

## Variabilité spatiotemporelle des températures aux échelles fines dans le vignoble de *Vinho verde* (Portugal) dans un contexte de changement climatique \*

Hervé QUÉNOL<sup>1</sup>, Anna MONTEIRO<sup>2</sup> et Angela MACIEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire COSTEL, UMR6554 LETG, Université de Rennes  
2 place du recteur Henri le Moal 35043 Rennes cedex, France  
[herve.quenol@uhb.fr](mailto:herve.quenol@uhb.fr)

<sup>2</sup> Departamento Geografia, Universidade do Porto, Via Panorâmica, s/n° 4130-564  
Porto, Portugal  
[anamt@letras.up.pt](mailto:anamt@letras.up.pt)

### Résumé

Dans la région do Entre Douro e Minho (Nord Portugal), une étude agrométéorologique est réalisée dans deux terroirs viticoles séparés de quelques dizaines de kilomètres, mais dont les caractéristiques topographiques et les cépages sont différents. Pour cela, une étude climatique aux échelles fines permet de comprendre l'influence locale des caractéristiques de la surface (relief, occupation du sol) sur les paramètres météorologiques. Les mesures de températures et l'analyse de l'état physiologique de la vigne, effectuées entre février et avril 2003 et 2004, ont mis en évidence une forte variabilité spatio-temporelle du climat d'une part, entre les deux sites et, d'autre part, à l'intérieur même des terroirs. Dans un contexte de changement climatique, ce type d'approche climatique aux échelles fines doit être pris en compte afin que le viticulteur puisse s'adapter suffisamment tôt à ce changement attendu.

**Mots clés :** viticulture, changement climatique, échelles fines, mesures

### Abstract

*In the Entre Douro e Minho area (North of Portugal), an agroclimatologic study is made in two distant soils of wine of a few kilometres and from which the topographic characteristics and the variety of vine are different. A climatic study on fine scales is carried out in order to determine the local influence of the surface characteristics on the weather parameters. The temperature measurements and the agronomic analysis carried out between February and April 2003 showed a strong space-time variability of the spring frost risk between the two sites and inside even of the soils. In a context of climate change, this type of climatic study in fine scales must be taken into account to ameliorate simulation and predictions.*

**Key Words:** vineyard, climate change, fine scales, measurements

\* \* \*

Les nombreuses interrogations posées par le changement climatique engendrent une multitude de questions sur le fonctionnement des géosystèmes aux échelles locales. Un changement global du climat aura obligatoirement des répercussions sur le climat local et sur l'activité viticole. Dans ce contexte, les impacts attendus d'un éventuel changement climatique posent un certain nombre de questions et l'évaluation du changement climatique à l'échelle du terroir (échelles fines) est donc primordiale dans l'optique de la mise en place d'une politique raisonnée d'adaptation aux modifications du climat.

---

\* Texte en partie issu de Quénol H. *et al.*, 2004 : Mesures climatiques aux échelles fines (météorologiques et agronomiques) et variabilité spatiale du gel printanier dans le vignoble de Vinho Verde, *Norvix*, 193, pp. 117-132.

Actuellement, la communauté scientifique aborde peu l'impact du changement climatique sur la vigne aux échelles fines. Pourtant, en viticulture, la qualité du vin, le choix des cépages ou encore la spécificité des terroirs dépendent de caractéristiques locales telles que la topographie (pente, exposition...), la proximité d'une rivière ou d'un plan d'eau qui vont agir localement sur le climat. Un changement global du climat aura obligatoirement des répercussions sur le climat local, sur les caractéristiques du vin et donc des conséquences au niveau économique.

En 2003 et 2004, une expérimentation agroclimatique adaptée aux échelles fines a été réalisée dans le nord-ouest du Portugal, plus précisément dans la « Région Démarquée des vignobles de *Vinho verde* », dans les vignobles de la station expérimentale viticole *Amando Galbano* à Arcos-de-Valdevez et de Monção-Troviscoso. Cette étude s'inscrit dans la continuité de l'*Atlas agroclimatique de la région do Entre Douro e Minho* réalisé à partir d'un réseau régional de vingt-six stations météorologiques (Monteiro *et al.*, 2003). Les deux vignobles expérimentaux, distants de quelques dizaines de kilomètres, ont des caractéristiques vitivinicoles très différentes, notamment sur les types de cépages cultivés et la qualité du vin. Le vignoble de Monção-Troviscoso est essentiellement composé du cépage *Alvarinho*, alors que plusieurs tentatives ont montré qu'il était difficile de cultiver ce cépage à Arcos-de-Valdevez car il répond à des caractéristiques topoclimatiques spécifiques.

L'objectif de cette étude est de déterminer, par l'intermédiaire de mesures météorologiques et d'observations agronomiques, les facteurs responsables de la forte variabilité spatiotemporelle du climat entre ces deux vignobles et également d'expliquer quelles sont les conditions climatiques locales favorables à l'*Alvarinho*. Dans un contexte de changement climatique, ce type d'approche climatique aux échelles fines doit être pris en compte dans les différents scénarios de l'impact du changement climatique sur la viticulture notamment afin que le viticulteur puisse s'adapter suffisamment tôt à ce changement attendu.

## **I. Méthode et données**

### ***I.1. Sites expérimentaux***

L'étude se déroule dans le nord-ouest du Portugal, plus précisément dans la « Région Démarquée des vinhos verdes », qui est limitée au nord et au sud par les fleuves Minho et Lima et à l'est par des montagnes dont l'altitude est supérieure à mille mètres. Cet espace (figure 1) est caractérisé par un relief accidenté, dont les altitudes croissent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'océan Atlantique (Serra da Peneda-Soajo, mille quatre cent seize mètres). Les fleuves Minho et Lima, d'orientation ouest-est, se caractérisent par de larges vallées se resserrant progressivement vers l'intérieur du pays (Madureira *et al.*, 2002). Le climat, de type océanique, se traduit par de faibles amplitudes thermiques, une pluviosité relativement importante mais irrégulièrement réparties et une forte sécheresse estivale (Alcoforado, 1982 ; Daveau, 1988). La présence des reliefs immédiatement à l'est du littoral limite très rapidement l'influence océanique (ex. diminution de l'action adoucissante des masses d'air) et favorise une forte variabilité spatiale des paramètres climatiques, d'où la présence de topo-climats.

Les deux terrains expérimentaux sont distants d'environ trente kilomètres et se situent dans les vallées du Lima (près d'Arcos de Valdevez et de la confluence avec son principal affluent, le Vez) et du Minho (près de Monção et Troviscoso, dans un vallon orienté sud/nord) (figure 1). Ces deux sites présentent une topographie accidentée et sont peu soumis à l'influence maritime.

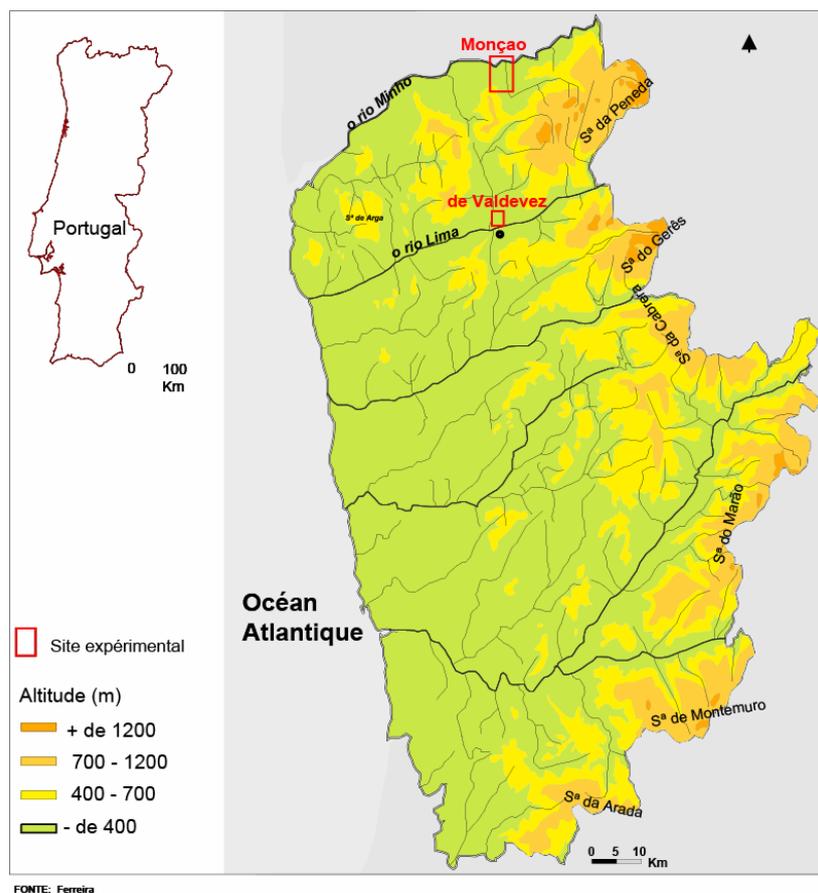


Figure 1. Sites expérimentaux dans le nord-est du Portugal.

Le vignoble d'Arcos de Valdevez se situe sur la station viticole de Amandio Galhano. Le Loureiro (cépage blanc) et le Vinhão (cépage rouge) sont principalement cultivés. Le Loureiro produit des vins de qualité et est cultivé dans l'ensemble de la région, s'adaptant très bien aux conditions littorales. Ce cépage blanc a un débourrement assez précoce — donc sensible au gel printanier — et une maturation moyenne. Le Vinhão est une variété de cépage rouge qui produit le « tinto ». Il présente un débourrement tardif et une maturation moyenne. Cette variété a une croissance vigoureuse et génère une production régulière (Monteiro, 2003). La topographie du site se caractérise par une succession de replats subhorizontaux (terrasses) d'orientation nord-sud s'élevant à cinquante ou soixante mètres, bordées de mamelons d'altitude maximale de quatre-vingts mètres et aboutissant dans la vallée du Lima (orientation ouest-est ; altitude trente mètres). La pente générale d'orientation nord-sud est d'environ trois degrés (figure 2 A).

Le cépage Alvarinho est cultivé dans le vignoble de Monção/Troviscoso. Ce cépage est caractérisé par des vins de très bonne qualité, mais exige des conditions pédoclimatiques spécifiques (Garido, 1984). Précoce au débourrement et à la maturation, cette variété est très sensible aux forts refroidissements printaniers et aux amplitudes thermiques diurnes trop importantes. La topographie du site correspond à une vallée d'orientation sud-nord rejoignant la vallée du Minho (est-ouest). La présence de reliefs relativement hauts (dénivelé important par rapport au fond du vignoble) au sud, à l'ouest et à l'est du site et le resserrement de la vallée au nord, font que la vallée de Troviscoso se situe dans un « cirque ». À proximité du fleuve Minho, le terrain est relativement plat avec une pente inférieure à deux degrés (figure 2 B).

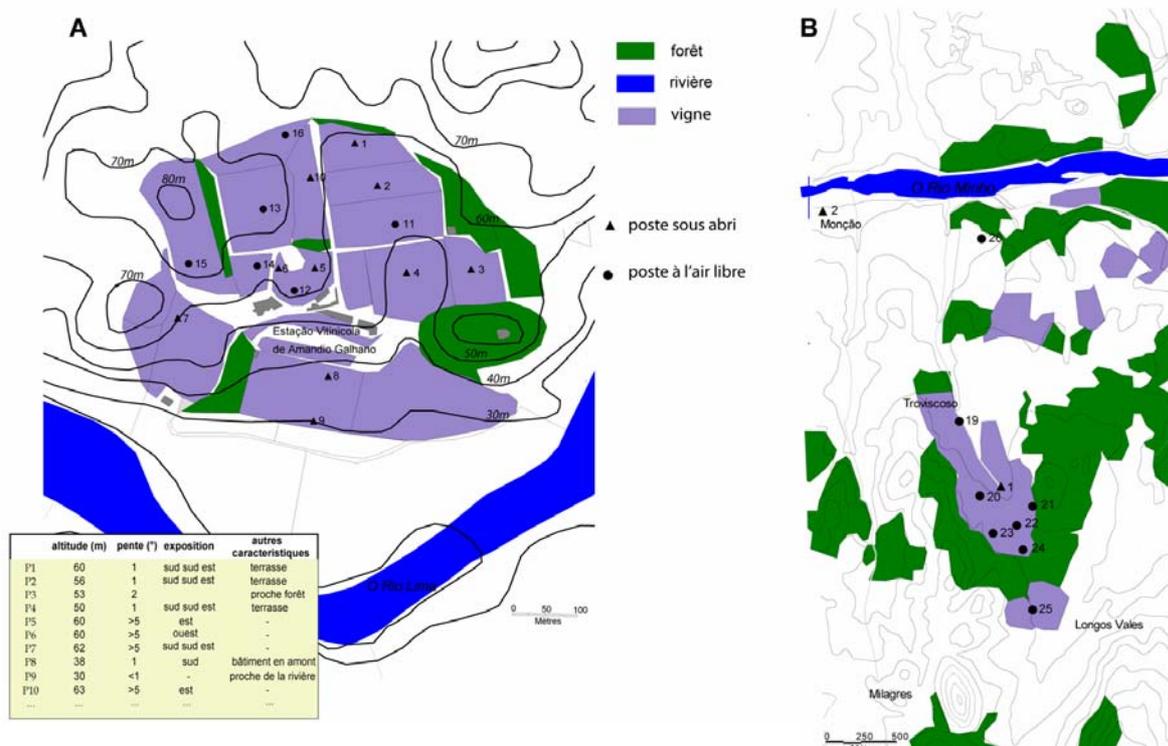


Figure 2. Terrains expérimentaux de Arcos de Valdevez (A) et de Monção/Troviscoso (B)

## I.2. Méthode et mesures

Pour définir les spécificités climatiques d'un vignoble, les stations météorologiques des réseaux nationaux sont souvent trop espacées et elles ne permettent pas de mettre en évidence les variations microclimatiques. Un réseau de mesures où les stations sont disposées en fonction des caractéristiques de surface (pente, exposition...) a été mis en place sur le site. Plusieurs types de mesures ont été réalisés sur les deux sites :

- des postes météorologiques fixes (seize postes à Arcos de Valdevez et deux à Monção/Troviscoso) ont été répartis suivant les caractéristiques topographiques et environnementales des sites. Des thermomètres enregistreurs (type Tiny Talk) sous abri et disposés à un mètre cinquante de la surface (hauteur moyenne des bourgeons) ont permis d'enregistrer en continu entre février et septembre 2003/2004 (du débourrement à la récolte) la température suivant un pas de temps de quinze minutes. Les températures sous abri, obtenues sur les postes fixes, ont été analysées en fonction des types de temps (anticyclonique, dépression, état du ciel, force et direction du vent dominant) (figure 2) ;
- des mesures dans des situations météorologiques spécifiques (ex. gelées de printemps, canicule de 2003) ont été réalisées. Au cours des nuits gélives printanières de type radiatif (ciel clair, vent faible), les thermomètres enregistreurs ont été installés, à l'air libre afin de mesurer, la température en indice actinothermique (IA), qui est la valeur la plus proche de celle subie par la surface du végétal. Pour mesurer la direction des écoulements gravitaires (faible vitesse inférieure à deux mètres seconde), une girouette en balsa a été employée. Munis de ce capteur ultrasensibles et d'une boussole, nous avons effectué des mesures itinérantes tout au long de la nuit, qui ont permis de déterminer l'aérologie nocturne des deux sites en situations gélives (figure 2).

La variabilité spatiale des paramètres atmosphériques a été confrontée et validée par l'intermédiaire des données de réponses viticoles et/ou œnologiques : phénologie, taux de sucre, stress hydrique...

## II. Résultats

Les relevés thermiques sous abri et en indice actinothermique mettent en évidence une forte variabilité spatiotemporelle sur des espaces relativement restreints. Cette forte variabilité spatiale a un impact sur la vigne : hétérogénéité de la capacité de résistance aux risques liés au climat (gel printanier, stress hydrique...), différences de niveaux de croissance de la vigne, importante variabilité des caractéristiques du raisin (taux de sucre...).

### *II.1. Une forte variabilité spatio-temporelle des variables climatiques*

#### II.1.1. Températures minimales sous abri

Les températures sous abri, enregistrées entre février et avril 2003, montrent une importante variabilité spatiale entre les deux sites expérimentaux, mais également entre les différents postes du site d'Arcos-de-Valdevez.

La disparité spatiale des températures est principalement liée aux différences topographiques. Les moyennes des températures minimales journalières entre février et avril 2003 sont nettement plus élevées à Monção/Troviscoso (M1 et M2) qu'à Arcos-de-Valdevez. Pour les mois de mars et avril, l'écart moyen des températures minimales entre le poste 4 et Troviscoso (conditions topographiques similaires pour les deux postes) varie entre 1 et 2°C. Sur les différents points de mesures répartis sur le site de Arcos-de-Valdevez, les températures les plus basses sont observées sur les postes où la pente est faible ou en fond de vallée. Inversement, les secteurs où le refroidissement nocturne est le moins intense correspondent aux postes où la pente est la plus forte. La répartition spatiale des températures minimales est donc liée à la topographie du site (figure 3) :

- les valeurs les plus faibles sont observées sur les terrasses ou dans les dépressions, c'est-à-dire les secteurs où l'air froid s'écoulant par gravité est ralenti et stagnant ;
- les valeurs les plus fortes sont enregistrées sur les rangées où la pente est supérieure à 5°C, c'est-à-dire les secteurs où l'air froid au niveau du sol est toujours en mouvement.

La variabilité spatiale des températures minimales est la plus forte en situation radiative lorsque le ciel est clair et la vitesse du vent inférieure à deux mètres seconde. L'absence de nébulosité et la faible vitesse du vent favorisent les déperditions énergétiques radiatives et limitent l'homogénéisation des températures par brassage d'air ou par « effet de serre ». Ces constatations sont également confirmées entre les sites d'Arcos-de-Valdevez et de Troviscoso où l'écart thermique atteint 2,5°C (entre le poste 4 et Troviscoso) lors des situations marquées par un ciel clair et une température de 0,5°C lorsque le ciel est nuageux.

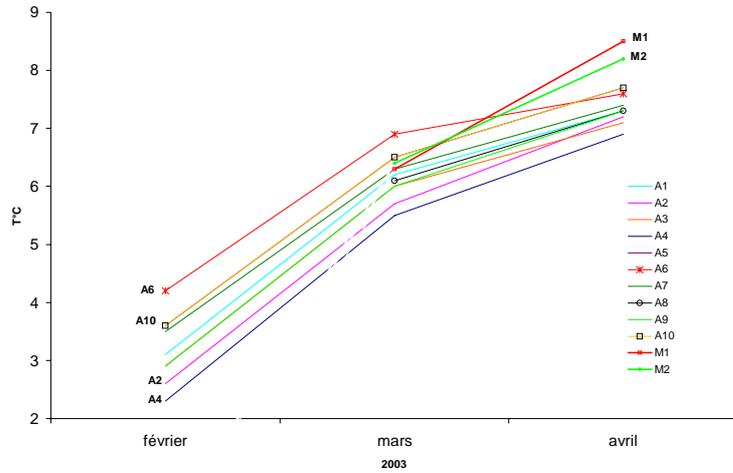


Figure 3. Moyenne des températures minimales sous abri de février à avril 2003.

### II.1.2. Températures maximales sous abri

L'analyse des températures maximales montre également une forte variabilité spatiale entre les deux sites. Celle-ci est toujours provoquée principalement par la topographie (pente et exposition). Contrairement aux minimales, les températures maximales sont plus basses à Monção/Troviscoso (M1 et M2) qu'à Arcos de Valdevez. Par exemple, en mars et avril 2003, l'écart moyen entre le poste 4 et Troviscoso varie entre 0,5°C et 1°C. Cet écart est le plus important lorsque le temps est anticyclonique avec un ciel clair.

Sur les différents postes de mesures d'Arcos de Valdevez, les températures les plus élevées sont observées sur les postes exposés vers le sud et où la pente est importante (supérieure à cinq degrés). Les différences entre les postes sont peu importantes en février et en mars, période où l'ensoleillement est encore faible. Par contre, les écarts augmentent à partir d'avril (figure 4).

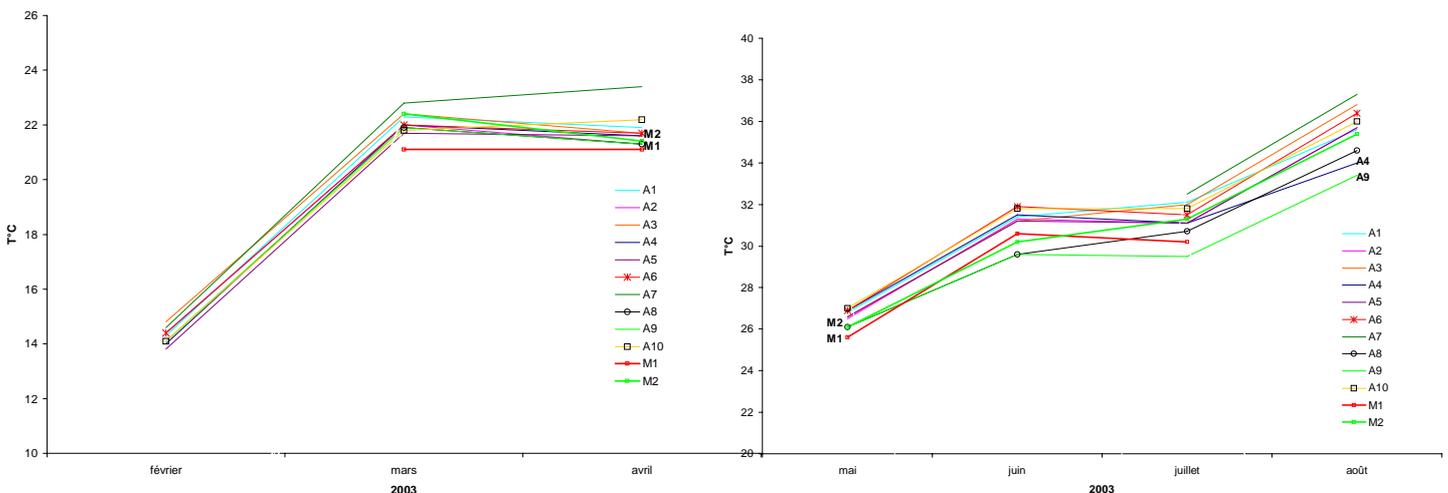


Figure 4. Moyenne des températures maximales sous abri de février à août 2003.

### II.1.3. Températures minimales et aérologie nocturne en situations de gelées printanières

L'aérologie nocturne locale varie suivant la topographie : l'air froid issu des déperditions énergétiques de surface (sol, végétation) s'écoule suivant la direction de la pente et stagne dans les secteurs subhorizontaux ou en amont d'obstacles. La vitesse des écoulements est donc proportionnelle à l'intensité de la pente.

À Arcos-de-Valdevez, l'écoulement principal de direction nord-sud correspond à l'exposition générale du site avec comme point bas, la vallée du Rio Lima au sud. L'air froid descend le long des terrasses et aboutit dans le fond de la vallée. À une échelle plus fine, les caractéristiques des écoulements (direction et vitesse) sont conditionnées par la topographie (exposition et pente). On distingue deux types de topographie différents : les secteurs en terrasses (1, 2 et 4) exposés nord-sud et de pente inférieure à deux degrés auxquels correspondent des écoulements de vitesse inférieure à un mètre seconde et des secteurs d'expositions est, sud ou ouest (7, 5 et 10) et de pente toujours supérieure à cinq degrés auxquels correspondent des écoulements supérieurs à deux mètres seconde (figure 5).

À Troviscoso/Monção, l'écoulement principal de direction sud-nord suit la pente générale pour aboutir au niveau de la vallée du Minho. À l'échelle de la vallée de Troviscoso, les écoulements gravitaires proviennent des versants adjacents. La présence de reliefs relativement hauts (dénivelé important jusqu'à deux cents mètres par rapport au fond du vignoble) au sud, à l'ouest et à l'est du site font que les directions sont diverses et surtout que la vitesse est nettement supérieure à celle observée à Arcos-de-Valdevez (supérieure à trois mètres seconde). Au niveau du Minho, une brise de vallée descendante provient de l'est (figure 6).

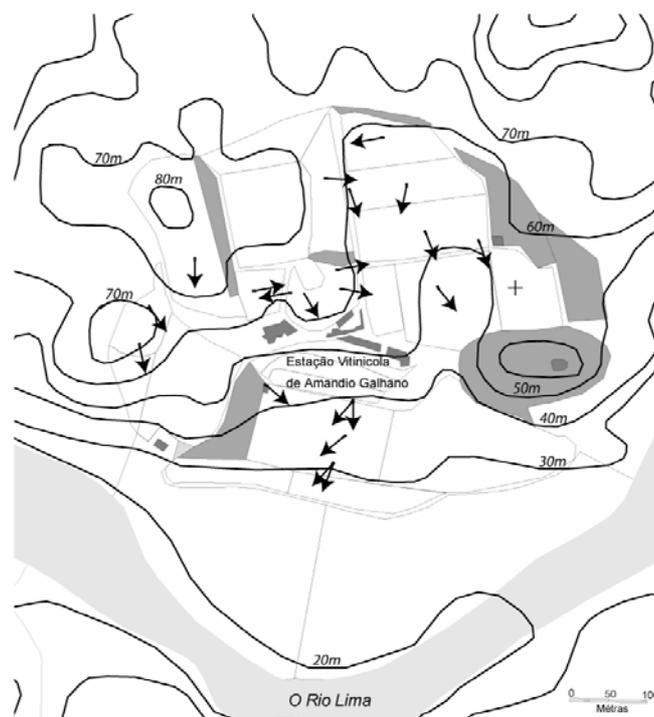


Figure 5. Écoulements gravitaires nocturnes lors de la nuit radiative du 15 au 16 février 2003 à Arcos de Valdevez (les flèches indiquent la direction des écoulements).

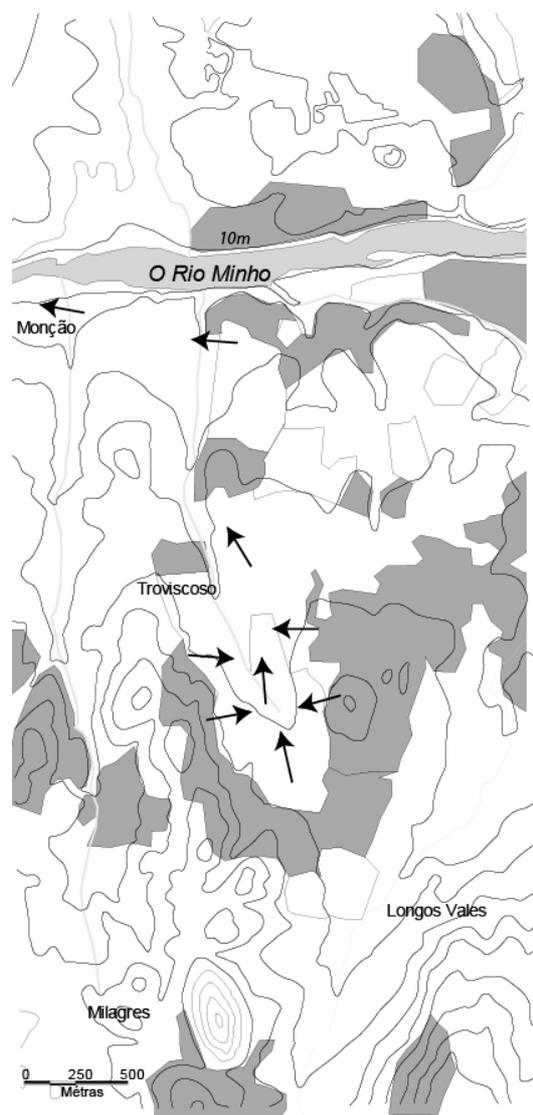


Figure 6. Écoulements gravitaires nocturnes lors de la nuit radiative du 15 au 16 février 2003 à Trovisoso/Monção (les flèches indiquent la direction des écoulements).

L'évolution des températures en indice actinothermique (IA) est fortement conditionnée par la topographie et correspond aux conclusions tirées des mesures aérologiques. La vitesse des écoulements est proportionnelle à la température. Plus les écoulements gravitaires sont puissants moins le refroidissement nocturne est important.

Sur le site d'Arcos-de-Valdevez, les valeurs minimales de la nuit du 15 au 16 février 2003 sont beaucoup plus basses sur les postes situés en zone d'accumulation d'air froid que sur les secteurs en pente. Le refroidissement nocturne a été le plus froid sur les postes 2, 11 et 4. Il s'agit de terrasses subhorizontales où l'air froid s'écoule très lentement et a même tendance à stagner. Le resserrement entre la colline et les bâtiments en aval du point 4 accentue encore le blocage de l'air froid et fait que ce secteur est le plus froid du site. Sur les postes où la pente est supérieure à cinq degrés (5, 7, 10, etc.) ou sur le sommet de collines (13), les températures minimales sont plus élevées de 1,5°C à 2°C. Le point de mesure 9, situé sur la terrasse proche de la vallée du Lima où le refroidissement est théoriquement le plus fort (accumulation) subit l'influence modératrice de la rivière (forte humidité). Les valeurs minimales sont comparables à celles enregistrées sur un

poste en pente (figure 7). D'ailleurs, l'influence de la rivière sur le comportement des températures s'observe en fin de nuit avec la présence de brouillard de condensation dans la dépression topographique.

Sur le site de Troviscoso, la variabilité spatiale des températures minimales de la nuit du 15 au 16 février 2003 est moins importante qu'à Arcos-de-Valdevez : dans la vallée de Troviscoso, les valeurs varient peu (entre  $-0,1^{\circ}\text{C}$  et  $-0,6^{\circ}\text{C}$ ) quelle que soit la topographie (pente, fond de vallée). À proximité du Minho ( $-1,4^{\circ}\text{C}$ ), où pourtant la présence de la brise descendante est un facteur favorable pour limiter le refroidissement (brassage de l'air), les données sont plus froides d'environ  $1^{\circ}\text{C}$  (figure 8).

Par rapport au site d'Arcos-de-Valdevez, les températures sont nettement plus élevées (entre  $+3,5^{\circ}\text{C}$  et  $+6^{\circ}\text{C}$ ) (figures 7 et 8). L'aérogologie nocturne spécifique au microclimat de la vallée de Troviscoso — espace fermé entouré de reliefs avec fortes pentes — explique ces importants écarts de températures. En situation radiative, les écoulements de pente dont la vitesse mesurée est supérieure à trois mètres seconde limitent l'intensité du refroidissement nocturne en homogénéisant les températures par brassage de l'air dans les premiers mètres de la couche de surface. Ce microclimat, localisé dans la vallée de Troviscoso, amoindrit la probabilité de risque gélif pour le vignoble d'Alvarinho.



Figure 7. Températures minimales en Indice Actinothermique durant la nuit radiative du 15 au 16 février 2003 à Arcos de Valdevez.

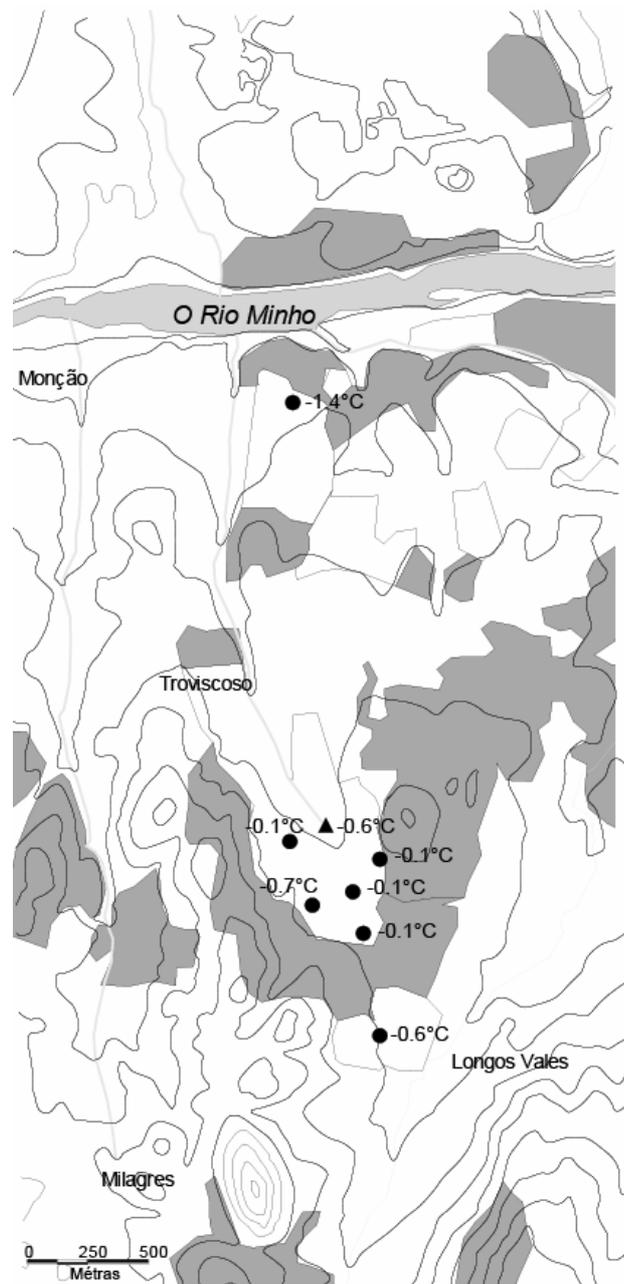


Figure 8. Températures minimales en Indice Actinothermique durant la nuit radiative du 15 au 16 février 2003 à Troviscoso/Monção.

#### II.1.4. Températures maximales extrêmes

Les températures maximales sous abri en situation de fortes chaleurs (été 2003) ont également une forte variabilité spatiale liée aux caractéristiques et aspérités de la surface. À Arcos de Valdevez, la répartition spatiale des températures maximales du 8 août 2003 montre que les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les secteurs où la pente est la plus forte avec une exposition sud. Les écarts de plusieurs degrés peuvent atteindre 4°C avec les postes situés dans des secteurs subhorizontaux ou en cuvette (figure 9). L'analyse des fréquences des températures

maximales durant l'été 2003 confirme l'influence des facteurs topographiques sur la variabilité spatiale des températures à Arcos-de-Valdevez (figure 10).



Figure 9. *Temperatures maximales du 8 août 2003 à Arcos de Valdevez.*

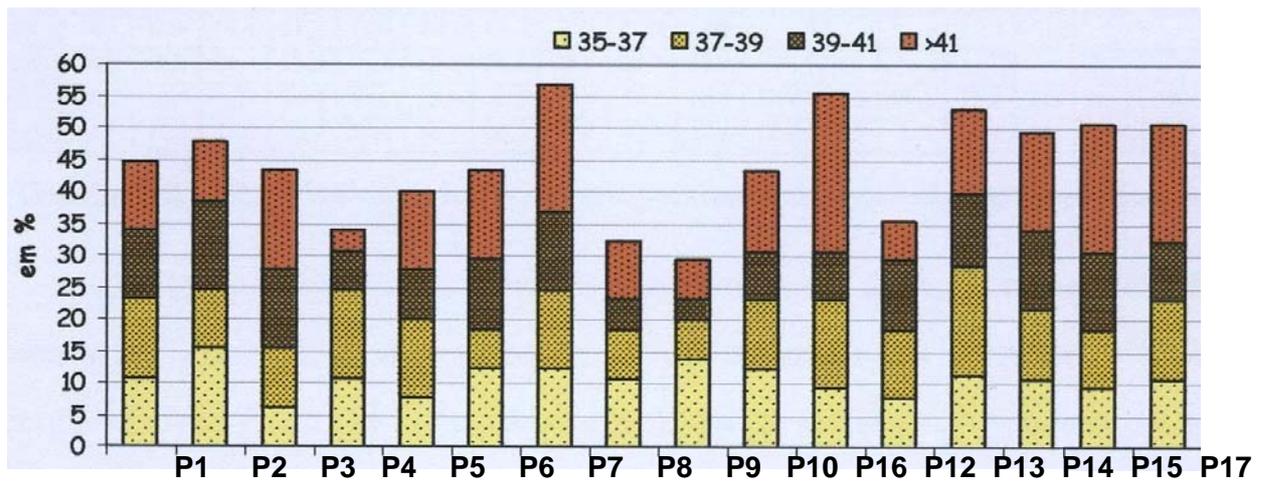


Figure 10. *Fréquence des températures maximales de l'été 2003 sur les postes de mesures (%).*

## II.2. Conséquences de la variabilité du climat sur la vigne

Parallèlement à l'expérimentation météorologique, un suivi de l'état physiologique de la vigne a été effectué afin d'observer les caractéristiques de la vigne sur l'ensemble des points de mesures.

Durant les printemps 2003 et 2004, le suivi des stades phénologiques a montré une forte disparité entre les postes. Cette importante hétérogénéité spatiotemporelle peut avoir des conséquences sur la capacité des différents cépages à résister au gel printanier. Étant donné que la résistance au gel de la vigne décroît du débourrement à la formation du fruit et que le rythme de croissance varie suivant les cépages — le Loureiro est plus précoce que le Vinhão —, la probabilité du risque gélif varie fortement d'un secteur à un autre, même si les conditions thermiques sont homogènes. Sur le site d'Arcos-de-Valdevez, l'état physiologique de la vigne a été observé du débourrement (stade C-D) au développement des inflorescences (stade G) sur chaque poste de mesures météorologiques (figures 11 et 12).

Par exemple, en 2003, le 5 mars, la plupart des points de mesures sont au stade B (« bourgeon dans le coton ») caractérisant la sortie de dormance. Seuls les postes 7, 10 (fortes pentes) et 3 sont en début de débourrement. Le 19 mars, la reprise d'activité des bourgeons est générale sur l'ensemble du site. Les postes 10, 3, 8 et 9 sont les plus avancés. Le 21 mars, après deux jours très ensoleillés, le niveau de croissance a évolué sur les points de mesures avec une forte pente. Les postes 1, 2 et 4, situés en terrasses, ont un développement plus lent. La vigne est toujours en début de débourrement (C) alors que les ceps des points 7, 8 et 10 ont déjà des feuilles. Cela s'explique, d'une part, par les différences de cépages (Vinhão au niveau des points 1, 2 et 4) et, d'autre part, par les caractéristiques topographiques (exposition, pente). Cette variabilité spatiale du niveau de croissance de la vigne est présente jusqu'à la floraison (figure 12). Les postes expérimentaux où l'aléa est le plus fort (1, 2 et 4) correspondent aux cépages les moins vulnérables aux basses températures.

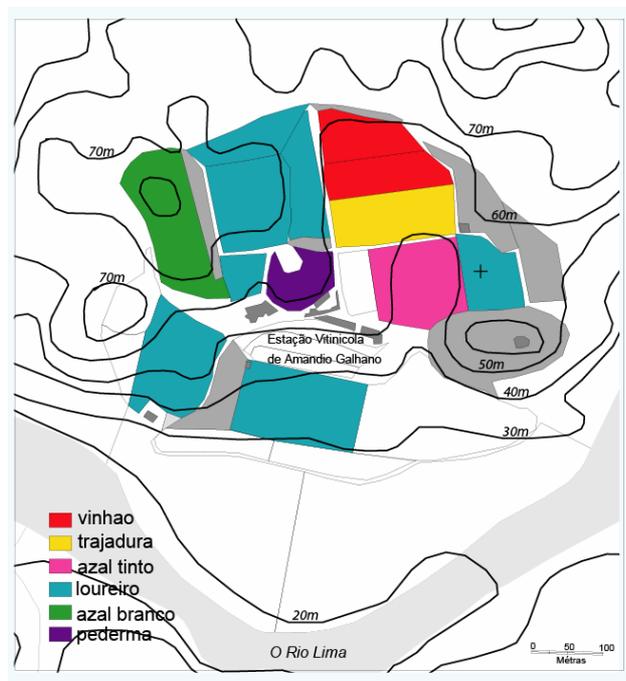


Figure 11. Répartition des différents cépages

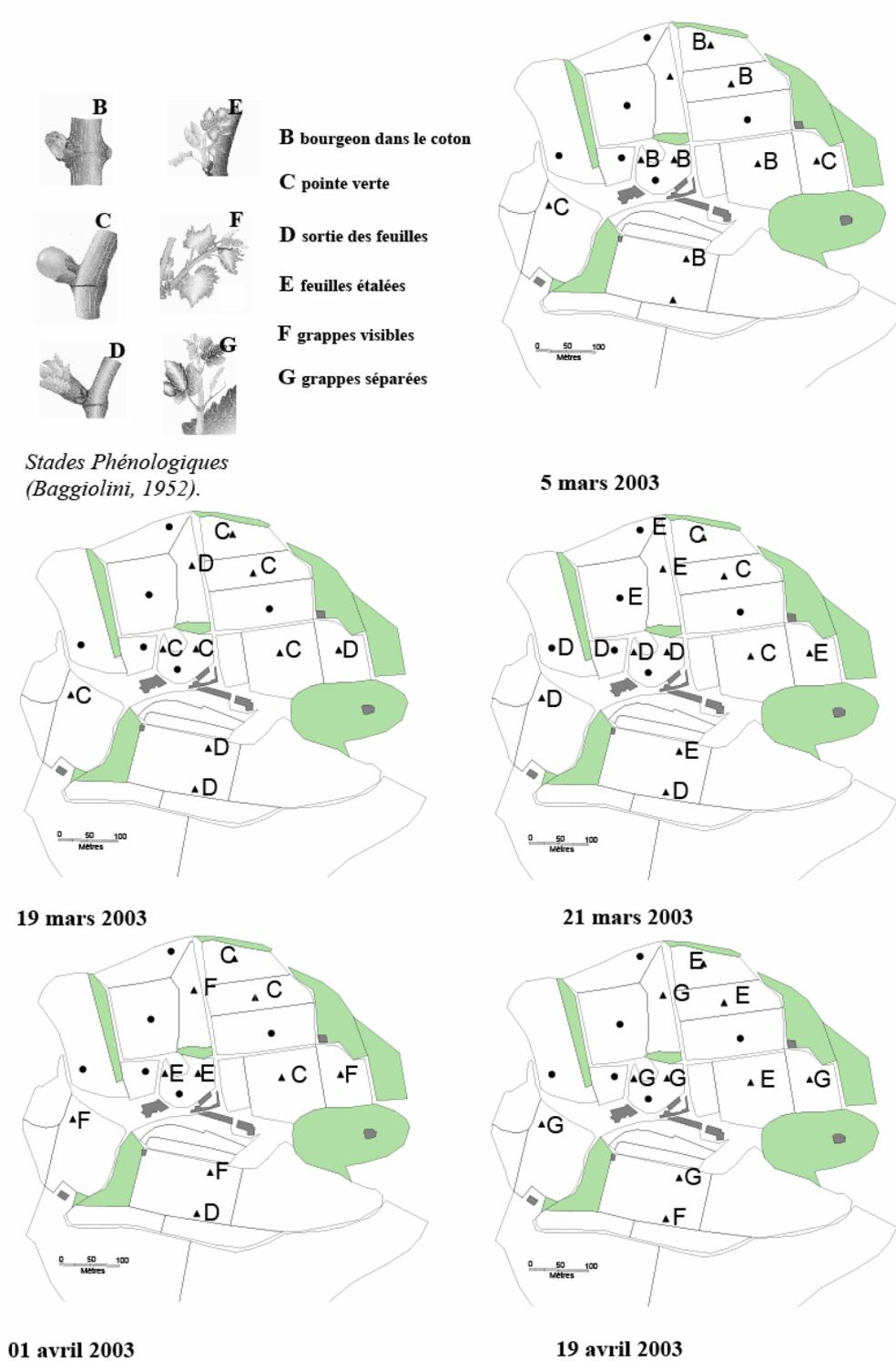


Figure 12. Niveau de croissance de la vigne du débourrement à la formation des grappes sur le site d’Arcos-de-Valdevez.

Les analyses de teneur en alcool réalisées en septembre 2003 ont montré d’importantes différences liées aux cépages mais également engendrées par la variabilité climatique locale et notamment la température. Par exemple, les parcelles de Loureiro enregistrent des différences de plusieurs degrés sur l’ensemble du site d’Arcos-de-Valdevez (figures 11 et 13).

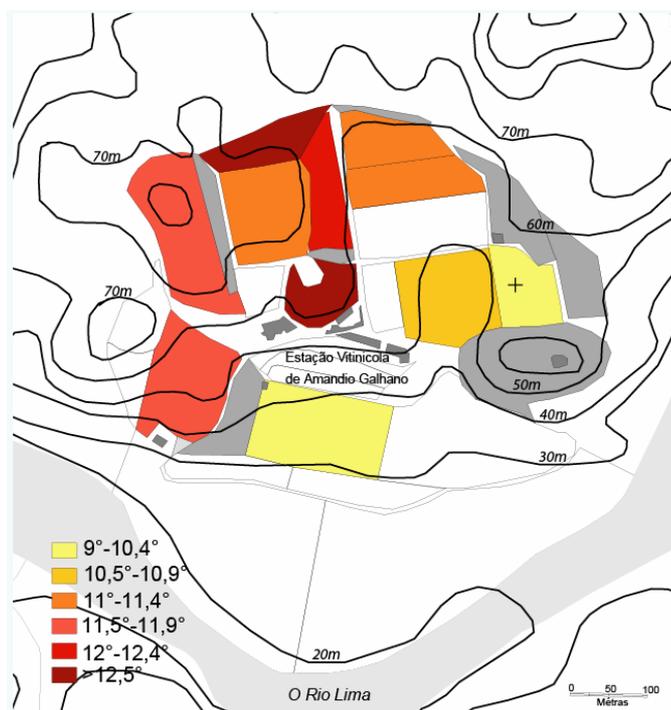


Figure 13. Teneur en alcool observée en septembre 2003.

### III. Discussion et conclusion

Cette étude a permis d'évaluer ainsi l'influence des facteurs locaux sur l'hétérogénéité de la qualité du raisin et du vin observée. Les résultats ont montré une très forte variabilité spatiale des températures, notamment en situation de gelées printanières radiatives et lors de la canicule de l'été 2003. Cette forte variabilité spatiale du climat local a eu un impact sur le développement de la vigne et sur la qualité du raisin : forte variabilité spatiotemporelle du niveau de phénologie pour un même cépage ; forte hétérogénéité du niveau de maturité du raisin...

Les mesures des températures sous abri et en indice actinothermique réalisées au printemps 2003 ont mis en évidence une forte variabilité spatiale sur des espaces relativement restreints : entre les deux sites expérimentaux (distants de quelques kilomètres) et à l'intérieur même du site (quelques mètres).

Le microclimat sur le site d'Arcos-de-Valdevez se définit par une forte variabilité spatiale des températures engendrée par la topographie. Par exemple, les températures nocturnes en situation radiative (ciel clair, vent inférieur à deux mètres seconde) sont plus faibles sur les terrasses ou dans les secteurs où l'air froid véhiculé par les écoulements gravitaires a tendance à s'accumuler. Par conséquent, au printemps, les vignes situées sur les coteaux enregistrent des températures nocturnes relativement élevées. Ces conditions ont entraîné la plantation de cépages sensibles aux gelées printanières, tel que le Loureiro (cultivé sur les coteaux de ce terroir). Sur les terrasses, les températures diurnes et nocturnes sont beaucoup plus basses avec, notamment, de très faibles valeurs relevées lors de nuits gélives pouvant entraîner la destruction des bourgeons. Mais, dans les secteurs les plus froids, le cépage cultivé est le Vinhão (variété à débourrement tardif est peu sensible au gel printanier). Le microclimat dans la vallée de Troviscoso se caractérise par une variabilité spatiale thermique nettement moins forte que sur le site d'Arcos-de-Valdevez. Les écoulements nocturnes relativement puissants expliquent que le refroidissement

nocturne radiatif est peu important. En situation gélive radiative, les températures du site sont homogènes et les écarts avec Arcos-de-Valdevez sont considérables (jusqu'à 7°C). Ce terroir est donc caractérisé par des températures minimales printanières assez élevées. Ces conditions climatiques sont donc très favorables au cépage Alvarinho qui est très sensible au gel et qui ne supporte pas les fortes amplitudes thermiques diurnes. Ce microclimat, très localisé, explique (en partie) la très faible surface où ce cépage est cultivé (quelques exploitations dans la région de Monção et de Melgaço).

L'exemple de la variabilité spatiale des températures nocturnes montre la capacité des viticulteurs à choisir les cépages les plus adaptés afin de limiter au minimum le risque de gel printanier. Dans un contexte de changement climatique, l'étude du climat aux échelles fines paraît indispensable afin que les professionnels viticoles puissent adapter leurs pratiques culturales en fonction d'une nouvelle donne climatique, en mettant en œuvre leur savoir-faire (techniques culturales raisonnées, évolution des variétés...). Les différents scénarios climatiques pour le XXI<sup>e</sup> siècle et les observations actuelles prévoient un réchauffement entre 0,5°C et 2°C pour les cinquante prochaines années (Jones, 2007). L'analyse de la série thermique (T<sub>min</sub>, T<sub>max</sub> et T<sub>moy</sub>) de 1901 à 2005 de la station du réseau météorologique national de *Serra do Pilar* (Porto) met en évidence une augmentation constante de la température moyenne (figure 14). Dans ce contexte de réchauffement et de forte variabilité spatiale du climat, la mise en place de ce protocole de mesures spécifiques adapté aux échelles fines s'avérera très utile pour affiner les résultats des modèles de circulation générale (MCG) en comblant l'absence de données à ces échelles afin prévoir l'impact du changement climatique à l'échelle d'un terroir.

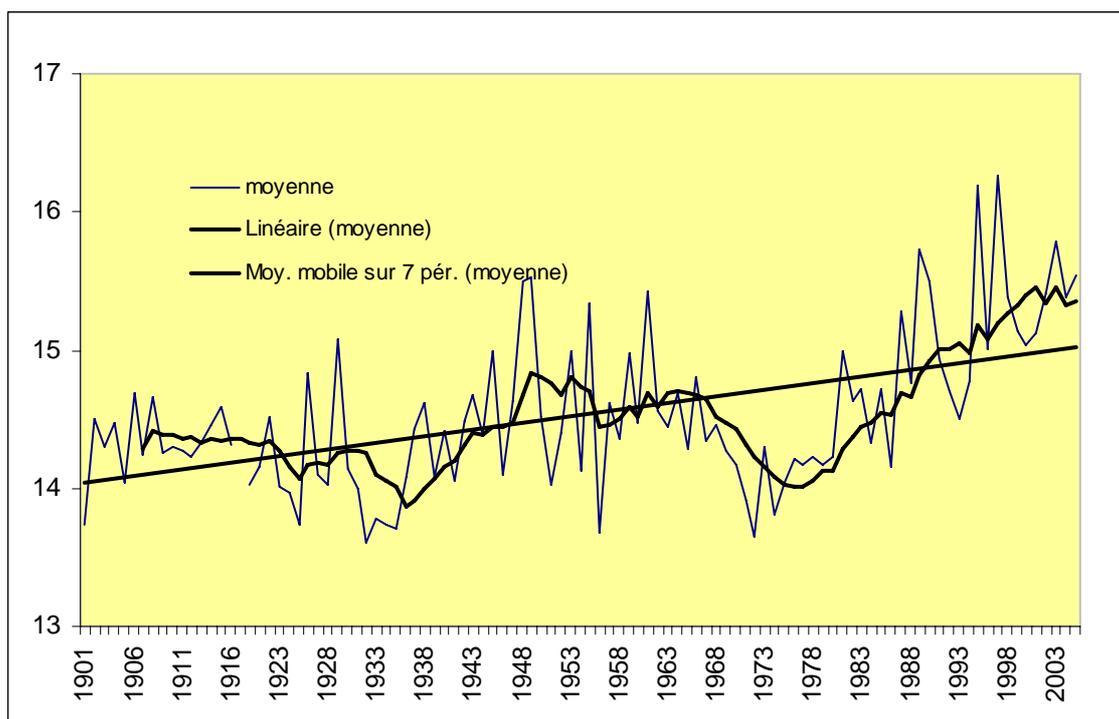


Figure 14. Température moyenne annuelle entre 1901 et 2005 à la station météorologique de Serra do Pilar (Porto).

## Bibliographie

- Jones G. (2007), Climate change: observations, predictions, and impacts for the wine industry, *Colloque international et pluridisciplinaire « Réchauffement climatique, quels impacts probables pour le vignoble ? »*, UNESCO « Vin et culture », 28-30 mars 2007, Dijon et Beaune, France.
- Monteiro A. *et al.* (2003), *Atlas agroclimático do entre Douro e Minho*. Projecto POCTI/GEO/14260/1998, 345 p.
- Madureira H., Monteiro A., Azevedo D., Ramadas I. et Ferreira C. (2002), Productivité viticole dans le nord-ouest du Portugal et variabilité climatique interannuelle, *Association Internationale de Climatologie*, vol. 14, pp. 120-126.
- Alcoforado M.J. (1982), *Dominios Bioclimáticos em Portugal, definidos por comparação dos índices de Gausson e de Emberger*, C.E.G., Lisboa, 31 p.
- Daveau S. (1988), *Geografia de Portugal – O Ritmo Climático e a Paisagem*, *Edições João Sà da Costa*, Lisboa.
- Garido J. (1984), *Zonagem vitícola da Sub-Região de Monção, caso do “Alvarinho”*, Diplôme d’Ingénieur de l’université de Vila Real (Portugal), 150 p.
- Quénol H., Monteiro A. et Beltrando G. (2004), Mesures climatiques aux échelles fines (météorologiques et agronomiques) et variabilité spatiale du gel printanier dans le vignoble de Vinho Verde. *Norois*, 193, pp. 117-132.