

**MODÉLISATION DE PARAMÈTRES MICROCLIMATIQUES POUR  
LA CARACTÉRISATION DES TERROIRS VITICOLES DU CANTON  
DE VAUD (SUISSE)**

**MODELISATION OF THE MICROCLIMATICAL PARAMETERS FOR  
THE VITICULTURAL "TERROIRS" CHARACTERIZATION OF  
"CANTON DE VAUD" (SWITZERLAND)**

K. PYTHOUD et R. CALOZ

Faculté de l'Environnement naturel, architectural et construit

Laboratoire de Systèmes d'information géographique (LASIG)

Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

CH - 1015 Lausanne

Tel. : +41 21 693 57 85 ; télécopieur : +41 21 693 57 90

Karine.Pythoud@epfl.ch

**Mots clés :** Modélisation, microclimat, terroirs, gradient thermique, pluviométrie.

**Key words :** Modelisation, microclimate, terroirs, thermal gradient, pluviometry

**RESUME**

Dans le cadre d'une recherche sur les terroirs viticoles du canton de Vaud – Suisse, un modèle du microclimat intégrant température, relief, éclaircissement et pluviométrie a été conçu. L'objectif est d'établir un zonage du microclimat pour mieux comprendre les corrélations existantes entre le comportement agronomique de la vigne, les caractéristiques des sols et les variables microclimatiques. L'approche adoptée utilise notamment un modèle numérique d'altitude de 25m de résolution, le MNA 25 de l'Office fédéral de topographie.

Le gradient thermique est déduit de l'éclaircissement, de l'estimation de l'effet du vent et d'un modèle empirique de la répartition thermique altitudinale. L'enseillement est calculé à l'aide d'un modèle de rayonnement intégrant l'effet du relief environnant et la hauteur du soleil sur l'horizon durant la période considérée. Quant à l'effet du vent, il est estimé par la configuration du relief et les directions principales fournies par une cartographie régionale.

La comparaison finale avec la carte de niveaux thermiques du canton de Vaud, établie sur la base de relevés phénologiques de cultures représentatives [SCHREIBER, 1968], permet d'ajuster le modèle du microclimat. La répartition pluviométrique provient d'une régionalisation des informations collectées dans les stations de mesure du réseau Météosuisse.



Le zonage microclimatique définitif est une combinaison pondérée des variables citées. Sa valeur est davantage d'ordre qualitatif que quantitatif. Il offre, cependant, une base comparative entre les différentes régions concernées. Finalement, la caractérisation des terroirs réunit le zonage microclimatique, les unités pédologiques et les résultats de l'étude agronomique.

## ABSTRACT

As part of a research on the viticultural terroirs of "Canton de Vaud" – Switzerland, a microclimatic model integrating temperature, relief, illumination and pluviometry was built. The objective is to make microclimate zoning in order to better understand the correlations between the agronomical behaviour of the vineyard, the soils characterization and the microclimatic variables. The adopted approach uses a digital elevation model with a resolution of 25 meters, the DEM25 of the Federal Office of Topography.

The thermal gradient is deduced from illumination, wind effect estimations and an empirical model of thermal altitudinal distribution. The illumination is calculated with a radiation model that integrates the effects of the surrounding relief (slope, aspect and casted shadow) and the sun height above the horizon during a specific period. The relief shape and the principal wind directions based on a regional cartography allowed to estimate the wind effect.

The achieved results are adapted to measurement stations data. Finally, a comparison with the map of thermal levels of "canton de Vaud", determined on the basis of a phenological survey of representative cultures [SCHREIBER, 1968], allows to adjust the microclimate model. The rainfall distribution is the result of a data regionalization coming from the Meteosuisse station networks.

The final microclimatic zoning is a weighting of the above mentioned variables. Its value is more qualitative than quantitative. It offers however a comparison basis between the different regions concerned by the study. Finally, terroirs characterization combines microclimatic zoning, pedological unities and agronomical study results.

## INTRODUCTION

La nouvelle politique « agriculture 2002 » qui impose au monde vitivinicole de nouvelles restructurations et l'ouverture des frontières aux vins étrangers crée une situation de forte concurrence sur la distribution et le prix des vins suisses. La mise en valeur des terroirs et des appellations est un moyen pertinent pour améliorer la compétitivité notamment des vins vaudois. L'étude vise à caractériser les conditions climatiques, géologiques et pédologiques de différentes situations du vignoble, étudier le comportement agronomique et physiologique de la vigne et déterminer des zones homogènes de production par une cartographie des terroirs. Le volet climatique développé ci-après s'insère dans ce cadre. Une brève définition de la notion de microclimat utilisée précède la description des méthodes d'estimation de l'éclairement, de la température et de l'exposition au vent qui conduisent à l'estimation de l'indice microclimatique. Les résultats sont discutés en dernier lieu.



## LE MICROCLIMAT ET SES COMPOSANTES

Le modèle du microclimat utilisé se réfère à un indice thermique résultant d'une combinaison du gradient altitudinal théorique, de l'effet du vent (exposition aux courants locaux) et de l'ensoleillement (radiation solaire). La pluviométrie jouant un rôle parallèle et complémentaire n'est pas intégrée à l'indice. Jusqu'à présent, celui-ci était estimé de manière grossière par la graduation thermique du canton présentée par SCHREIBER (SCHREIBER, 1968) à l'échelle 1 : 100.000 résultant d'une cartographie des situations phénologiques au cours de quelques périodes de végétation. Cette référence est sans doute significative du point de vue temporel, mais trop générale pour évaluer le microclimat à l'échelle de quelques parcelles. Il est donc nécessaire de faire intervenir des informations à plus grande échelle. La carte thermique de SCHREIBER interviendra dans notre démarche pour calculer les poids respectifs des trois facteurs retenus. Les paramètres théoriques et constitutifs du microclimat sont dérivés du modèle numérique d'altitude (MNA25) de 25 m de résolution, distribué par l'Office fédéral de topographie. Son exploitation est détaillée dans les sections suivantes.

Les données pluviométriques proviennent des stations de mesure du réseau Météosuisse. Il fournit des données météorologiques depuis plus d'un siècle pour certaines d'entre elles.

La figure 1 schématise la démarche suivie pour la modélisation des paramètres microclimatiques représentatifs des conditions climatiques de la Suisse. Chaque étape est ensuite détaillée pour rendre explicites les hypothèses et modes d'estimation de chaque paramètre. Notons que l'indice d'aptitudes thermiques correspond à la combinaison de trois facteurs retenus: le gradient thermique théorique, la radiation potentielle et l'exposition aux courants locaux.

### *L'ensoleillement ou énergie solaire reçue*

Du point de vue des potentialités climatiques, l'ensoleillement est un des paramètres important de la définition d'entités microclimatiques homogènes. Sa quantification indicative sera déduite indirectement de la radiation globale potentielle. A l'échelle du globe, le gradient latitudinal de l'insolation provient de la géométrie de la rotation de la terre autour du soleil. A l'échelle du paysage, la topographie est le facteur déterminant dans la distribution de l'ensoleillement. La variabilité altitudinale, l'orientation des surfaces (pente et orientation) et l'ombre projetée par le relief engendrent des variabilités locales de l'insolation.

Le territoire suisse comporte plusieurs stations de mesure de la radiation solaire, la plupart du temps couplées à des stations météorologiques. Ces données de radiation solaire, représentatives des conditions locales des stations, sont fournies depuis 1978. L'extrapolation des valeurs à l'ensemble du territoire n'est pas envisageable sans tenir compte des conditions topographiques et géomorphologiques locales. Les modèles de calcul de la radiation solaire représentent les seules solutions susceptibles d'intégrer plus précisément la variation temporelle et spatiale de l'ensoleillement à l'échelle du paysage.

Le modèle utilisé, exploité par le logiciel *Solar Analyst*, est du type dit « area-based models ». Il calcule l'ensoleillement pour une région donnée à partir d'un modèle numérique de terrain. Il fournit les cartes de la radiation globale, directe et diffuse exprimée en joules par m<sup>2</sup> pour n'importe quelle durée (instantanée, journalière mensuelle,...). Le seul paramètre nécessaire à connaître, outre le modèle numérique de terrain, est la latitude moyenne de la zone géographique. D'autres paramètres peuvent être modifiés pour des conditions particulières de calcul. Les valeurs standards ont été conservées, compte-tenu de l'échelle de calcul considérée. Les périodes d'intégration de l'énergie ont été choisies compte-tenu des contraintes viticoles. Elles devaient être suffisamment restreintes pour que les comparaisons



soient pertinentes. On est parti du principe que l'éclairement potentiel aux alentours des dates critiques était déterminant dans le développement physiologique de la vigne. Les périodes définies sont du 5 au 25 avril (période influençant la précocité du débourrement), du 5 au 25 juin (période de la floraison), du 1 au 20 août (période de la véraison) et du 1 au 30 septembre (période de maturation du raisin).

La figure 2 donne une représentation graphique résultant du modèle *Solar Analyst*, sur un extrait du MNA25 dans la région de Bex (Chablais vaudois). La 1<sup>ère</sup> image correspond aux valeurs de radiation potentielle journalière, alors que la 2<sup>ème</sup> au nombre d'heures d'ensoleillement potentiel.

Les calculs réalisés ont permis de connaître pour chaque période considérée le rayonnement global potentiel indicatif pour l'ensemble des zones viticoles du canton de Vaud en Wh/m<sup>2</sup>, sans tenir compte de la couverture nuageuse.

### ***Le gradient thermique théorique***

Théoriquement, le gradient de température est une fonction affine du gradient altitudinal. En générale, la température relative dans nos régions diminue en moyenne de 0.6°C par 100 mètres de dénivelée. La température peut s'exprimer par l'équation suivante:

$$T = T_{lac} - 0.6 * (H - H_{lac})/100 \quad \text{où } H \text{ est l'altitude en mètres et } T_{lac} \text{ la température au niveau du lac, d'altitude } - H_{lac}$$

Le gradient thermique théorique est modélisé à l'aide du MNA. Du fait que le modèle microclimatique fonctionne avec des grandeurs normalisées entre 0 et 1, la même équation s'écrit alors:

$$T_{norm} = (H - H_{min})/(H_{lac} - H_{min}) \quad \text{où } H_{min} \text{ est l'altitude la plus faible du vignoble.}$$

La température normalisée est donc uniquement dépendante de l'altitude du point. Chaque maille est ainsi affectée d'une température relative directement proportionnelle à son altitude.

### ***Indice d'exposition au vent***

L'effet du vent sur les variables microclimatiques des parcelles est indéniable. La température des vignobles est étroitement dépendante de leur exposition aux courants locaux. Bien connus la plupart du temps des viticulteurs, ces phénomènes microclimatiques restent des paramètres complexes à quantifier. Les cartes d'Haeberli [1966-1970] établies en relevant la déformation de la couronne des arbres donnent une grandeur indicative des courants locaux (direction et intensité). L'échelle de restitution de ce document [≈ 1 : 3.000.000] n'est pas adaptée aux besoins du projet, elle a cependant l'avantage de définir les directions préférentielles des courants présents dans les vignes. La figure 3 donne un extrait de cette carte.

L'approche suivie pour la modélisation de l'exposition aux courants est celle de l'ombrage. Connaissant les directions préférentielles de courants données par la carte d'Haeberli, les zones soumises à l'action du vent sont modélisées grâce aux fonctions d'ombrages intégrées dans la plupart des logiciels d'analyse spatiale. Elles créent l'ombre d'un rayonnement solaire fictif qui agit sur le relief pour en faciliter sa représentation. Dans notre cas, il ne s'agit pas de rayonnement solaire, mais bien d'un courant défini par une direction horizontale (azimut) et un angle vertical. Un vent d'ouest sera représenté par l'azimut 270° et une inclinaison de 30° environ. Les résultats de deux tests effectués sur la région de Lavaux sont présentés sur la figure 4. Sur la base de la carte empirique de déformation de la couronne des arbres, les zones viticoles sont découpées en zones d'exposition homogène. Les directions préférentielles de chacune ont été transformées en paramètres caractérisant l'ombrage correspondant. Les grilles



résultantes ont ensuite été combinées pour l'ensemble du vignoble en vue de leur mise en valeur finale.

### ***Le gradient thermique mesuré***

Les mesures de température effectuées par K.-F. SCHREIBER entre 1962 et 1964 ont abouti à la création de la carte des niveaux thermiques du canton de Vaud. Elle fournit les niveaux thermiques relatifs et les possibilités d'exploitation agricole. Pour l'étage de la vigne, le découpage est fait en trois zones (assez chaud, chaud, très chaud). Bien que l'échelle de restitution au 1:100.000° soit peu adaptée à l'étude du microclimat, cette cartographie reste intéressante et sert de référence dans la modélisation des paramètres microclimatiques à plus grande échelle. La figure 5 présente un extrait de cette cartographie.

### ***Cartographie de l'indice d'aptitude thermique***

Chacun des paramètres précédemment modélisé est réduit à la zone du vignoble, à l'aide d'une extraction de grille sur la base de la délimitation des zones de vignes (données numériques cantonales), puis normalisé. Les valeurs extrêmes se retrouvent en effet fréquemment en dehors des zones viticoles, et cachent ainsi les écarts localisés, plus intéressants du point de vue de la caractérisation du vignoble. Les résultats finaux sont donc des grilles numériques limitées aux coteaux viticoles, dont la valeur des pixels varie entre 0 et 1. La carte de SCHREIBER est ensuite utilisée pour définir les facteurs de pondération de l'équation ci-dessous.

$$I \text{ thermique} = a * \text{Gradient thermique théorique} + b * \text{Rayonnement} + c * \text{Courants}$$

Les facteurs appropriés permettent de combiner les trois paramètres microclimatiques, et de fournir ainsi la grille résultante qui s'ajuste au mieux à la cartographie existante. Le zonage final recherché sera par la suite déduit par régionalisation de ladite grille.

### ***La pluviométrie***

La pluviométrie est le dernier paramètre important du point de vue climatique dans la définition d'unités terroir homogènes. Le réseau de Météosuisse fournit un nombre de mesures brutes très important. La Station Fédérale de Recherche en production végétale de Changins a synthétisé les données mensuelles moyennes sur 30 ans pour chaque station de la Suisse Romande. Les stations de mesures ont été référencées de manière à spatialiser l'information mensuelle. Les cartes des précipitations de la publication PRIMAULT (1978) montrent que l'extrapolation simple des précipitations tombées sur chacune des stations ne permet pas de fournir des indications précises sur la variabilité effective de la pluviométrie. Le relief a en effet une influence importante sur l'intensité et la hauteur des précipitations. Dans le cadre de l'étude, les stations d'intérêt, représentatives du vignoble, sont situées dans des zones climatiques comparables à faible altitude. La modélisation de la pluviométrie sur les reliefs environnants n'apporte aucun élément d'intérêt. La démarche utilisée s'appuie sur ce principe. L'interpolation des valeurs des stations pluviométriques à l'ensemble du vignoble peut dans ce cas avoir recours à des modèles relativement simples. Les stations pluviométriques trop éloignées géographiquement ou situées à des altitudes trop élevées ont été exclues du réseau pour le calcul. Un masque d'interpolation des valeurs englobant le vignoble a été défini, compte tenu du relief et des stations à proximité. L'interpolation entre les valeurs ponctuelles (précipitations mensuelles moyennes sur 30 ans) a été réalisée à l'aide de la méthode du plus proche voisin. Compte tenu des périodes limitantes de la vigne, la procédure a été appliquée mensuellement pour tous les mois entre avril et septembre.



Les données pluviométriques sont des variables indépendantes au même titre que les résultats de synthèse du gradient thermique. Le volet éco-physiologique de l'étude mettra ces résultats en valeur en fonction des besoins.

## DISCUSSION

Les variations microclimatiques, en grande partie responsables de conditions de culture particulières, restent difficiles à modéliser. L'approche utilisée ne permet pas d'intégrer les variations microclimatiques à l'échelle de la parcelle, mais apporte cependant un découpage relativement précis à l'échelle du vignoble. Le résultat obtenu reste relatif et très lié à la précision du modèle numérique MNA25.

La combinaison des différents paramètres normalisés aboutit au zonage recherché, nécessaire dans l'établissement de la cartographie des terroirs. Une comparaison avec les premiers résultats de l'étude écophysologique devrait par ailleurs mettre en évidence des corrélations entre le microclimat et le comportement agronomique de la vigne.

Concernant la répartition pluviométrique, le zonage montre une variabilité assez forte en particulier dans les zones proches du relief préalpin. Ces écarts ne semblent pas engendrer des comportements viticoles différenciés. Ils compensent l'absence de réserve utile dans les sols très caillouteux de cette région du canton.

Du point de vue climatique, la caractérisation des terroirs se basera à la fois sur l'indice thermique relatif et sur la répartition pluviométrique. Ces deux paramètres expliquent de manière indépendante des comportements viticoles particuliers, et ne doivent en aucun cas être combinés dans les conditions climatiques rencontrées en Suisse.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la CTI (Commission pour la Technique et l'Innovation) pour son soutien financier au présent projet.

## BIBLIOGRAPHIE

- BENICHOU P. et LE BRETON O. (1987). Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. *La Météorologie 7<sup>e</sup> série n°19*.
- CALAME F.(1993). Techniques culturales et microclimat de la vigne. *Revue suisse de viticulture, d'arboriculture et d'horticulture, vol.25 (5): p.281-287*.
- FABRE F., BREMOND L.-M., RODRIGUEZ-LOVELLE B., VAUDOUR E.. Etude des potentialités des terroirs viticoles. Une démarche globale en zone A.O.C. L'exemple des Côtes du Rhône. *Syndicat général des vignerons réunis des Côtes du Rhône*.
- FU P. ET RICH P.M. (1999). Design and implementation of the solar analyst: an arcview extension for modeling solar radiation at landscape scales. *Proceedings of the 19<sup>th</sup> annual ESRI Conference, San Diego, USA*.
- HAEBERLI R. (1971). Carte des dangers de gel tardifs printanier dans le canton de Vaud. *Cahier n°11 de l'aménagement régional du canton de Vaud*.
- HEMISOFT (2000). Solar Analyst User manual [ [www.hemisoft.com](http://www.hemisoft.com) ].
- HOPPMANN D. ET LÖHNERTZ O. (1999). "Terroir – Rheingau", An Objective Site Classification Of the Rheingau Area. German Weather service – Geisenheim and State Research Institute Geisenheim.



- INRA, (1996). Les terroirs viticoles. *Actes du 1<sup>er</sup> colloque international, Angers France*.
- LEGROS J.-P. (1996). Cartographie des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires. *Presses polytechniques et universitaires romandes*.
- METEOTEST (2000). Meteonorm software, Global meteorological database for solar energy and applied climatology. [ [www.meteotest.ch/products/meteonorm](http://www.meteotest.ch/products/meteonorm) ]
- MEYLAN P. (1986). Régionalisation de données entachées d'erreurs de mesure par kriegeage. Application à la pluviométrie. *Hydrologie continentale, vol.I, n°1, p.25-34*.
- OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE (1997). Le climat, Statistiques suisse de l'environnement n°7.
- PRIMAULT B. (1978). Etude méso-climatique du canton de Vaud *Cahier n°14 Aménagement du territoire du canton de Vaud*.
- PYTHOUD K., CALOZ R., 2002. Etude des terroirs viticoles du canton de Vaud-Suisse : Rapport provisoire d'avancement, Lausanne Suisse.
- SCHREIBER K.-F. (1968). Les conditions thermiques du canton de Vaud. *Cahier n°5 de l'aménagement régional du canton de Vaud*
- SCHWARZ R. (1997). Predicting wine quality from terrain characteristics by regression trees. *Cybergeo, n°35*.



Figure 1 : Démarche suivie pour l'établissement du modèle microclimatique

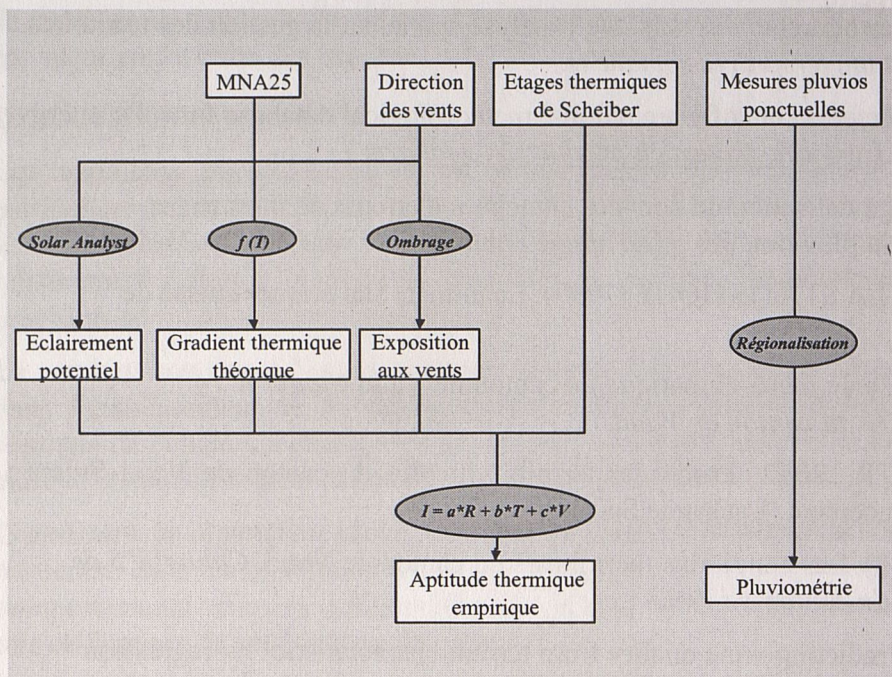
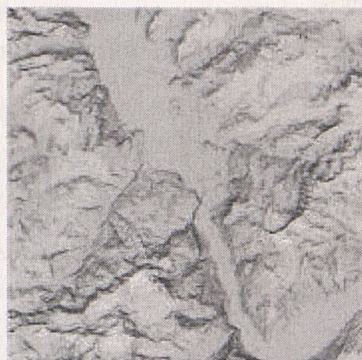


Figure 2: Radiation potentielle journalière et nombre d'heures d'ensoleillement journalier le 6 juillet

Radiation globale pour la région étendue de Bex [Wh/m<sup>2</sup>]



Durée d'ensoleillement journalier pour la région étendue de Bex [h/jour]





Figure 3: Extrait de la cartographie de la déformation de la couronne des arbres selon Haerberli.

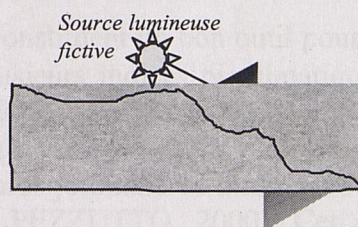


- Point d'observation sans aucune déformation.
- Les branches extérieures sur le côté opposé au vent se trouvent déformées. La déformation est à peine visible.
- Les branches moyennes sont aussi déformées.
- Les branches principales sont déformées, la couronne apparaît visiblement asymétrique.
- La couronne prend la forme d'un étendard, il y a moins de branches d'un côté que de l'autre.
- — — Limite (moyenne) de l'influence du Joran.

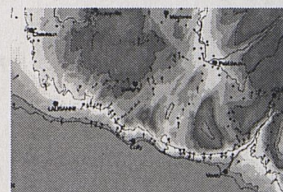
Figure 4: Modélisation des courants : Carte d'Haerberli et fonction d'ombrage

L'exposition aux courants locaux est un des facteurs déterminant le microclimat local: une vigne bien exposée au niveau rayonnement mûrit plus tardivement si elle est très exposée aux courants

**Méthodologie :**



- Mesure de la direction et de l'intensité des vents dans les stations météo: faible représentativité de l'ensemble du territoire.
- Utilisation de la carte établie par Haerberli (déformation des couronnes des arbres) comme donnée de base : comprend les directions régionales moyennes des courants locaux
- Le modèle adopté utilise le parallèle avec les fonctions d'ombrage des logiciels d'analyse spatiale.



Test pour Lavaux: zones exposées à un courant descendant



Le résultat ci-contre donne l'intensité d'exposition au vent de direction donnée par la flèche orange. Plus une zone est claire, plus elle est exposée au vent et inversement.



Figure 5: Extrait de la carte des niveaux thermiques selon Schreiber pour la région de Lavaux

