variabilité interne** qui est loin d'être négligeable par rapport aux différences significatives entre les noyaux moyens des échelles supérieures : aussi bien le phytoclimat que le microclimat ou le climat local font intervenir couramment, par exemple, sur le plan de la température de l'air (qui est le facteur le plus facilement mis en évidence) des écarts se situant dans une fourchette de l'ordre de 2 à 3 degrés C et parfois plus, mais en valeur instantanée), alors que l'ensemble de la gamme de production à l'échelle mondiale s'étage sur un maximum de 10 degrés C (en valeur moyenne cependant, il faut le souligner), et que seulement 5 à 6 degrés séparent les vignobles du Sud et du Nord de la France !! L'enjeu d'une caractérisation à une échelle donnée est donc de pouvoir identifier et analyser la variabilité associée à cette échelle, à l'intérieur des noyaux définis à l'échelle au-dessus.
- **au niveau des 'terroirs'** (suivant la définition courante en français), **l'échelle concernée se situe entre la parcelle et la mosaïque du paysage**. A cette échelle, la variabilité de la production viticole est grande (voir Fig.5). Si certaines composantes du climat comme le rayonnement solaire (cependant modulé éventuellement par la topographie locale) ou la pluviométrie peuvent être considérées comme des 'variables de forçage externes' homogènes, l'ensemble des autres variables à considérer d'un point de vue agrométéorologique résulte d'une interaction entre les propriétés de la masse d'air (imposées par les conditions synoptiques) et des éléments locaux (microtopographie, présence de haies, proximité de nappes d'eau ou de boisements.., mais aussi type de sol et pratiques culturales), qui agissent directement ou indirectement par le biais du bilan d'énergie en surface sur la vitesse du vent, la température et l'humidité de l'air, etc.
- à cette échelle, **le climat ne peut donc pas être considéré par lui-même, mais comme la résultante d'une interaction entre le climat synoptique et les propriétés de la surface terrestre**, dont les caractéristiques (en tant qu'albedo pour l'énergie solaire absorbée,

rugosité pour l'intensité des échanges convectifs, résistance de surface dans le cas des sols ou stomatique dans le cas du couvert végétal pour le niveau d'évaporation ou de transpiration) agissent directement sur certaines variables (voir les travaux de COURAULT *et al* 1996, mettant en évidence des écarts de 2 à 3 degrés C sur la température de l'air à 2 m en fonction de l'usage des sols).

VERS L'UTILISATION DE NOUVEAUX OUTILS

La prise en compte du climat au niveau des terroirs locaux ne doit donc pas s'appuyer seulement sur les mesures météorologiques classiques de réseau, même si celles-ci restent indispensables pour évaluer les variations spatiales des composantes habituelles et peuvent être enrichies de mesures destinées à identifier les caractéristiques locales des variables de température et humidité de l'air au niveau de l'entité du terroir. L'emplacement de celles-ci doit cependant être défini à partir d'analyses préalables de ces entités, en s'appuyant sur la considération de concepts tels que les UTB (Unités de Terroirs de Base) dans la démarche définie par MORLAT (1997) ou les pédocpaysages dans celle de VAUDOUR (2001).

La caractérisation climatique devrait alors s'accompagner de la mise en œuvre d'outils méthodologiques nouveaux, dont deux nous paraissent particulièrement adaptés à l'objectif visé :

- d'une part, la mise en œuvre de la modélisation des cultures, telle que celle de la famille des modèles STICS appliquée à la vigne (Brisson *et al* 2002). Cette démarche permet de disposer d'un outil d'intégration des connaissances qui vise à reproduire le fonctionnement microclimatique et écophysologique du couvert et apparaît à même de simuler les conséquences d'une modification de l'une des composantes de l'ensemble 'sol-climat-techniques culturales', en prenant en compte les nombreuses interactions qui en résultent. Ces modèles sont, en général, mis au point à l'échelle parcellaire. Leur application à la problématique du terroir suppose alors une démarche 'ascendante' de spatialisation, qui nécessite la définition adéquate des variables d'entrée pour chacune des composantes 'sol-climat-plante'. Bien évidemment, leur degré de validité est fonction du degré de connaissance disponible pour chacune de ces composantes. En particulier, au niveau écophysologique, la prise en compte des facteurs de qualité est encore limitée aux variables classiques (teneur en sucre, acidité, etc.), et il faut souhaiter que les recherches allant vers une identification plus 'pointue' de critères de qualité (tels que les polyphénols, les caroténoïdes, etc.) que requiert l'analyse fine des terroirs permettent de dégager des éléments qui puissent être intégrés à court terme dans ces modèles. Par ailleurs, il apparaît nécessaire que ces modèles puissent intégrer les descriptions détaillées du fonctionnement hydrique et thermique du sol, susceptibles par exemple de reproduire l'effet de l'état de surface (cailloux, galets) souvent mis en évidence dans les études sur les terroirs.
- d'autre part, l'apport de la télédétection (au sol, aéroportée ou satellitaire). Il ne s'agit pas ici de l'utilisation du domaine solaire, dont les données de réflectance permettent l'évaluation du type de sol ou de son état de surface, ainsi que de la vigueur de la plante, ni même du radar qui pourrait fournir des indications sur ce même état de surface ou l'humidité superficielle du sol. Puisque nous envisageons spécifiquement l'influence du climat, nous faisons référence au domaine de l'infrarouge-thermique, qui permet d'accéder (à la connaissance de l'émissivité près) au produit 'température de surface', qui traduit à la fois la variable 'température de l'air' et son interaction avec le bilan énergétique de

surface. Au sol, l'utilisation de radiothermomètres ou de caméras IR a déjà permis d'identifier les particularités des températures de sol ou des organes végétaux (VERBRUGGHE *et al* 1991). De même, les données des satellites météorologiques tels que NOAA-AVHRR (1 km de résolution) ou géostationnaires comme Meteosat (5 km) fournissent depuis une vingtaine d'années des cartographies thermiques, (cependant plus adaptés à l'échelle du climat synoptique, ou éventuellement de la petite région) Leur précision apparaît cependant insuffisante pour aborder l'échelle du terroir. Il apparaîtrait souhaitable de mettre en œuvre soit des acquisitions aéroportées, soit des capteurs tels que ETM sur Landsat ou l'instrument ASTER sur la plate-forme TERRA de la NASA, dont les résolutions sont inférieures à la centaine de mètres (60 m pour le premier, 90 m pour le second, mais avec une richesse spectrale plus forte permettant de séparer émissivité et température de surface). Une action de recherche est en cours dans notre laboratoire sur ce thème, appliqué aux Côtes du Rhône, et la Fig. 6 présente un premier traitement cartographique sur cet objectif, effectué par X.F.Gu (unité CSE de l'INRA d'Avignon).

EN GUISE DE CONCLUSION : ET SI LE CLIMAT CHANGE ?

Le tour d'horizon que nous venons d'effectuer a permis de diagnostiquer un état d'avancement des travaux relativement suffisant, au niveau des méthodes disponibles, pour caractériser l'influence globale du climat aux échelles larges (synoptique ou régionale). Par contre, beaucoup reste à faire au niveau des terroirs locaux, mais les travaux sur le climat supposent d'établir un lien étroit avec le sol et les pratiques culturales. Indépendamment d'un progrès sensible sur l'identification des critères biochimiques de qualité (sans lequel il paraît difficile d'accéder à l'essence du terroir), les études microclimatiques nécessaires devraient s'appuyer sur la mise en œuvre à court terme des deux outils que représentent la modélisation des cultures (intégrant, si possible, des modules de fonctionnement thermique et hydrique perfectionnés) et la télédétection dans l'infra-rouge thermique.

Indépendamment de ces réflexions sur les outils d'étude, il apparaît difficile de ne pas évoquer, à propos du terroir, le questionnement sur le changement climatique, dans la mesure où le terroir s'appuie sur un étroit ajustement entre les composantes 'sol-climat-pratiques culturales'. L'hypothèse de plus en plus probable d'un réchauffement climatique apparaît à prendre en compte sérieusement pour l'avenir. Avenir qui paraît encore lointain pour la fin du siècle, où sont généralement annoncées les prévisions des scénarios climatiques (IPCC 2001), avec des fourchettes se situant entre 1.5 et 6 degrés C, tout à fait significatives par rapport à la gamme mise en jeu par la viticulture (rappelons-la, de l'ordre de 10 degrés C pour l'ensemble, et de 5 à 6 degrés C entre le Nord et le Sud de la France, par exemple). L'effet de tels scénarios est considérable pour la phénologie de la vigne (Fig.7). Or, des observations récentes sur les relevés passés font déjà apparaître, de façon concordante, des évolutions notables (Fig.8), qui accompagnent les informations purement climatiques sur le caractère nettement plus chaud (de l'ordre de 1 degré C), en particulier des dix dernières années. Fluctuation naturelle ou réchauffement lié à l'action humaine sur l'effet de serre ? Le débat est ouvert, mais il risque, en tout état de cause, d'avoir des conséquences de première grandeur sur la culture de la vigne en général, et la caractérisation climatique des terroirs en particulier !

BIBLIOGRAPHIE

- ASTRUC H., JACQUINET J.C., HERITIER J.(1984). Une application originale de la recherche fondamentale en écologie : la naissance d'un cru. *Le courrier du CNRS*, 58, 44-47.
- BRANAS J. (1974). Viticulture. *Impr. Rehan. Montpellier (France)*. 990 pp.
- BRANAS J., BERNON G., LEVADOUX L.(1946). Eléments de viticulture générale. *Impr. Dehan . Montpellier (France)*. 400 pp.
- BRISSON N., GAUDILLERE J.P., RAMEL J.P., VAUDOUR E.(2002). Utilisation possible du modèle de culture STICS comme outil de zonage viticole. *Communication présentée dans ce même colloque*.
- CALAME F., ROCHAIX M.,SIMON J.L. (1977). Observations phénologiques et mesures bioclimatiques dans plusieurs sites valaisans à différentes altitudes en vue de la délimitation de l'aire viticole. *Bull. OIV*, 559, 601-616.
- CARBONNEAU A. (1994). Le zonage des potentialités viticoles à l'échelle de l'Union Européenne. *P.A.V.*,111, 505-514.
- CARBONNEAU A. (1996). Le terroir situé entre le microclimat et le climat. *Rev. Fr. Vend.*, n°6, 21.
- COURAULT D., CAUCHI P., CLASTRE P., BLOSER B. (1996). Analyse des variations spatiales de la température de l'air en fonction de l'occupation de la surface. *Photo-interprétation*, 96/ 3-4, 19-32.
- GANICHOT B.(2002). Evolution de la date des vendanges dans les Côtes du Rhône méridionales. *C .R. des èmes Rencontres Rhodaniennes. Orange (France), Institut Rhodanien ed.*, 38-41.
- HALLAIRE M., SEGUIN B. (1984). Mesures météorologiques pour l'agriculture. *La Météorologie, VIIème série*, 3, 3-12.
- HUGLIN P. (1978). Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *C.R.Acad.Agric.Fr.*, 1117-1126.
- IPCC.(2001). Climate Change 2001. *The scientific basis. Cambridge University Press, Cambridge (UK)*, 881 pp.
- JACQUET A., MORLAT P. (1997). Caractérisation de la variabilité climatique des terroirs viticoles en Val de Loire. Influence du paysage et des facteurs physiques du milieu. *Agronomie*, 17,465-480.
- LEBON E (2002). Changements climatiques : quelles conséquences pour la viticulture. *C.R.des 6 èmes Rencontres Rhodaniennes, déjà cité*, 31-36.
- LEBON E., DUMAS V., MORLAT P (1996). Réponses de la vigne à différentes situations pédoclimatiques du vignoble d'Alsace. *Revue Française d'œnologie*, 156, 22-25.
- MORLAT R. (1996). Eléments importants d'une méthodologie de caractérisation des facteurs naturels du terroir, en relation avec la réponse de la vigne à travers du vin. *Actes du 1^{er} coll. Int. sur les terroirs viticoles , Angers, (France)*, 17-31.
- MORLAT P. (1997).Terroirs d'Anjou :objectifs et premiers résultats d'une étude spatialisée à l'échelle régionale. *Bull. OIV*, 70, 94-106.

- NIGOND J. (1971). Le rôle du climat en viticulture. 1^{ère} partie. *Connaissance Vigne vin*, 5, 461-487.
- NIGOND J. (1972). Le rôle du climat en viticulture, 2^{ème} partie. *Connaissance Vigne vin*, 6, 17-55.
- RIOU C. (1994). Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application au zonage de la teneur en sucre dans la Communauté Européenne. CEE Bruxelles, *rapport EUR 15863 FR/EN*, 321 pp.
- SEGUIN B. (1988). Use of surface temperature in agrometeorology. Applications of remote sensing to agrometeorology. *Ispra courses on remote sensing. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht (NL)*, 221-241.
- SEGUIN B. (1997). Approche spatialisée en bioclimatologie : méthodes pour le transfert d'échelle. *Actes de l'école-chercheurs en bioclimatologie, tome 2: du couvert végétal à la région. INRA Editions, Versailles (France)*, 11-25.
- SIMON J.C. (1966). Etude des influences agronomiques des brise-vent dans les périmètres irrigués du Centre-ouest de l'Argentine. I. La vigne. *Agronomie*, 28, 75-93.
- TONIETTO J., CARBONNEAU A. (1998). Facteurs mésoclimatiques de la typicité du raisin de table de l'AOC Muscat du Ventoux dans le département de Vaucluse, France. *P.A.V.*, 115, 271-279.
- VAUDOUR E. (2001). Les terroirs viticoles. Analyse spatiale et relation avec la qualité du raisin. Application au vignoble AOC des Côtes du Rhône méridionales. *Thèse de doctorat de l'INA Paris-Grignon*, 343 pp.

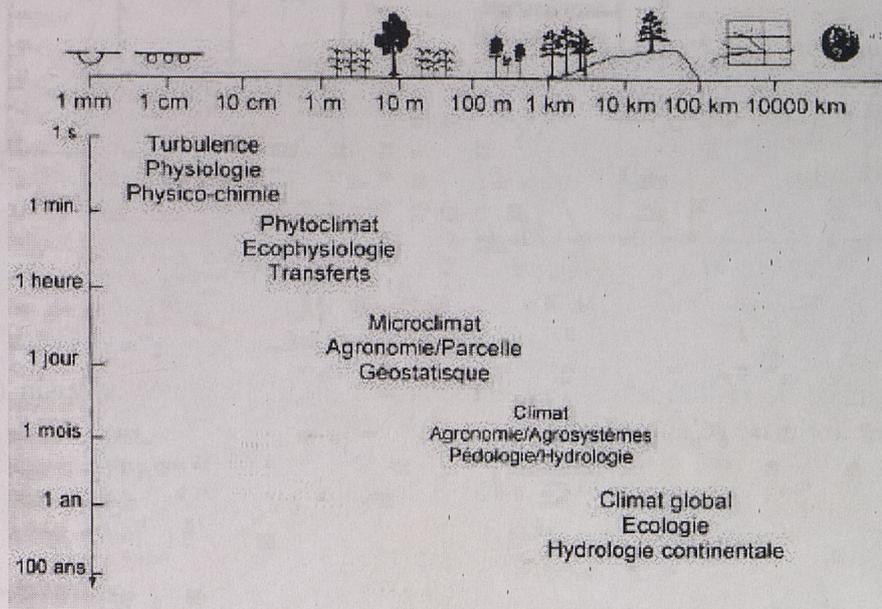


Figure 1 : Les échelles d'espace et de temps et les disciplines concernées pour le continuum sol plante-atmosphère (d'après SEGUIN 1997)

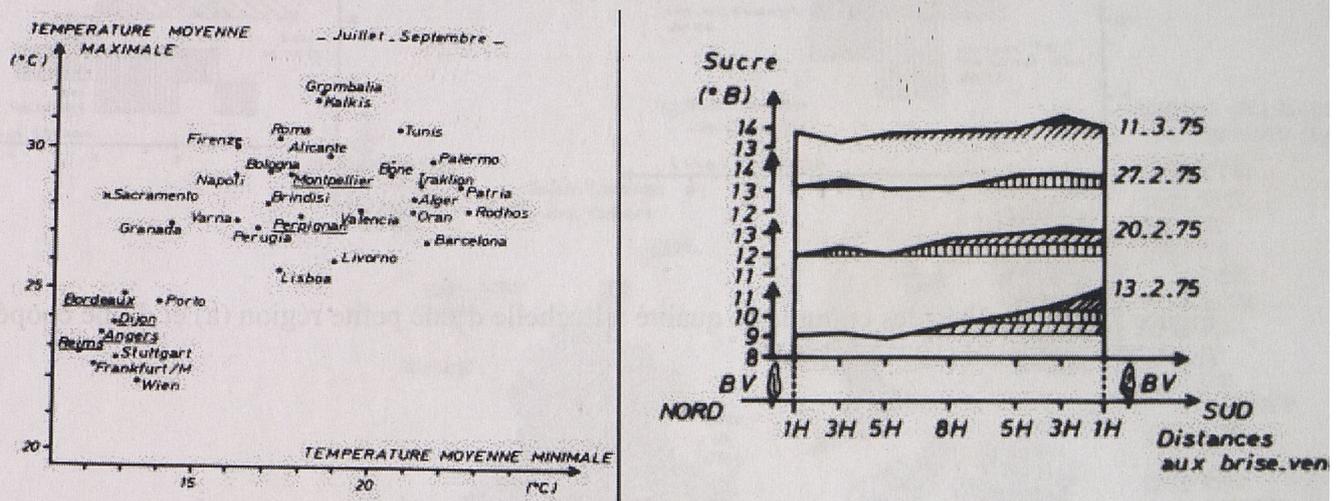


Figure 2 (gauche): Caractéristiques thermiques des principales productions viticoles européennes (d'après NIGOND 1971).

Figure 4 (droite): Evolution de la teneur en sucre en fonction de la distance à un brise-vent en Argentine (d'après Simon 1977)

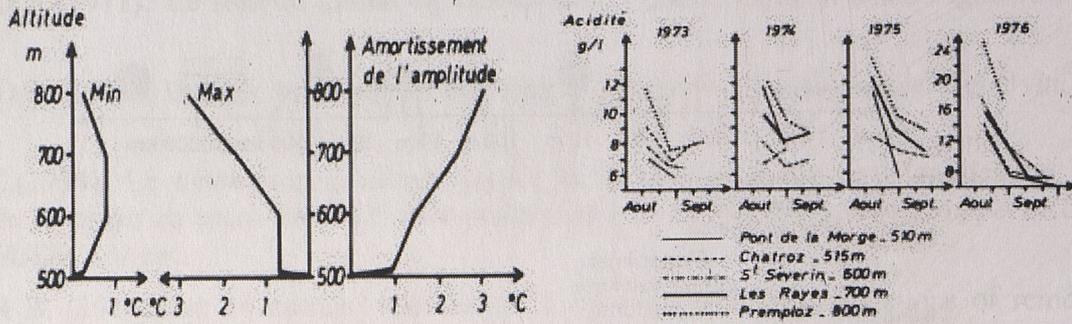


Figure 3 : Influence de l'altitude sur les températures (a) et l'acidité de raisin (b) dans la vallée du Rhône en Suisse (d'après Calane et al 1979)

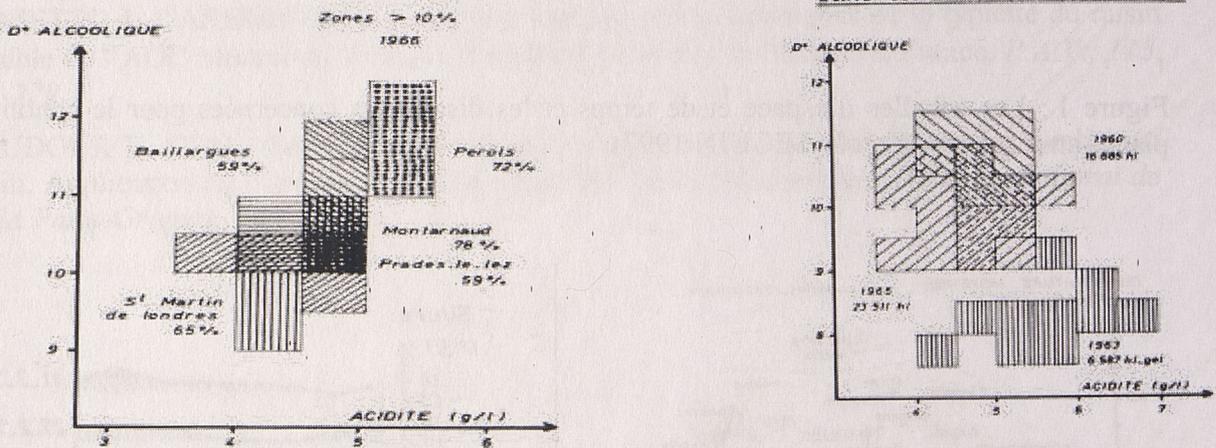


Figure 5 : Variabilités des cultures de qualité à l'échelle d'une petite région (a) et d'une coopérative (b), d'après Nigond (1971).

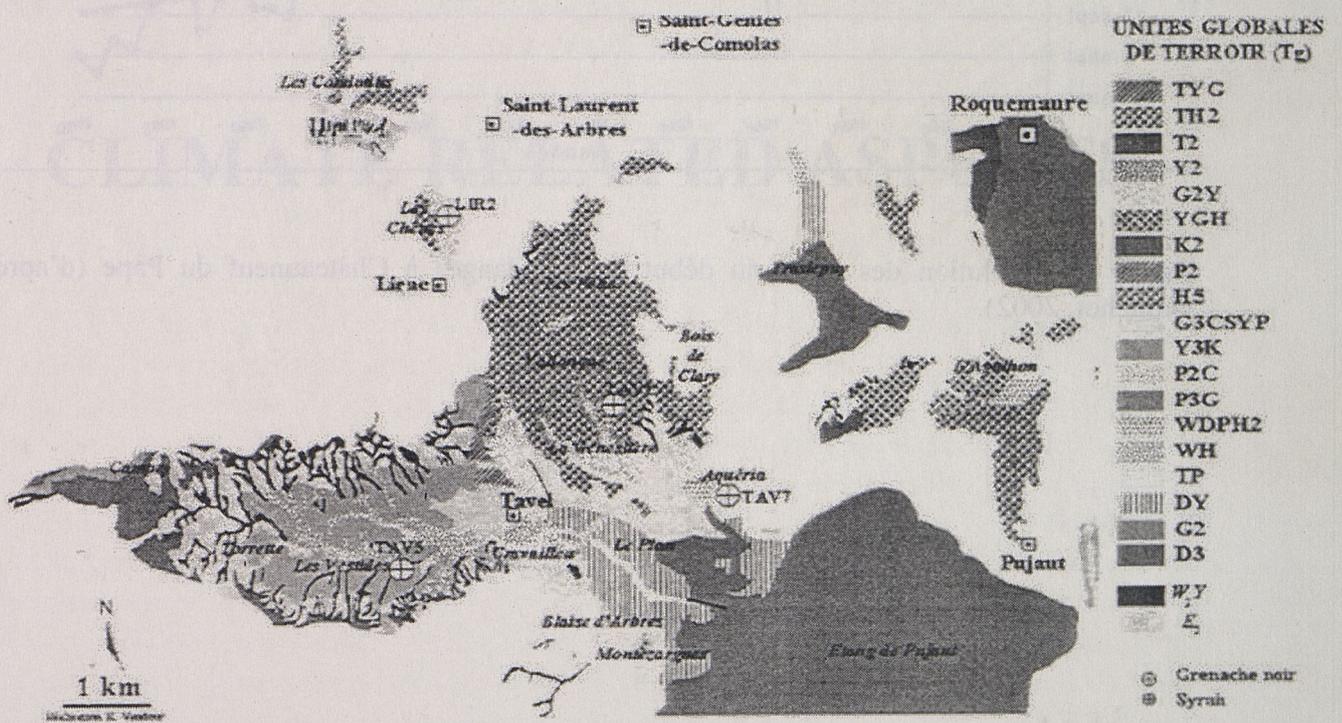


Figure 6: Image thermique du vignoble de Lirac-Tavel à partir du capteur ETM sur Landsat 7 (18/07/00) mis en relation avec les composantes du terroir (bas) identifiées par E. Vaudour (2001).

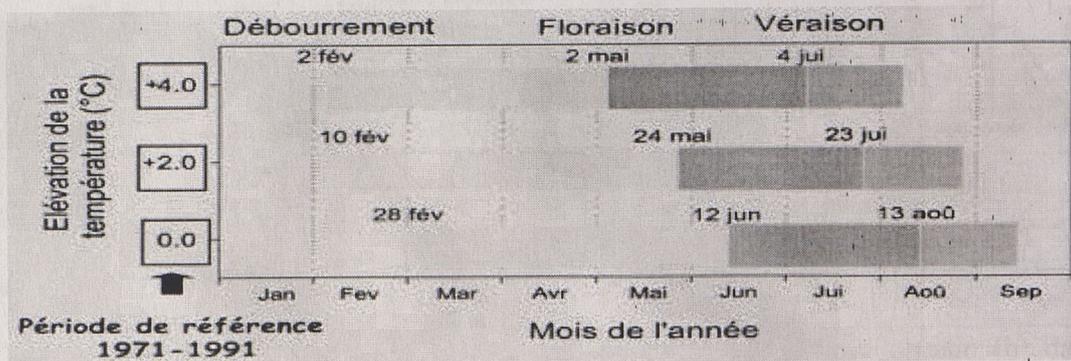


Figure 7 : Projection de l'évolution de la phénologie de la vigne (cépage Syrah) dans la région de Montpellier (d'après Lebon, 2002).

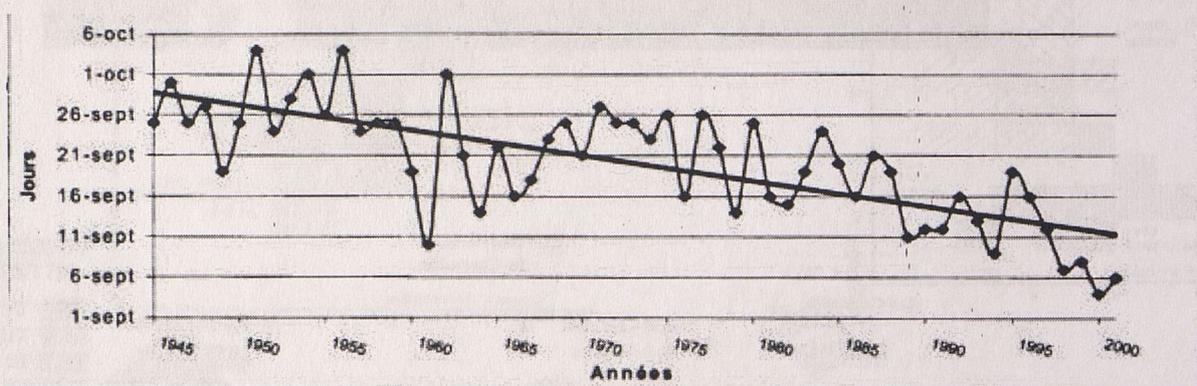


Figure 8 : Evolution des dates du début des vendanges à Châteauneuf du Pape (d'après Ganichot, 2002).