

# RÉGIME THERMIQUE EN PÉRIODE DE MATURATION DU RAISIN DANS LE GÉOCLIMAT VITICOLE

INDICE DE FRAICHEUR DES NUITS – IF ET AMPLITUDE THERMIQUE

## THERMAL CONDITIONS DURING THE GRAPE RIPENING PERIOD IN VITICULTURE GEOCLIMATE COOL NIGHT INDEX AND THERMAL AMPLITUDE

Jorge TONIETTO<sup>1</sup> et Alain CARBONNEAU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>EMBRAPA, Rua Livramento, 515 – 95700-000 Bento Gonçalves, Brésil, e-mail : tonietto@cnpuv.embrapa.br

<sup>2</sup>AGRO Montpellier, 2, Place P. Viala, 34060 Montpellier, Cedex 1, France, e-mail : carbonne@ensam.inra.fr

**Mots clés** : indice de fraîcheur des nuits, amplitude thermique, Système CCM Géoviticole, zonage, qualité.

**Key words** : cool night index, thermal amplitude, MCC System for World Viticulture, zoning, quality.

### RESUME

Le régime thermique en période de maturation du raisin est l'une des variables déterminantes de la coloration du raisin et de la richesse en arômes, anthocyanes et polyphénols des vins. L'objectif du travail est de caractériser le régime thermique, notamment la fraîcheur des nuits et l'amplitude thermique au cours de la maturation, au niveau du climat viticole mondial, sur une base des données de 100 régions viticoles dans 30 pays, obtenue par l'intermédiaire de l'Organisation Mondiale de la Météorologie - OMM. Plusieurs indices climatiques viticoles ont été calculés : l'Indice de Fraîcheur des Nuits – *IF* (°C), l'Indice Héliothermique de Huglin – *IH* (°C) et l'Indice de Sécheresse – *IS* (mm) du Système de Classification Climatique Multicritères Géoviticole, et l'amplitude thermique moyenne en août et septembre *Aa-s* (°C). Également, sur la période véraison-récolte – *v-r* (moyenne des 30 jours précédant la date de récolte, estimée sur la base d'un Indice Héliothermique de HUGLIN égal à 1.900 - approximatif pour la maturation du Cabernet-Sauvignon) : la fraîcheur des nuits (*FNv-r*), la température moyenne de l'air (*Tv-r*), la température maximale de l'air (*Txv-r*) et l'amplitude thermique (*Av-r*). Les résultats montrent que *IH* est corrélé avec *Tv-r* ( $r=0,79^{**}$ ) et avec *Txv-r* ( $r=0,80^{**}$ ). *IH* représente donc bien les conditions thermiques générales de la période de maturation en ce qui concerne la température moyenne et maximale de l'air. Mais *IH* n'est pas corrélé ni avec *Aa-s* ni avec *Av-r*. Par contre, *IF* est corrélé avec *Aa-s* ( $r=-0,70^{**}$ ) et *FNv-r* est corrélé avec *Av-r* ( $r=-0,69^{**}$ ). Cette corrélation doit justifier, en partie, l'usage assez courant de l'amplitude thermique comme indicateur de bonnes conditions thermiques de maturation pour les régions qui présentent des valeurs élevées. Mais ce raisonnement peut amener à des caractérisations erronées. Le travail met en évidence, également, l'importance de considérer le bilan hydrique des régions (*IS*) dans l'analyse du régime thermique sur la qualité du raisin. On peut conclure que pour avoir une bonne caractérisation du régime thermique en période de maturation il faut considérer la fraîcheur des nuits (*IF* étant un bon indicateur de *FNv-r* moyen des régions, avec un  $r=0,80^{**}$ ), caractérisation qui peut être améliorée avec l'information des températures maximales et de

l'amplitude thermique en période de maturation du raisin. Les éléments présentés peuvent servir à améliorer les indices climatiques pour estimer le potentiel qualitatif du raisin des différentes régions viticoles, notamment en complément de *IF*.

## ABSTRACT

The thermal conditions during the grape ripening period are important variables related to colour of the grapes, anthocyanins, polyphenols and flavour of the wine. The main purpose of this work was to characterise the thermal conditions, especially the night coolness and the thermal amplitude during maturation, in the geoclimate of the world vine culture. A database of 100 grape-growing regions of 30 countries obtained from the World Meteorology Organisation (WMO) was used. Some climatic indexes were calculated: Cool Night Index – *IF* (°C), Huglin's Heliothermal Index – *IH* (°C) and Dryness Index – *IS* (mm), from the Multicriteria Climatic Classification System for World Viticulture, and the thermal amplitude in August and September *Aa-s* (°C). Over véraison-harvest period – *v-r* (mean of the 30 days before harvesting date, estimated on the basis of HUGLIN Heliothermal Index equal to 1,900 – approximately value to ripen Cabernet-Sauvignon) similar indexes were obtained: the cool night (*FNv-r*), the mean air temperature (*Tv-r*), the maximal air temperature (*Txv-r*) and the thermal amplitude (*Av-r*). The results showed that *IH* is positively correlated with *Tv-r* ( $r=0.79^{**}$ ), *Txv-r* ( $r=0.80$ ) and *IF* ( $r=0.67^{**}$ ). Therefore, *IH* represents well the general thermal conditions during maturation period, specially concerning the mean and the maximal air temperature. However, *IH* was correlated neither with *Aa-s* nor to *Av-r*. *IF* was negatively correlated with *Aa-s* ( $r=-0.70^{**}$ ) and *FNv-r* was negatively correlated with *Av-r* ( $r=-0.69^{**}$ ). The correlation to some extent explains the current use of the thermal amplitude to predict good ripening thermal conditions for those regions that show high values. As here we have described, this thinking may give incorrect results. This work has also showed the importance to consider the water balance of the regions (*IS*) in the effect of the thermal conditions in grape quality. We conclude that the characterisation of the thermal conditions during the ripening period do need the cool night index (in this case, *IF* is a good index to provide the mean *FNv-r* of the regions,  $r=0,80^{**}$ ). Factors other than cool night which influence this characterisation are both maximal air temperature and thermal amplitude data. The elements presented in this work, in addition to *IF*, may improve the climatic indexes to be used to predict the qualitative potential of grapes from different regions.

## INTRODUCTION

Le régime thermique en période de maturation du raisin est l'une des variables déterminantes de la coloration du raisin et de la richesse en arômes, anthocyanes et polyphénols des vins.

Un ensemble de phénomènes accompagne la maturation du raisin, avec un important effet de la température sur ces différents composés (COOMBE, 1987 ; JACKSON et LOMBARD, 1993). COOMBE (1987) rapporte que la composition en polyphénols du raisin présente la même tendance que celle observée pour les anthocyanes par rapport à l'effet de la température. HUGLIN (1983), à propos des composés phénoliques, signale que les relations entre les facteurs chaleur et lumière et ces composés sont extrêmement complexes. WINKLER *et al.* (1974) avaient déjà observé l'effet positif des températures fraîches sur la coloration du raisin dans la région de Lodi - en Californie. La coloration des raisins rouges dépend de la température. Ils montrent que les températures trop basses ou trop élevées sont associées à une faible coloration. BONNARDOT (1999) fait référence

à l'importance des brises maritimes pour la réduction des températures de l'air en période de maturation du raisin comme facteur de qualité du vin dans la zone de Stellenbosch, en Afrique du Sud.

Mais il faut considérer non seulement l'aspect de la fraîcheur globale thermique pendant la période de maturation, mais tout particulièrement celle de la fraîcheur des nuits, mesurée par les températures minimales de l'air en période de maturation. Sur la fraîcheur des nuits, TOMANA *et al.* (1979) observent l'augmentation de la teneur en anthocyanes par des températures nocturnes plus fraîches sur le cépage Kyoho. L'effet des températures minimales a été aussi démontré par KLIEWER et TORRES (1972). La coloration du raisin Tokay a été très réduite, voire nulle avec des températures jour/nuits de 25 °/30 °C ; faible avec 25 °/25 °C et excellente avec 25 °/15 °C ou 25 °/20 °C. Selon CARBONNEAU *et al.* (1992), il apparaît que l'accumulation des anthocyanes dans les pellicules est favorisée par un état de stress hydrique modéré de la plante, par des températures diurnes relativement élevées mais sans excès, avec probablement une interaction positive avec des températures nocturnes fraîches.

HERNANDEZ et PSZCZOLKOWSKI (1986) rapportent que les conditions de fraîcheur en période de maturation sont fondamentales pour le développement des anthocyanes et pour la qualité du vin au Chili. FREGONI et PEZZUTTO (2000) proposent une approche bioclimatique thermique liée à la qualité du raisin. TONIETTO (1999) et TONIETTO et CARBONNEAU (2000) proposent des indices pour le Système de Classification Climatique Multicritères Géoviticole, avec l'inclusion d'un indice nycthermique – l'Indice de Fraîcheur des Nuits.

L'objectif du travail est de caractériser le régime thermique, notamment la fraîcheur des nuits et l'amplitude thermique, au niveau du climat viticole mondial.

## MATERIELS ET METHODES

### Base de Données Climatiques des Régions Viticoles au Niveau Mondial

On a utilisé une base de données climatiques des régions viticoles mondiales, obtenue avec le support de l'Organisation Météorologique Mondiale - O.M.M (TONIETTO, 1999). Les données correspondent aux moyennes interannuelles mensuelles des variables climatiques, sur la période généralement disponible 1961-1990 (température minimale, maximale et moyenne de l'air ; pluviométrie ; humidité relative de l'air ; vitesse moyenne du vent ; rayonnement solaire global et/ou durée d'insolation ; et évapotranspiration potentielle de Penman) d'un poste météorologique normalisé situé au sein d'une région viticole.

Nous avons retenu 100 régions de 30 pays pour l'étude climatique (voir TONIETTO, 1999 p.21). L'échantillon des régions viticoles est représentatif de la diversité climatique de la viticulture mondiale et les régions ont été choisies pour privilégier leur répartition géographique (sur les 5 continents du globe : 04° et 51° de latitude dans hémisphère nord et entre 06° et 45° de latitude dans l'hémisphère sud), et pour élargir la diversité des types de climats représentés (océanique, océanique chaud, tempéré de transition, continental, continental froid, méditerranéen, subtropical, subtropical continental, tropical atténué, climats arides et hyperarides et marges des climats arides - semi-arides ; classification d'après Peguy, 1970), et leur variabilité.

## Indices Climatiques Viticoles

Sur la base des données climatiques des régions viticoles au niveau mondial, plusieurs indices climatiques viticoles ont été calculés.

Indices calculés sur l'ensemble du cycle de la vigne :

### a) Indice de Sécheresse (*IS*)

Indice du "Système CCM Géoviticole", l'Indice de Sécheresse - *IS* est calculé sur une période de 6 mois (la même que pour le calcul de l'*IH*), selon TONIETTO et CARBONNEAU (2000). La formule est :

$$W = W_0 + P - T_v - E_s$$

avec,

- W = Estimation de la réserve hydrique du sol au terme d'une période donnée
- W<sub>0</sub> = Réserve hydrique initiale utile du sol, exploitable par les racines
- P = Pluie
- T<sub>v</sub> = Transpiration potentielle du vignoble
- E<sub>s</sub> = Evaporation directe à partir du sol

W peut être négatif (W non plafonné), mais ne peut pas dépasser W<sub>0</sub>. L'indice est calculé, mois par mois, à partir des valeurs mensuelles de P, ETP, T<sub>v</sub> et E<sub>s</sub>. Il est à noter que dans le calcul de T<sub>v</sub>, le coefficient k affecté à l'ETP est évolutif au cours du cycle végétatif. On appelle *IS* la valeur de W (en mm) obtenue au moment final en adoptant W<sub>0</sub> = 200 mm

### b) Indice Héliothermique - *IH*

Indice du "Système CCM Géoviticole" (TONIETTO et CARBONNEAU, 2000), l'Indice Héliothermique de HUGLIN - *IH* (HUGLIN, 1978) est calculé par la formule :

- Dans l'hémisphère nord

$$IH = \sum_{01.04}^{30.09} \frac{[(T - 10) + (T_x - 10)]}{2} \cdot k$$

dans la formule, T = température moyenne de l'air (°C),

T<sub>x</sub> = température maximale de l'air (°C),

K = coefficient longueur du jour, variant de 1,02 à 1,06 entre 40 et 50 degrés de latitude.

- Dans l'hémisphère sud, l'indice est également calculé sur la période de 6 mois allant du 1<sup>er</sup> octobre au 31 mars.

### c) Indice de Fraîcheur des Nuits (*IF*)

Indice du "Système CCM Géoviticole" (TONIETTO et CARBONNEAU, 2000), l'Indice de Fraîcheur des Nuits -  $IF$  se calcule ainsi (TONIETTO, 1999) :

- Dans l'hémisphère nord

$IF$  = Température minimale de l'air du mois de septembre  
(moyenne des minimales), en °C ;

- Dans l'hémisphère sud

$IF$  = Température minimale de l'air du mois de mars  
(moyenne des minimales), en °C.

NB : au niveau régional, un calage de la période de calcul de  $IF$  sur le cycle d'un cépage est généralement opéré.

d) Amplitude thermique août-septembre ( $Aa-s$ )

Cet indice correspond à l'amplitude thermique moyenne des mois d'août-septembre, dans l'hémisphère nord, et des mois de février-mars, dans l'hémisphère sud, en °C.

$Aa-s$  = Température maximale de l'air - Température minimale de l'air sur la période considérée

Indices calculés sur la période véraison-récolte :

Pour les différentes régions avec un  $IH$  égal ou supérieur à 1.900 (65 sur les 100 régions de la base de données), plusieurs indices climatiques ont été calculés sur la période véraison-récolte ( $v-r$ ). Pour l'étude, une période  $v-r$  théorique, a été établie pour les différentes régions, calculée sur la moyenne des 30 jours précédents à la date de récolte théorique ( $Dr$ ).  $Dr$  a été estimée pour un Indice Héliothermique de HUGLIN égal à 1.900 (approximatif pour la maturation du Cabernet Sauvignon) (HUGLIN, 1998).

a) Fraîcheur des Nuits ( $FNv-r$ )

$FNv-r$  = Température minimale moyenne de l'air sur la période  $v-r$ , en °C.

b) Température Moyenne de l'Air ( $Tv-r$ )

$Tv-r$  = Température moyenne de l'air sur la période  $v-r$ , en °C.

c) Température Maximale de l'Air ( $Txv-r$ )

$Txv-r$  = Température maximale de l'air sur la période  $v-r$ , en °C.

d) Amplitude Thermique ( $Av-r$ )

$Av-r$  = Température maximale de l'air - Température minimale de l'air, sur la période  $v-r$ , en °C.

## RESULTATS ET DISCUSSION

Sur les 100 régions de l'étude on observe une nette tendance globale à l'augmentation des valeurs d' $IF$  avec l'augmentation de celles d' $IH$  ( $r = 0,82$ ). Il existe néanmoins une très grande distinction en fonction des valeurs d' $IH$  et d' $IF$  selon les régions. Les résultats montrent, donc, que le potentiel héliothermique ( $IH$ ) n'est pas capable d'exprimer toute la variabilité thermique d'un milieu. Il existe

une variabilité climatique importante au niveau des conditions nycthermiques qui jouent sur la période de maturation du raisin, avec des implications qualitatives, ce qui justifie l'importance conjointe des ces 2 indices - *IH* et *IF* pour la caractérisation thermique des régions (TONIETTO, 1999).

Le Tableau 1 présente la matrice des corrélations pour l'ensemble des 9 indices climatiques calculés sur 65 des 100 régions étudiées, sur lesquelles *IH* est égal ou supérieur à 1900. Les résultats montrent que *IH* est corrélé avec  $T_{v-r}$  ( $r = 0,79^{**}$ ) et avec  $T_{xv-r}$  ( $r = 0,80^{**}$ ). *IH* représente donc bien les conditions thermiques générales de la période de maturation, au niveau des températures moyennes et maximales. Par contre, la corrélation entre *IH* et  $FN_{v-r}$  est de  $0,56^{**}$ , assez basse pour expliquer les conditions nycthermiques en période de maturation du raisin, ce qui confirme l'importance de l'indice nycthermique de maturation pour la caractérisation du régime thermique de la vigne.

En outre, *IH* n'est corrélé ni avec *Aa-s* ni avec *Av-r* et, de ce fait, ne peut pas donner une idée de ce qui se passe au niveau des amplitudes thermiques en période de maturation du raisin des différentes régions.

La Figure 1 présente l'amplitude thermique (*Aa-s*) en fonction de *IH*, pour les 100 régions de l'étude. On observe une grande variabilité au niveau de *Aa-s*. On remarque que *Aa-s* est normalement inférieur à 12 °C pour les régions avec un *IH* classé *très frais* ou *très chaud* selon le "Système CCM Géoviticole" (TONIETTO et CARBONNEAU, 2000). Par contre, dans les 4 autres classes intermédiaires (*frais*, *tempéré*, *tempéré chaud* et *chaud*), les amplitudes sont très variables ( $6\text{ °C} < Aa-s < 20\text{ °C}$ ).

La Figure 2 montre le positionnement des régions viticoles en fonction des indices  $FN_{v-r}$  et *Av-r*. D'une façon générale, on vérifie que les régions qui présentent les valeurs de  $FN_{v-r}$  les plus basses présentent également les *Av-r* les plus élevées. En fait,  $FN_{v-r}$  est corrélé négativement avec *Av-r* ( $r = -0,69^{**}$ ) et *IF* est corrélé négativement avec *Aa-s* ( $r = -0,70^{**}$ ) (Tableau 1). Cette corrélation doit justifier, en partie, l'usage assez courant de l'amplitude thermique comme indicateur de bonnes conditions thermiques de maturation pour les régions qui présentent des valeurs élevées. Mais ce raisonnement peut amener à des caractérisations erronées, parce qu'il existe des régions avec une même amplitude thermique (*Av-r*) qui présentent conditions nycthermiques de maturation ( $FN_{v-r}$ ) très différentes (Figures 2 et 3). Sur des exemples on peut constater que le potentiel qualitatif du raisin et certaines caractéristiques généralement reconnues des vins de ces régions et attachées à leur nom, sont très différentes, indépendamment du fait qu'elles ont une même amplitude thermique.

La fraîcheur des nuits en période de maturation ( $FN_{v-r}$ ) est donc un bon indicateur des caractéristiques liées à la couleur et aux arômes du raisin. La Figure 4 illustre cette situation avec un groupe des régions qui présentent des valeurs de  $FN_{v-r} < 16\text{ °C}$  et un autre groupe avec des valeurs supérieures. Il se vérifie à ce niveau que l'accumulation des anthocyanes dans les pellicules est favorisée par des températures diurnes relativement élevées mais sans excès, avec aussi une interaction positive avec des températures nocturnes fraîches (CARBONNEAU *et al.*, 1992). Dans le rôle prééminent de la température sur les anthocyanes, ils mettent en évidence encore, en général, un effet négatif des températures élevées.

De façon complémentaire, il est nécessaire de signaler l'importance de considérer la condition hydrique des régions, qui peut être estimé par l'*IS*, dans l'analyse du régime thermique sur la qualité du raisin. Un exemple concret sur ce sujet montre l'importance de *IS*. Ce sont les cas des régions qui ont des similarités au niveau de *IH* et de *IF*, mais qui présentent une différence importante au niveau de *IS* (exemple : BENTO GONÇALVES - Brésil, classée *IS humide*, et Montpellier - France,

classée *IS de sécheresse modérée*), ce qui donne des résultats très différents au niveau des caractéristiques globales reconnues des vins. Dans ces cas, les conditions hydriques rendent compte des principales différences au niveau des caractéristiques du raisin à la maturité.

## CONCLUSION

Le régime thermique en période de maturation du raisin présente une très grande variabilité au niveau de la géoviticulture.

Il est encore nécessaire d'approfondir les études pour mieux comprendre le rôle complexe des températures, soit diurnes soit nocturnes, en période de maturation sur les caractéristiques du raisin et du vin. Dans cette perspective, l'amplitude thermique n'apporte pas une information suffisante en soi, et même peut conduire à des erreurs de caractérisation; en revanche, le régime thermique en période de maturation du raisin doit être analysé par l'intermédiaire de la fraîcheur des nuits *IF* et des températures maximales et, pour ces deux paramètres, en analysant la réponse physiologique de la vigne à ces différentes variables thermiques. L'analyse doit également considérer à la base le régime hydrique de la vigne.

On peut conclure que pour avoir une bonne caractérisation du régime thermique en période de maturation au niveau des régions, il faut considérer *IH*, et, tout particulièrement, la fraîcheur des nuits (*IF* étant un bon indicateur de *IFv-r* moyen des régions, avec un  $r=0,80^{**}$ ). Cette caractérisation peut être améliorée par l'information complémentaire apportée par les températures maximales en période de maturation du raisin. Les éléments présentés peuvent servir à améliorer les indices climatiques pour estimer le potentiel qualitatif du raisin de différentes régions viticoles.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement tous les correspondants de l'Organisation Météorologique Mondiale et des autres institutions qui nous ont permis d'accéder gracieusement à leurs données. Nous remercions également Monsieur João Carlos TAFFAREL, de l'Embrapa, pour le calcul des indices climatiques viticoles.

## BIBLIOGRAPHIE

- BONNARDOT V. (1999). Etude préliminaire des brises de mer pendant la période de maturation dans la région viticole du Cap en Afrique du Sud. *Association Internationale de Climatologie*, n.12, 26-33.
- CARBONNEAU A., RIOU C., GUYON D., RIOM J., SCHNEIDER C. (1992). Agrométéorologie de la vigne en France. Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, 169p.
- COOMBE B.G. (1987). Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Horticulturae*, Davis, 206, 23-35. (Symposium on Grapevine Canopy and Vigor Management - 1986).
- FREGONI C., PEZZUTTO S. (2000). Principes et premières approches de l'indice bioclimatique de qualité de Fregoni. *Progr. Agric. Vitic.*, v.18, 390-396.
- HERNANDEZ A.M., PSZCZOLKOWSKI P.T. (1986). La vigne et le vin au Chili. Santiago, Université Catholique du Chili, 253p.
- HUGLIN P. (1978). Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. In: Symposium International sur l'Écologie de la Vigne, Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire, Contança, 89-98.
- HUGLIN P. (1983). Possibilités d'appréciation objective du milieu viticole. *Bulletin de l'O.I.V.*, 634, 823-833.
- JACKSON D.I., LOMBARD P.B. (1993). Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality : a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, v.4, n.44, 409-430.
- KLIEWER W.M., TORRES R.E. (1972). Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. *American Journal of Enology and Viticulture*, v.23, n.2, 71-77.
- PEGUY C.P. (1970). Précis de climatologie. Masson, Paris, 468 p.
- TOMANA T., UTSUNOMIYA N., KATAOKA I. (1979). The effect of environmental temperatures on fruit ripening on the tree. II. The effect of temperatures around whole vines and clusters on the coloration of 'Kyoho' grapes. *Journal of the Japanese Society of the Horticultural Science*, v.48, 261-266.
- TONIETTO J. (1999). Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France: méthodologie de caractérisation. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier, 233p. (Thèse Doctorat).
- TONIETTO J., CARBONNEAU A. (2000). Système de Classification Climatique Multicritères (CCM) Géoviticole. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL ZONIFICACION VITIVINÍCOLA, 3., Puerto de la Cruz, Tenerife, 2000. *Annales*. Puerto de la Cruz, Tenerife: OIV/Gesco, 1-16, v. II.
- WINKLER A.J., COOK J.A., KLIEWER W.M., LIDER L.A. (1974). *General viticulture*. Berkeley, University of California, 710p.



Tableau 1. Matrice des corrélations entre les différents indices climatiques viticoles, sur l'échantillon des 65 régions viticoles ( $IH \geq 1900$ ).

	<i>Dr</i>	<i>FNv-r</i>	<i>TXv-r</i>	<i>Tv-r</i>	<i>Av-r</i>	<i>IS</i>	<i>IH</i>	<i>IF</i>	<i>Aa-s</i>
<i>Dr</i>	1,00								
<i>FNv-r</i>	<u>-0,55</u>	1,00							
<i>TXv-r</i>	<u>-0,81</u>	<u>0,46</u>	1,00						
<i>Tv-r</i>	<u>-0,79</u>	<u>0,77</u>	<u>0,80</u>	1,00					
<i>Av-r</i>	-0,11	<u>-0,69</u>	<u>0,37</u>	-0,13	1,00				
<i>IS</i>	0,10	0,04	<u>-0,34</u>	-0,16	<u>-0,33</u>	1,00			
<i>IH</i>	<u>-0,94</u>	<u>0,56</u>	<u>0,80</u>	<u>0,79</u>	0,10	-0,19	1,00		
<i>IF</i>	<u>-0,60</u>	<u>0,80</u>	<u>0,41</u>	<u>0,74</u>	<u>-0,49</u>	-0,04	<u>0,67</u>	1,00	
<i>Aa-s</i>	0,10	<u>-0,66</u>	0,18	<u>-0,35</u>	<u>0,85</u>	<u>-0,33</u>	-0,08	<u>-0,70</u>	1,00

\* Corrélations significatives soulignées à  $p < ,01000$

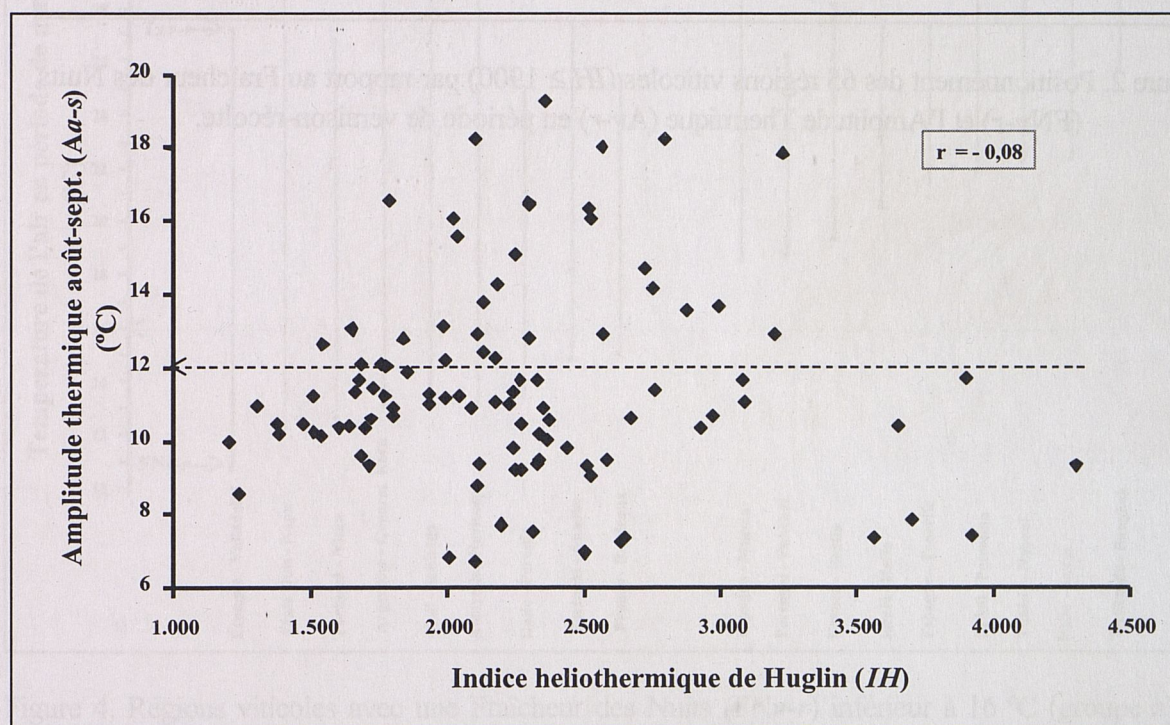


Figure 1. Positionnement des 100 régions viticoles de la base des données au niveau mondial par rapport à l'Indice héliothermique de Huglin (*IH*) et l'Amplitude Thermique août-septembre (*Aa-s*).

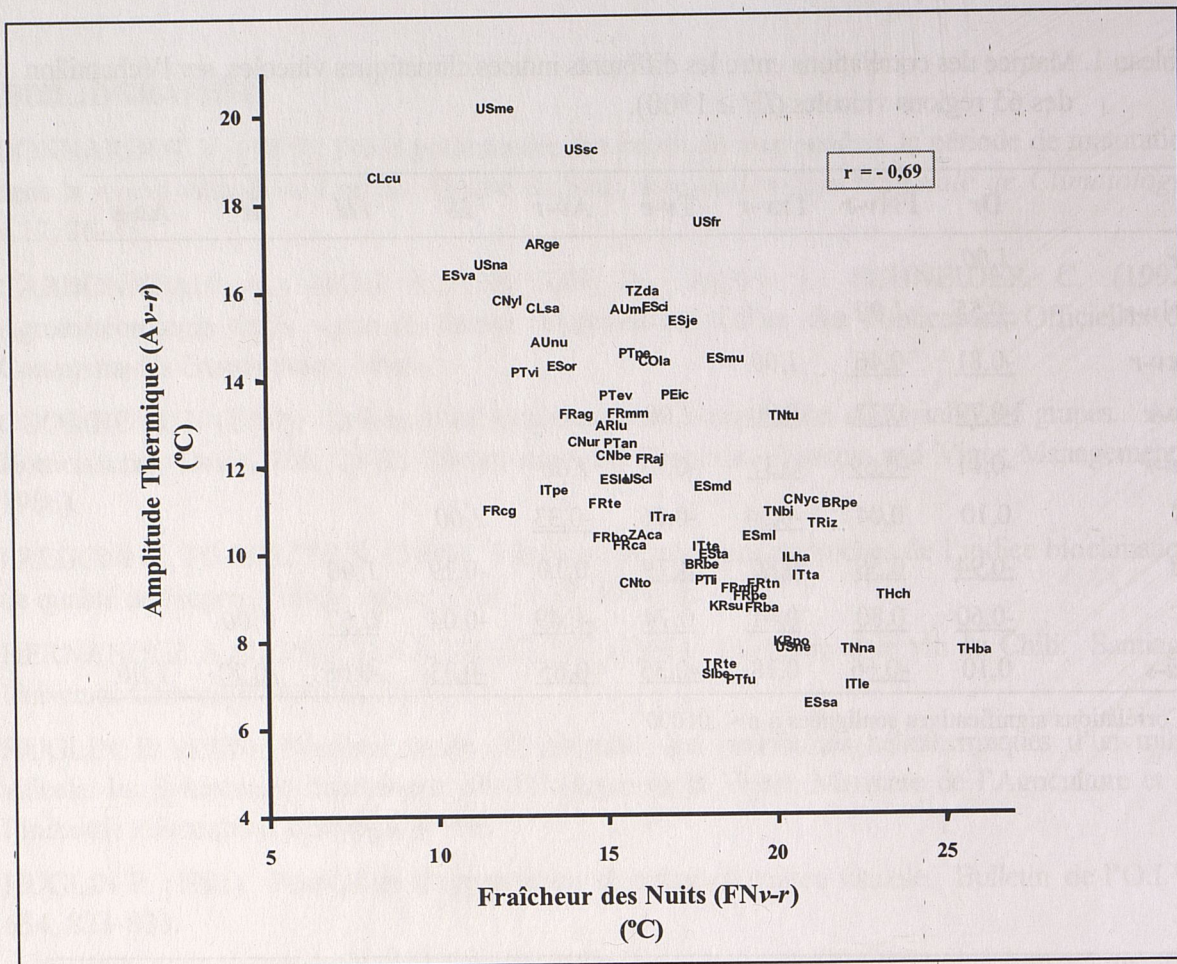


Figure 2. Positionnement des 65 régions viticoles ( $IH \geq 1900$ ) par rapport au Fraîcheur des Nuits ( $FN_{v-r}$ ) et l'Amplitude Thermique ( $Av-r$ ) en période de véraison-récolte.

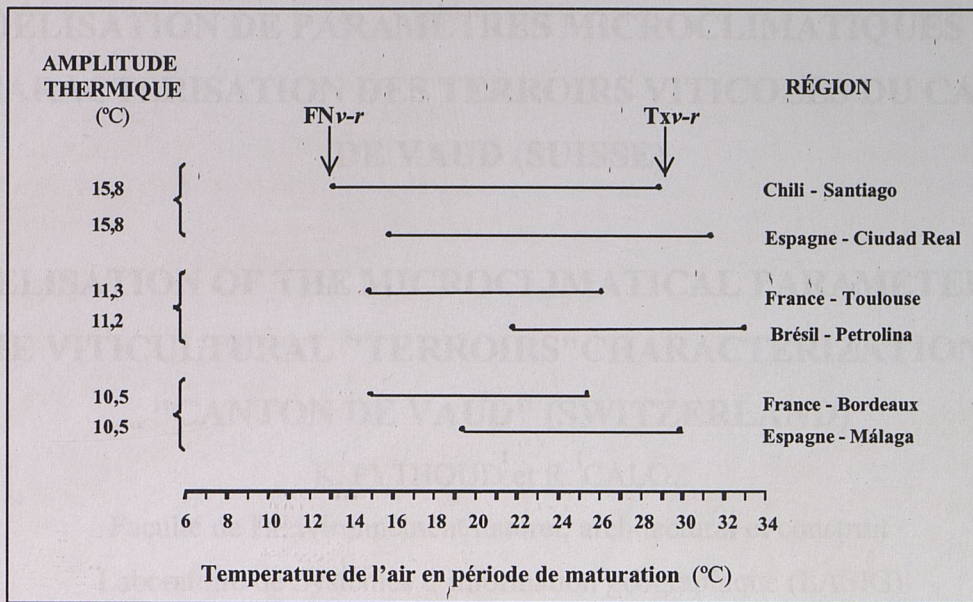


Figure 3. Exemple des couples des régions avec une même Amplitude Thermique en période de maturation ( $Av-r$ ) et différentes caractéristiques reconnues grâce au nom de leurs vins.

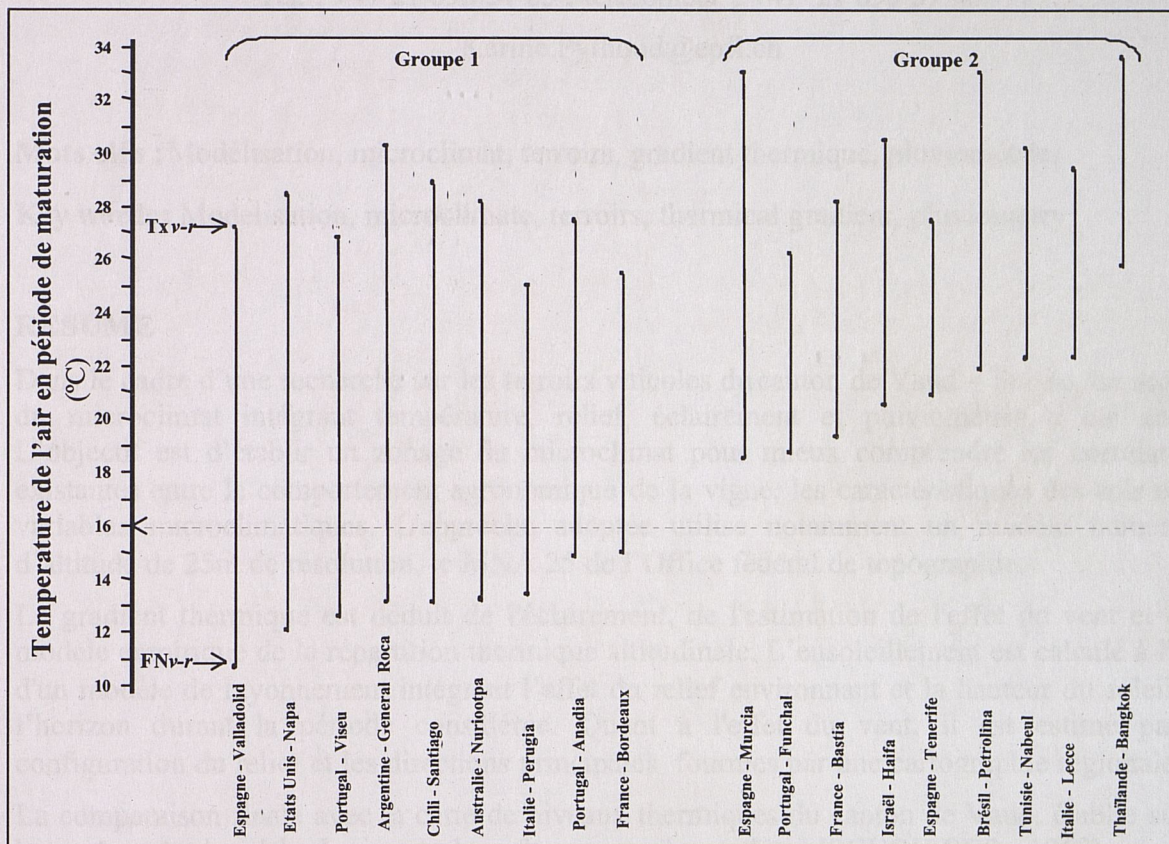


Figure 4. Régions viticoles avec une Fraîcheur des Nuits ( $FNv-r$ ) inférieur à 16 °C (groupe a) et supérieur à 16 °C (groupe b).