

Modélisation du régime thermique des sols de vignoble du Val de Loire : relations avec des variables utilisables pour la caractérisation des terroirs

P. CELLIER¹, A. JACQUET², P. BAUTRAIS², R. MORLAT², P. DELANCHY³

¹ INRA Unité de Recherche en Bioclimatologie, Thiverval Grignon, France

² INRA Unité de Recherche sur la Vigne et le Vin, Angers, France

³ L.E.C.P. IUT, Angers, France

INTRODUCTION

La température a une influence déterminante sur la croissance et le développement des plantes (Carbonneau *et al.*, 1992). En particulier, dans le cas de la vigne, la température est une variable omniprésente dans les indices climatiques (Huglin, 1986). Pour des raisons de commodité, ces indices utilisent la température de l'air mesurée sous abri dans une station météorologique, en faisant l'hypothèse implicite d'une concordance entre cette température et celle des sites de perception du stimulus thermique par la plante. Cependant, le développement peut dépendre plus de la température du sol que de celle de l'air (Kliewer, 1975). Morlat (1989) a ainsi vérifié que la variabilité de précocité de la vigne, corrélée positivement à la qualité de la vendange et du vin dans le Val de Loire, s'expliquait principalement par des différences de température des zones racinaires.

Dans des contextes climatiques identiques, les différences de températures du sol peuvent résulter de différences de couverture, de nature ou de couleur du sol, de travail du sol ou de variations microclimatiques locales. Le présent travail cherche à caractériser les régimes thermiques de différents sols de vignobles soumis aux mêmes techniques culturales dans une même région climatique. L'objectif à terme d'une telle approche est de trouver des indices suffisamment fiables permettant d'introduire la notion de régime thermique du sol dans le cadre de la cartographie des zones de vignoble à partir de quelques paramètres physiques simples des terroirs.

MATERIEL ET METHODES

Sites expérimentaux

Les parcelles expérimentales utilisées font partie d'un réseau de suivi de la vigne, intégrant la variabilité géologique, pédologique et climatique des vignobles du Val de Loire (France) (Morlat, 1989). Elles se trouvent dans le vignoble de Saumur-Champigny, Bourgueil et Chinon, toutes dans un rayon de 25 km. Neuf parcelles ont été sélectionnées dans différentes conditions représentatives des sols de ce vignoble. Leurs principales caractéristiques sont présentées dans le tableau 1. Les pentes, altitudes et orientations n'ont pas été retenues en raison de leur trop faible variation entre sites.

Les textures couvrent bien la gamme des sols de la région. On notera l'éventail des teneurs en sable (de 22,7 % à 89,7 %) et en argile (de 2,8 à 32,7 %), avec une bonne répartition des valeurs entre les extrêmes. Il en résulte une large gamme d'humidités (la teneur en eau à pF3 varie de 7,1 à 39,7 %) et de masses volumiques apparentes (de 1,1 à 1,7). La forte proportion des sols sableux est en partie caractéristique des vignobles de la Moyenne Vallée de la Loire, décrivant des formations géologiques sédimentaires.

Des mesures d'albédo ont été réalisées sur l'ensemble des parcelles lors de belles journées, la surface du sol étant sèche, état du sol le plus fréquent lors de la période expérimentale.

La variabilité biologique a été minimisée en choisissant un seul cépage (Cabernet franc) sur un seul porte-greffe (SO4) dans toutes les parcelles, et en y appliquant les mêmes techniques culturales aux mêmes dates. On peut donc raisonnablement penser que les variations observées, tant au niveau de la plante que de la vendange et du vin, résultent uniquement de différences microclimatiques, géologiques et pédologiques.

Tableau 1. Principales caractéristiques des sols des parcelles expérimentales. Les valeurs sont des moyennes calculées sur un mètre de profondeur à l'exception de la teneur en éléments grossiers (diamètre supérieur à 2 mm) qui a été estimée sur le premier horizon pédologique

Site	Teneur en			Eléments grossiers (%)	Masse volumique (kg/dm ³)	Teneur en eau à pF3,0 (%vol.)	albédo (%)
	sable (%)	limon (%)	argile (%)				
1CHA	79,4	11,0	9,5	25,0	1,6	10,8	22
1DAM	61,3	20,3	18,7	7,0	1,4	25,4	21
1FON	89,7	7,0	2,8	31,0	1,7	10,2	24
1GAR	68,6	22,4	8,9	5,0	1,4	18,7	/
1PER	41,7	26,5	32,7	9,3	1,4	27,7	23
1TUR	32,8	37,3	29,9	11,0	1,5	29,0	21
1VAU	22,7	48,7	28,5	63,5	1,1	39,7	24
3EL	83,3	11,8	5,7	1,0	1,5	7,1	25
4EL	55,6	21,6	22,8	2,5	1,7	25,3	26

Données météorologiques

Elles ont été relevées de février à octobre 1988. Sur chaque parcelle, à l'exception d'1PER, la température était mesurée dans un abri météorologique normalisé, et la vitesse du vent déterminée avec un anémomètre à coupelles. Les mesures étaient faites avec une centrale de données ENERCO 404 (CIMEL, Paris, France) qui calculait des moyennes horaires. On effectuait également des mesures hebdomadaires de rayonnement, à l'aide d'un pyranomètre, et de pluviométrie. La précision est de 0,2 °C pour la température, et de 3 % pour le rayonnement.

Températures du sol

Les mesures de températures du sol ont été effectuées au moyen de thermo-résistances enfoncées horizontalement dans le sol à partir d'une fosse. Elles ont été installées en 1984, et le comblement de la fosse a été réalisé en respectant la succession des horizons. Des sondes ont été placées, d'une part au centre de l'interligne aux profondeurs fixes de 5 et 100 cm sur toutes les parcelles, et d'autre part entre ces deux profondeurs à des profondeurs variables correspondant au centre des horizons pédologiques.

RESULTATS

Comme nous cherchons à caractériser le comportement thermique des sols à l'échelle de la saison, nous nous intéresserons par la suite principalement à la variation de température du sol à 1 m de profondeur, qui devrait traduire le comportement global du sol. Sur la figure 1 sont portées les évolutions des températures moyennes hebdomadaires du sol à 1 m de profondeur, pour trois sols couvrant la gamme de comportement thermique des sols de ce réseau expérimental. La température est minimale à la 9^{ème} semaine, et les écarts sont inférieurs à 1 °C entre les trois sites. Au cours du réchauffement printanier, divers comportements s'expriment. Le site 1FON est toujours plus chaud, et 1VAU toujours plus froid. Les écarts atteignent presque 4 °C à la 25^{ème} semaine (juin). Les 9 sites expérimentaux sont compris entre ces extrêmes, mais leur comportement est variable. La plupart suivent une progression parallèle et intermédiaire entre 1FON et 1VAU. Par contre, 4EL (non représenté sur la figure 1) est plus proche de 1VAU en hiver, mais se réchauffe plus rapidement et se rapproche progressivement de 1FON. A l'inverse, 1PER fait partie des sols chauds en hiver et froids en été. En surface, on observe le même comportement avec des températures proches en hiver et des écarts qui se creusent lors du réchauffement.

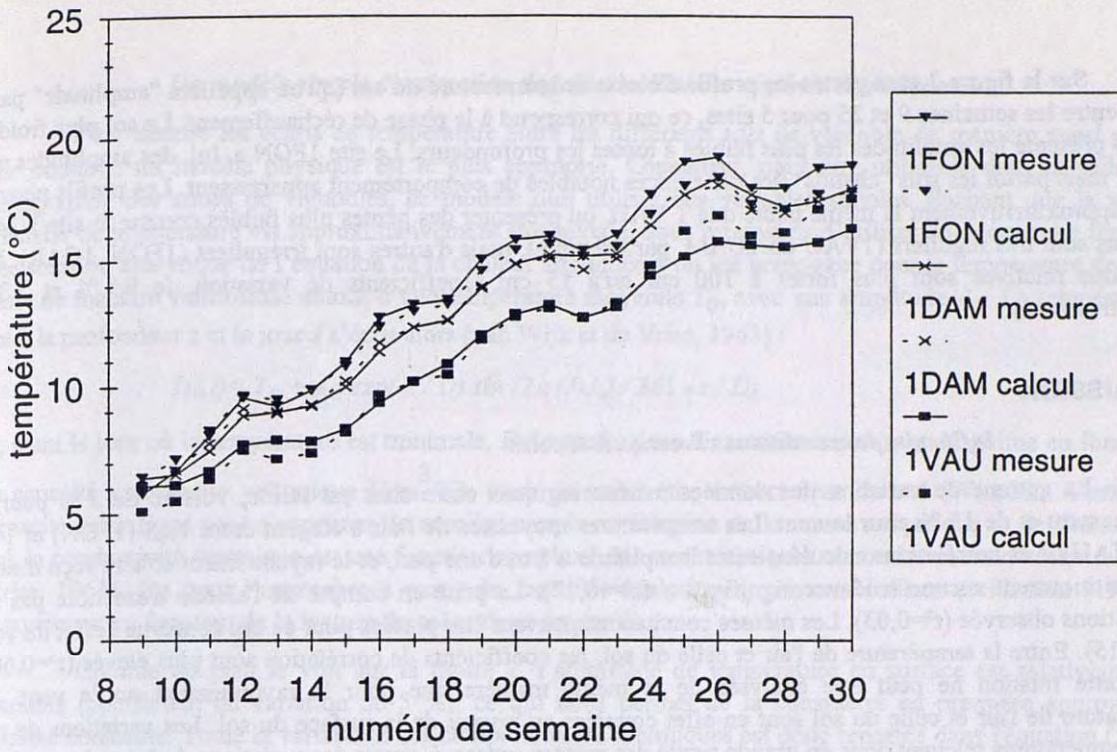


Figure 1: Evolution des températures moyennes hebdomadaires du sol à 1 m de profondeur du 19/02/88 au 10/10/88 pour 3 sites expérimentaux

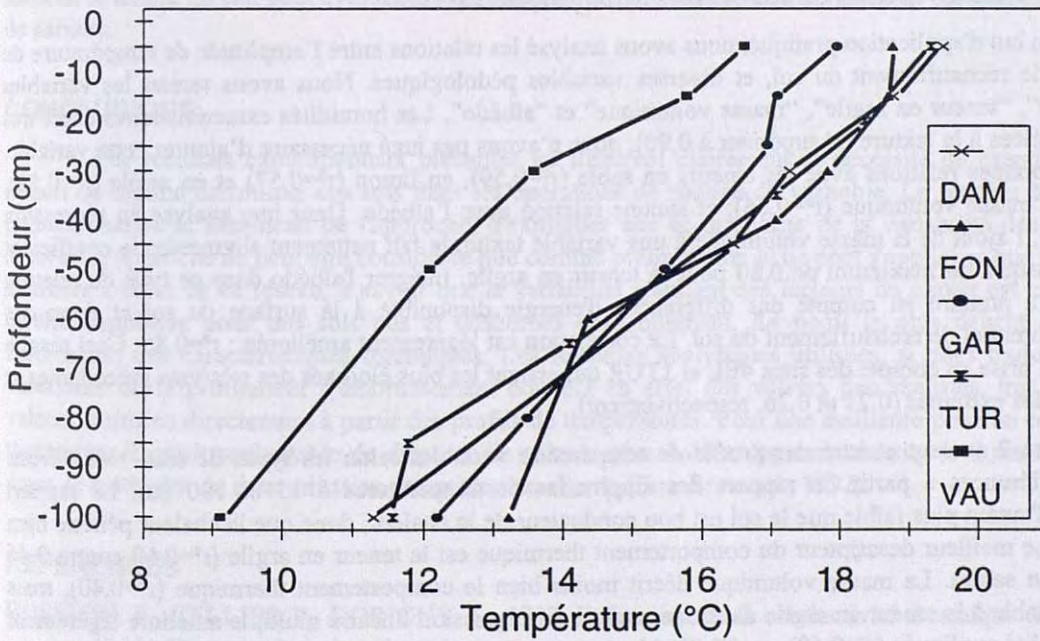


Figure 2: Profil des écarts de température moyenne du sol de 0.05 à 1.00 m de profondeur entre la 25ème et la 9ème semaine

Sur la figure 2 sont portés les profils d'écart de température du sol (qu'on appellera "amplitude" par la suite) entre les semaines 9 et 25 pour 5 sites, ce qui correspond à la phase de réchauffement. Le sol plus froid de 1VAU présente les amplitudes les plus faibles à toutes les profondeurs. Le site 1FON a, lui, des amplitudes plus fortes, mais parmi les sols "chauds" des différences notables de comportement apparaissent. Les profils peuvent avoir approximativement la même pente que 1 VAU, ou présenter des pentes plus faibles comme le site 1GAR. Certains sont très réguliers (1VAU ou 1DAM, par exemple), mais d'autres sont irréguliers (1FON, 1GAR). Les variations relatives sont plus fortes à 100 cm qu'à 15 cm (coefficients de variation de 9,5 % et 5,3 % respectivement).

DISCUSSION

Influence des conditions climatiques locales

La gamme de variation des données météorologiques entre sites est faible, voisine de 2 % pour le rayonnement et de 15 % pour le vent. Les températures moyennes de l'air s'étagent entre 13,5 (1FON) et 14,0 °C (1VAU). Les corrélations calculées entre l'amplitude à 1 m d'une part, et le rayonnement solaire reçu d'autre part, ne montrent aucune tendance significative ($r^2 = 0,17$). La prise en compte de l'albédo n'améliore pas les corrélations observées ($r^2 = 0,03$). Les mêmes conclusions peuvent être portées pour ce qui concerne l'effet du vent ($r^2 = 0,15$). Entre la température de l'air et celle du sol, les coefficients de corrélation sont plus élevés ($r^2 = 0,60$), mais cette relation ne peut être analysée de la même manière que pour le rayonnement ou le vent. La température de l'air et celle du sol sont en effet couplées au niveau de la surface du sol. Les variations de ces deux températures relèvent donc en grande partie des mêmes causes, à savoir des variations du bilan énergétique de la surface, plutôt que de relations de cause à effet. La relation avec l'altitude est, par contre, beaucoup plus forte. La corrélation est équivalente pour les températures de l'air et du sol à 1 m de profondeur ($r^2 = 0,79$ et $0,73$ respectivement) mais les pentes sont plus fortes pour la température du sol ($-0,033$ K/m) que pour la température de l'air ($-0,006$ K/m), ce qui indique une autre source de variation. Si l'on analyse les relations entre l'altitude et des caractéristiques pédologiques telles que la texture ou la densité, on observe des relations (r^2 voisins de 0,50), qui résultent vraisemblablement de l'organisation des couches géologiques sédimentaires sur lesquelles se sont formés ces sols.

Relation avec les caractéristiques agronomiques des sols

Dans un but d'application pratique, nous avons analysé les relations entre l'amplitude de température du sol, qui traduit le réchauffement du sol, et diverses variables pédologiques. Nous avons retenu les variables "teneur en sable", "teneur en argile", "masse volumique" et "albédo". Les humidités caractéristiques étant très étroitement corrélées à la texture (r^2 supérieur à 0,90), nous n'avons pas jugé nécessaire d'ajouter cette variable. On observe de bonnes relations avec les teneurs en sable ($r^2 = 0,59$), en limon ($r^2 = 0,57$) et en argile ($r^2 = 0,51$), ainsi qu'avec la masse volumique ($r^2 = 0,66$), et aucune relation avec l'albédo. Dans une analyse en régression linéaire multiple, l'ajout de la masse volumique à une variable texturale fait nettement augmenter le coefficient de corrélation jusqu'à un maximum de 0,80 pour la teneur en argile. Intégrer l'albédo dans ce type de relation linéaire revient à prendre en compte des différences d'énergie disponible à la surface du sol et donc des différences de potentiel de réchauffement du sol. La corrélation est légèrement améliorée : $r^2 = 0,85$. Ceci résulte notamment de la prise en compte des sites 4EL et 1TUR qui étaient les plus éloignés des relations précédentes et qui ont des albédos extrêmes (0,21 et 0,26, respectivement).

La figure 2 avaient montré des profils de température variables selon les types de sols. Nous avons exprimé ces différences à partir du rapport des amplitudes de températures à 15 et 100 cm. Le rapport d'amplitude est d'autant plus faible que le sol est bon conducteur de la chaleur, donc que la chaleur pénètre bien en profondeur. Le meilleur descripteur du comportement thermique est la teneur en argile ($r^2 = 0,60$ contre 0,46 pour la teneur en sable). La masse volumique décrit moins bien le comportement thermique ($r^2 = 0,40$), mais ajouter cette variable à la teneur en argile dans une analyse en régression linéaire multiple améliore légèrement la part de variabilité expliquée ($r^2 = 0,68$).

Ce type d'analyse ne permet cependant pas de savoir si c'est directement la texture qui s'exprime ici (à humidité volumique égale, un sol sableux est meilleur conducteur qu'un sol argileux ou limoneux (de Vries, 1963)) ou plutôt l'effet de la texture sur l'humidité du sol.

Un modèle simple d'estimation de la variabilité des régimes thermiques

Pour décrire les écarts de température entre les différents sols de vignoble de manière aussi générale que possible, un modèle physique est le plus approprié. Cependant, pour être utilisable dans le cadre de la cartographie des zones de vignobles, ce modèle doit utiliser des variables simples. Sachant que la variation annuelle de température est approximativement sinusoïdale, nous proposons d'utiliser une démarche fondée sur une solution analytique de l'équation de la chaleur appliquée à un sol homogène dont la température de surface varie de manière sinusoïdale autour d'une température moyenne T_0 , avec une amplitude A_0 . La température du sol à la profondeur z et le jour J s'écrit alors (van Wijk et de Vries, 1963) :

$$T(z,t) = T_0 + A_0 \exp(-z/D) \sin(2\pi(J-J_0)/365 - z/D) \quad (1)$$

J_0 étant le jour où la température est minimale. D , la profondeur d'amortissement (m), s'exprime en fonction de la capacité calorifique volumique ($J/m^3/K$), et de la conductivité thermique du sol ($W/m/K$). Alors que la capacité calorifique peut s'exprimer de manière simple en fonction de la masse volumique et de l'humidité du sol, la conductivité thermique est une fonction complexe des caractéristiques texturales et structurales du sol (de Vries, 1963). On peut l'approcher à partir de formules analytiques, comme Noilhan et Planton (1989) qui l'expriment en fonction de la texture du sol et de sa teneur en eau.

Comme on peut le voir sur la figure 2, l'amplitude de température en surface est relativement peu variable (coefficient de variation de 5 %), ce qui nous permet de la considérer en première approximation comme constante. Toute la variabilité des comportements thermiques est donc reportée dans l'équation (1) sur la profondeur d'amortissement. Pour chaque sol, nous avons déterminé la profondeur d'amortissement à la capacité au champ à l'aide des relations proposées par Noilhan et Planton (1989). Avec l'équation (1), nous avons ensuite calculé l'écart de température entre un sol "moyen" (D égale à la moyenne des profondeurs d'amortissement des sols des parcelles expérimentales) et chaque sol tout au long de la période expérimentale. La profondeur d'amortissement de 1VAU a été diminuée pour tenir compte de la forte proportion de cailloux spongiformes très peu denses. Les résultats, donnés par les courbes en tirets de la figure 1, montrent une très bonne adéquation entre mesure et modèle pour les sols de 1DAM qui est proche de la moyenne des sols, et 1VAU jusqu'à la 24^{ème} semaine. Ils sont moins bons pour 1FON, en particulier en fin de période. Ceci pourrait résulter d'une mauvaise prise en compte du régime hydrique (on suppose le sol toujours à la capacité au champ, alors que dans ce sol très sableux la teneur en eau peut évoluer rapidement), ou de l'hypothèse de constance de l'amplitude de température de surface.

CONCLUSIONS

Les résultats expérimentaux présentés ici illustrent clairement la nécessité de prendre en compte la notion de régime thermique des sols dans les opérations de zonage du vignoble. Le modèle physique proposé permet, malgré la simplicité de l'approche, d'expliquer une bonne partie de la variabilité des comportements. Mais cette approche ne peut être considérée que comme préliminaire, et ne peut s'appliquer que dans un contexte similaire à celui de ce réseau, à savoir que la variabilité résultant des facteurs du climat est peu importante et qu'elle s'applique pour des sols nus et désherbés chimiquement. Le point le plus délicat est certainement l'estimation des caractéristiques thermiques. Les formules analytiques utilisées, si elles traduisent bien ici la variabilité de la profondeur d'amortissement donnent en effet des valeurs peu réalistes, très supérieures aux valeurs estimées directement à partir des profils de températures. Pour une meilleure prise en compte du régime thermique, il serait souhaitable de disposer de valeurs plus fiables des caractéristiques thermiques des sols, et donc de méthodes de détermination utilisables au champ (Bussière *et al.*, 1992).

REFERENCES

- BUSSIÈRE F., CELLIER P., DORIGNY A., 1992. Estimation de la conductivité thermique d'un sol *in situ*, à l'aide d'une sonde à choc thermique. *Agronomie*, 12, 69-78.
- CARBONNEAU A., RIOU C., GUYON D., RIOM J., SCHNEIDER C., 1992. Agrométéorologie de la vigne en France. Office des publications officielles des Communautés Européennes, Luxembourg, 168 p.
- HUGLIN P., 1986. *Biologie et écologie de la vigne*. Payot Lausanne (Ed.), Paris, 372 p.
- KLIEWER W.M., 1975. Effect of root temperature on budbreak, shoot growth and fruits of Cabernet Sauvignon. *Amer. J. Enol. Vitic.*, 22, 172-177.

- MORLAT R., 1989. *Le terroir viticole : contribution à l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins. Applications aux vignobles rouges de la moyenne vallée de la Loire.* Thèse d'Etat, Université de Bordeaux II, 289 p. + annexes.
- NOILHAN J., PLANTON S., 1989. A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Monthly Weather Rev.*, 117, 536-549.
- DE VRIES D.A., 1963. Thermal properties of soils. In : Van Wijk (Editor), *Physics of Plant Environment*. North-Holland, Amsterdam, 210-235.
- VAN WIJK W.R., DE VRIES D.A., 1963. Periodic temperature variations in a homogeneous soil. In : Van Wijk (Editor), *Physics of Plant Environment*. North-Holland, Amsterdam, 102-143.