



Norois

Environnement, aménagement, société

193 | 2004/4

Varia

Mesures climatiques aux échelles fines (météorologiques et agronomiques) et variabilité spatiale du gel printanier dans le vignoble de Vinho Verde (Portugal)

*Micro scales meteorological and agronomical measurements and spatial
variability of spring frost in Vinho Verde vineyard (Portugal)*

Hervé Quénol, Ana Monteiro, Gérard Beltrando et Angela Maciel



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/norois/826>

DOI : 10.4000/norois.826

ISBN : 978-2-7535-1541-3

ISSN : 1760-8546

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2004

Pagination : 117-132

ISBN : 978-2-7535-0081-5

ISSN : 0029-182X

Référence électronique

Hervé Quénol, Ana Monteiro, Gérard Beltrando et Angela Maciel, « Mesures climatiques aux échelles fines (météorologiques et agronomiques) et variabilité spatiale du gel printanier dans le vignoble de Vinho Verde (Portugal) », *Norois* [En ligne], 193 | 2004/4, mis en ligne le 19 août 2008, consulté le 30 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/norois/826> ; DOI : 10.4000/norois.826

Ce document a été généré automatiquement le 30 avril 2019.

© Tous droits réservés

Mesures climatiques aux échelles fines (météorologiques et agronomiques) et variabilité spatiale du gel printanier dans le vignoble de Vinho Verde (Portugal)

Micro scales meteorological and agronomical measurements and spatial variability of spring frost in Vinho Verde vineyard (Portugal)

Hervé Quénol, Ana Monteiro, Gérard Beltrando et Angela Maciel

NOTE DE L'ÉDITEUR

Cet article a été reçu le 21 janvier 2004 et définitivement accepté le 10 septembre 2004.

REMERCIEMENTS : Les auteurs remercient les ingénieurs Joachim Guerner et Ilda Ramadas de la direction régionale de l'Agriculture de Entre Douro e Minho (DRAEDM) et l'ingénieur João Garrido, directeur de la station expérimentale viticole de Amandio Galhano à Arcos-de-Valdevez.

Introduction

- 1 Depuis quelques années, une part importante de la production du *vinho verde* s'oriente vers l'exportation. Cela se manifeste par une forte diminution des petits producteurs exerçant une agriculture vivrière au profit d'une viticulture commerciale peu pratiquée jusqu'alors dans cette région du Portugal. Bien que le nombre d'exploitants viticoles et la surface totale en vigne aient fortement diminués dans la région do Entre Douro e Minho, l'évolution de la distribution spatiale de la surface en vigne des deux dernières décennies montre une augmentation dans les communes de l'intérieur de la région au détriment du

littoral (données des Recensements Généraux de l'Agriculture de 1989 et de 1999). Cette évolution se traduit par le développement de nouvelles plantations occupant des parcelles relativement grandes alors que la viticulture traditionnelle sous la forme de haies en bordure de champs diminue (Madureira *et al.*, 2002). L'accroissement des grandes parcelles dans les vallées de l'intérieur s'effectue souvent sans se soucier des conditions topoclimatiques, primordiales pour le développement de la vigne et qui varient fortement dans cette partie de la région où la topographie est accidentée. Le climat, fortement influencé par le relief (montagnes et collines), se caractérise par des périodes de chaleur et de froid intenses engendrant la probabilité d'un risque pour la vigne (gelée de printemps, stress thermique et hydrique).

- 2 Tout au long de sa croissance, la vigne nécessite des conditions climatiques spécifiques pour son développement. Mais, les conditions climatiques optimales pour la vigne sont rencontrées sur des espaces relativement restreints car les aspérités et la nature de la surface influent localement sur les variables météorologiques. La topographie (exposition, pente, altitude) et la proximité de lacs/rivières/océan sont autant de paramètres pouvant faire varier les paramètres météorologiques sur quelques dizaines de mètres et donc, de provoquer une forte variabilité spatiale des risques climatiques (Foulonneau, 1967 ; Carrega, 1994 ; Guyot, 1997 ; Bonnardot *et al.*, 2001 ; Quénol, 2002).
- 3 Pour définir les spécificités climatiques d'un vignoble, les stations météorologiques régionales sont souvent trop espacées (en moyenne 1 station tous les 30 km dans la région « do Entre Douro e Minho ») et elles ne permettent pas de mettre en évidence les variations microclimatiques. Face à l'insuffisance du réseau classique, la mise en place d'un dispositif de mesures météorologiques adapté aux échelles fines est nécessaire pour déterminer et comprendre la forte variabilité spatiale des températures surtout lorsque le terrain est accidenté. Un protocole de mesures météorologiques et agronomiques adapté aux échelles fines a été mis en place dans deux vignobles voisins (moins de 30 km) réputés pour la qualité des vins mais dont les différences de cépages et des types de vin (taux d'alcool, couleur) laissent entrevoir des conditions climatiques locales spécifiques (Reis, 2002). Sur les deux sites expérimentaux, les données météorologiques (températures et humidité relative) sont enregistrées en continu de février à octobre (du début de la reprise de végétation jusqu'aux vendanges).
- 4 Dans cet article, seuls les résultats liés au risque gélif radiatif sont présentés (au printemps, de février à mai). Le gel printanier est une calamité agricole relativement fréquente dans cette région dont les conséquences peuvent aboutir à la destruction totale des bourgeons et dont la variabilité spatiale est fortement tributaire des conditions de surface. En 1988 et 1998, une baisse de production viticole d'environ 40 % (par rapport à la moyenne 1978-1988) a été provoquée par des fortes gelées printanières qui ont détruit une partie des bourgeons (Monteiro, 2003). Les dommages étant variable dans l'espace, certains viticulteurs n'ont subi aucun dégât alors que d'autres ont perdu la totalité de leur récolte.
- 5 Schématiquement, on distingue deux types de gel appelés « advectif » et « radiatif ». Le gel advectif est dû à l'arrivée d'une masse d'air froid (vent > 3 m/s) différente de celle qui est en place. La variabilité thermique est très faible et généralement, après une très forte gelée printanière advective, les dégâts sur les vignes sont généralisés et l'action de la topographie ou de l'état de la surface sur la répartition des dommages est peu importante. Le gel radiatif se produit lorsque le ciel est clair ou peu nuageux et que la vitesse du vent est inférieure à 2 m/s. Ce type de refroidissement nocturne se produit

lorsque le rapport entre l'énergie reçue par le sol et l'énergie renvoyée par l'atmosphère est négatif. L'absence de rayonnement solaire après le coucher du soleil provoque une baisse de la température jusqu'au lever du jour pouvant engendrer des gelées en fin de nuit. L'air froid, plus lourd et plus dense que l'air ambiant, reste au niveau du sol par subsidence et s'écoule par gravité (Marht, 1986 ; Fallot, 1992 ; Carrega, 1994 ; Bridier, 2001 ; Quénol, 2002). La géographie des températures nocturnes est tributaire de la vitesse des écoulements gravitaires. Une vitesse élevée de l'écoulement limite le refroidissement par brassage des molécules d'air (dégagement de chaleur) alors qu'un ralentissement provoque une stagnation de l'air et l'accentuation du refroidissement (Cellier, 1989). Par conséquent, la variabilité spatiale des basses températures, peu accentuée sur des parcelles en zone plane, est importante sur des terrains accidentés ; les secteurs les plus froids étant observés généralement dans les dépressions ou en amont d'obstacles (blocage de l'air froid). Pour la vigne, le risque gélif dépend de la température atteinte et de la capacité du végétal à résister aux forts refroidissements, sachant qu'elle varie selon le cycle végétatif – *sensibilité croissante du débourrement du bourgeon à la formation du fruit* – et selon les variétés (Endlicher, 1980 ; Anonyme, 1991 ; Girard, 1994 ; Beltrando, 1998 ; Vinet, 1999 ; Quénol, 2002).

- 6 L'objectif de cette étude est de déterminer par l'intermédiaire de mesures météorologiques et d'observations agronomiques, les secteurs les plus gélifs en fonction des caractéristiques de surface (topographie, proximité d'une rivière). Les résultats pourraient permettre à la profession viticole d'adopter une politique d'encépagement raisonnée (ex : plantation de cépages peu sensibles au gel ou au débourrement moins précoce dans les secteurs les plus gélifs) ou de mettre en place des méthodes de protection contre le gel (bougies, aspersion) dans les secteurs les plus froids.

Méthode et données

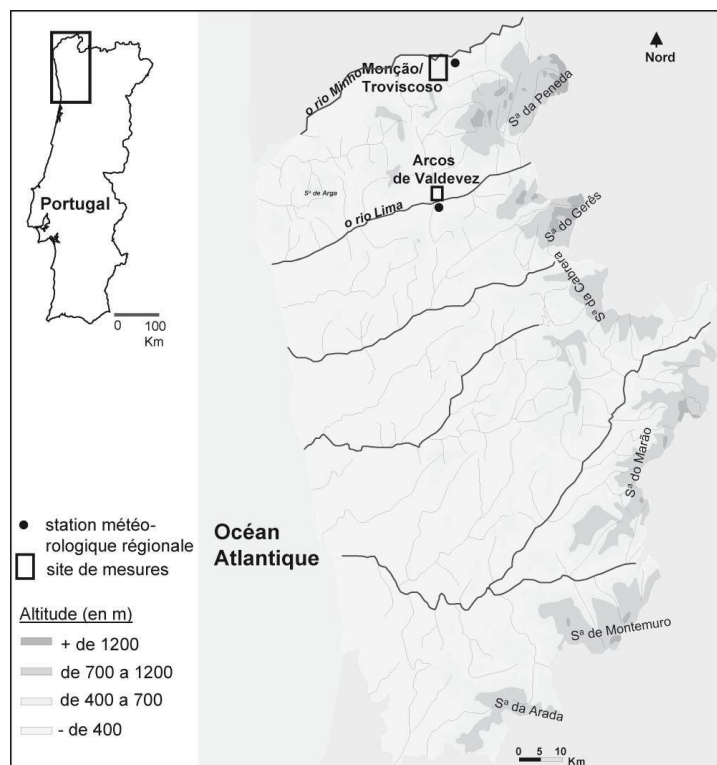
- 7 L'étude se déroule dans le nord-ouest du Portugal, plus précisément dans la « Région Démarquée des *vinhos verdes* », qui est limitée au nord et au sud par les fleuves Minho et Lima et à l'est par des montagnes dont l'altitude est supérieure à 1000 mètres (fig. 1). Cet espace est caractérisé par un relief accidenté, dont les altitudes croissent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'océan Atlantique (à Serra da Peneda-Soajo 1 416 m). 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.*, 2001). 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.

Sites d'étude

- 8 Les deux terrains expérimentaux sont distants d'environ 30 km 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)

(fig. 1). Ces deux sites présentent une topographie accidentée et sont peu soumis à l'influence maritime.

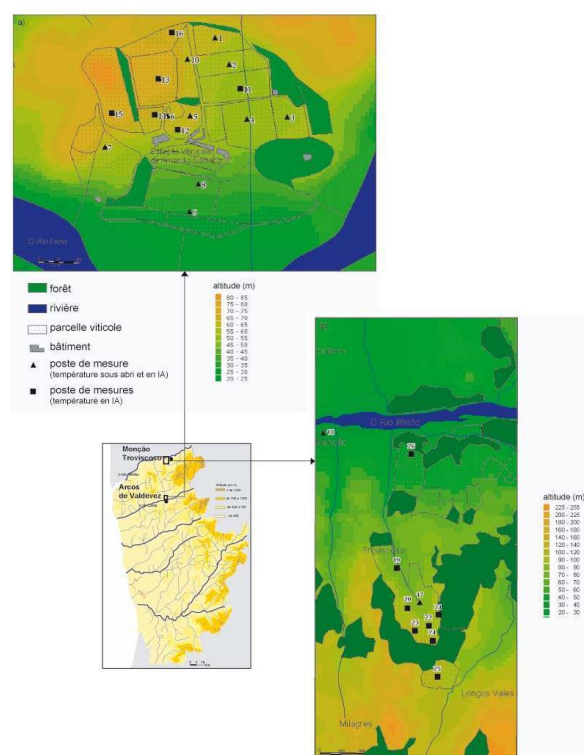
Figure 1 : Localisation des sites expérimentaux au Nord-Ouest du Portugal
Localization of the study area



- 9 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 50-60 m, bordées de mamelons d'altitude maximale de 80 m et aboutissant dans la vallée du Lima (orientation ouest-est ; altitude 30 m). La pente générale d'orientation nord-sud est d'environ 3° (fig. 2a).
- 10 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 pédo-climatiques 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 2° (fig. 2 b).

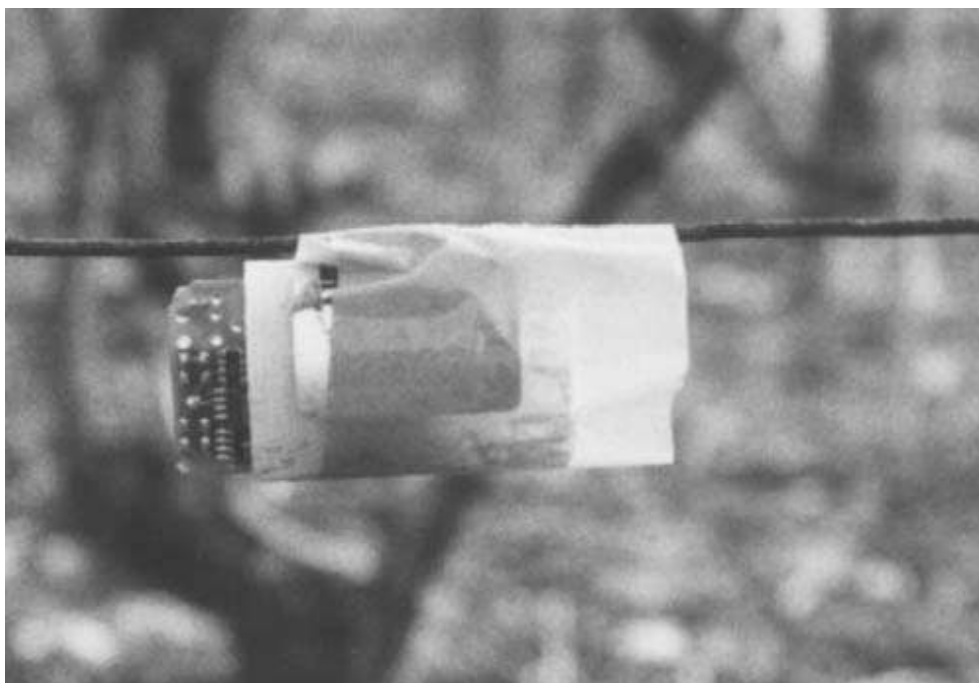
Figure 2 : Terrains expérimentaux d'Arcos-de-Valdevez (a) et de Monção/Troviscoso (b)
Study area of Arcos-de-Valdevez (a) and Monção/Troviscoso (b)



Protocoles et instruments de mesures

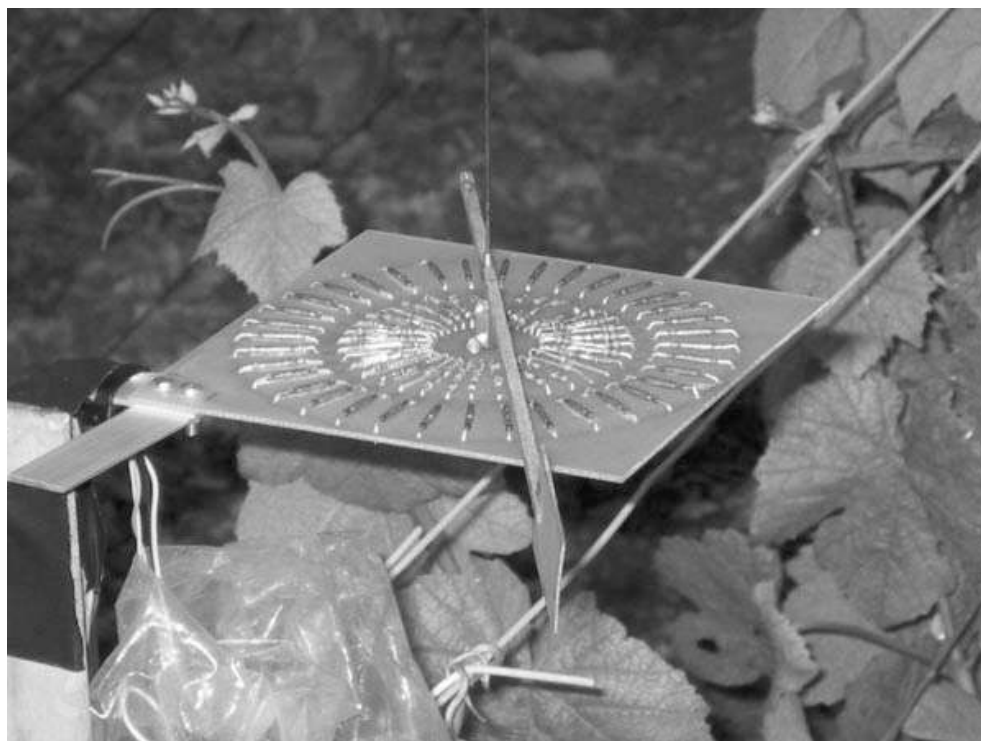
- 11 Au cours des nuits gélives printanières, des thermomètres enregistreurs (type Tiny Talk) ont été répartis, à l'air libre, sur les deux sites à 1,50 m de la surface (hauteur moyenne des bourgeons). Ils permettent de mesurer, suivant un pas de temps prédéfini de 15 minutes, la température en indice actinothermique (IA), qui est la valeur la plus proche de celle subie par la surface du végétal (photo 1). Tous les capteurs ont été étalonnés au même standard avant le début de la campagne de mesure, pour permettre la comparaison des valeurs. L'emplacement des capteurs a été choisi en fonction de la topographie des sites (pente, dépression, exposition) et des caractéristiques de surface (proximité d'obstacles, forêt, rivière, etc.). Seize thermomètres ont été disposés sur le site d'Arcos-de-Valdevez et huit, sur le site de Monção/Troviscoso. Sur certains postes de mesures (terrasses à Arcos-de-Valdevez), des relevés de températures ont également été effectués verticalement entre 1,50 m et 3 m.

Photo 1 : Capteur de température Tiny Talk
Temperature sensor (Tiny Talk)



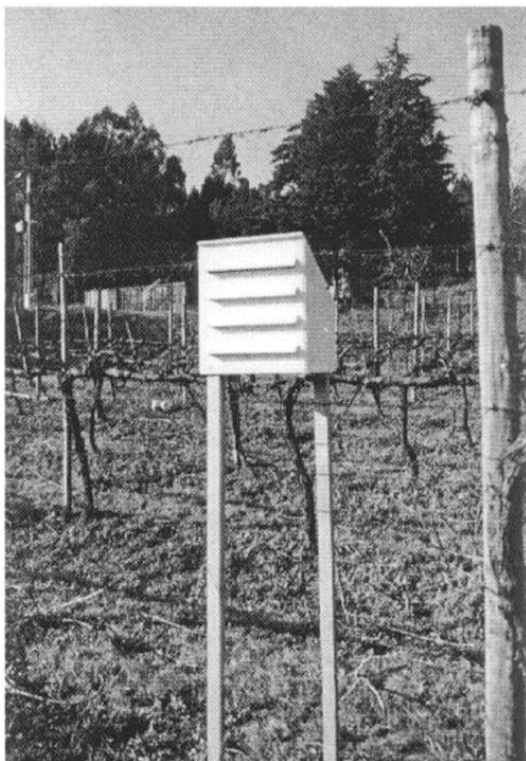
- 12 Pour mesurer la direction des écoulements gravitaires (faible vitesse < 2 m/s), une girouette en balsa (conception H. Quénot) a été employée (photo 2). Munis de ce capteur ultra-sensible et d'une boussole, des mesures itinérantes tout au long de la nuit ont permis de déterminer l'aérogologie nocturne des deux sites en situations gélives.

Photo 2 : Girouette électronique sensible aux faibles écoulements
Sensitive electronic wind vane



- 13 En complément de ces mesures, cette étude s'appuie sur les données thermiques relevées par douze capteurs (type Tiny Talk) sous abri disposés sur les deux sites et enregistrant la température toutes les quinze minutes entre février 2003 et octobre 2003 (période d'activité de la vigne). Dix postes météorologiques avec abri (conception H. Quénot) (photo 3) sont répartis à Arcos-de-Valdevez suivant les caractéristiques topographiques et environnementales du site (pente, exposition, terrasse, cuvette, etc.), un poste se situe sur une parcelle viticole en bordure du Rio Minho à Monção (alt. 20 m) et un autre est disposé en fond de vallée dans le vignoble de Troviscoso (alt. 65 m) (fig. 2 et tableau 1).

Photo 3 : Abri météorologique
Sensor shelter



- 14 Les mesures se sont déroulées durant la période où le risque de gel est dommageable pour la vigne : de la mi-février à mai. Les températures nocturnes sous abri obtenues sur les postes fixes ont été analysées pour cette période en fonction des types de temps (anticyclonique, dépression, état du ciel, force et direction du vent dominant). Les mesures spécifiques aux nuits gélives ont été réalisées en situation radiative (ciel clair à peu nuageux, vitesse du vent < 2 m/s). Pour cet article, les résultats pour trois nuits sont présentés : 15 au 16 février 2003 ; 16 au 17 février 2003 et 3 au 4 mai 2003.

Tableau 1 : Caractéristiques des postes de mesures fixes avec abri dans les vignobles d'Arcos-de-Valdevez et de Monção/Troviscoso
Stations characteristics (under shelter) in the vineyards of Arcos-de-Valdevez and Monção/Troviscoso

	altitude (m)	pente (°)	exposition	autres caractéristiques
P1	60	1	sud-sud-est	terrasse
P2	56	1	sud-sud-est	terrasse
P3	53	2	ouest	forêt
P4	50	1	sud-sud-est	terrasse et resserrement
P5	60	> 5	est	—
P6	60	> 5	ouest	—
P7	62	> 5	sud-sud-est	—
P8	38	1	sud	bâtiment en amont
P9	30	< 1	—	proximité de rivière
P10	63	> 5	est	—
P17	70	1	—	fond de vallée
P18	17	1	—	proximité de rivière

- 15 En parallèle avec l'expérimentation météorologique, un suivi phénologique de la vigne est effectué entre le débourrement et le développement des inflorescences de la vigne afin d'observer l'influence du refroidissement nocturne sur le végétal.

Données topographiques et occupation du sol

- 16 La forte variabilité spatiale du gel aux échelles fines est provoquée principalement par la topographie et l'état de la surface (occupation du sol, etc.). Il convient donc d'utiliser une méthode de représentation spatiale permettant d'intégrer les caractéristiques de surface (morphologie, occupation du sol) avec les données météorologiques. Le Système d'Information Géographique (SIG) est le moyen le plus approprié pour réaliser ce type d'opération.
- 17 La topographie (altitude, pente) a été calculée à partir d'un Modèle Numérique de Terrain et d'un ensemble de traitements réalisés avec les fonctions « Slope Angle, Aspect Ratio » du logiciel d'interpolation spatiale « Surfer ». Après avoir digitalisé les courbes de niveau des cadastres (1/5 000) et des cartes 1/25 000 d'Arcos de Valdevez et de Monção, les coordonnées X, Y et Z (projection UTM Mercator Zone 29) ont été saisies sous un Système d'Information Géographique (Mapinfo) puis exportées sous Surfer afin de réaliser les champs d'altitude et de pente.
- 18 L'intégration de l'occupation du sol dans le SIG passe par un traitement préalable de données en deux phases : tout d'abord, les objets sont représentés à partir de documents géoréférencés (graphie aérienne, cartes topographiques, cadastre) puis des informations complémentaires leur sont attribués par l'intermédiaire d'une observation sur le terrain. L'occupation du sol a été cartographiée à partir de cartes militaires 1/25 000, des plans du cadastre au 1/5 000 ainsi que de photographies aériennes en couleur. La photographie aérienne est utilisée comme document d'appui pour répertorier les éléments du milieu. À l'aide de ces documents géoréférencés en UTM Mercator Z29 dans le SIG, nous représentons, sous la forme d'objets vectoriels (points, lignes et polygones), le vignoble, les bâtiments et les réseaux (routiers et hydrographiques) (fig. 2). La résolution des documents permet de cartographier l'occupation du sol. Cependant, il n'est pas possible de déterminer certaines caractéristiques des objets reconnus par la photo-interprétation comme par exemple, la variété des vignes, le niveau de croissance ou le niveau de maturité du raisin. Des observations sur le terrain ont permis de pallier ces insuffisances.

Résultats

- 19 Les résultats des mesures réalisées au printemps (février à mai) concernent la période entre la reprise de la végétation (débourrement) et le développement des inflorescences de la vigne. Durant cette période, les températures nocturnes (minimales) ne doivent pas être trop basses afin d'éviter le risque de gel qui peut être fatal pour les bourgeons.

Données des stations fixes : forte variabilité spatiale des températures par temps radiatif

- 20 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.
- 21 L'importante disparité spatiale des températures est principalement liée aux différences topographiques. Les moyennes des températures minimales journalières entre février et

avril 2003 (entre mars et avril pour les postes n° 8, Troviscoso et Rio Minho) sont nettement plus élevées à Monção/Troviscoso qu'à Arcos-de-Valdevez. Pour les mois de mars et avril, l'écart moyen des températures minimales entre le poste n° 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 (n° 1, 2, 3, 4) ou en fond de vallée (n° 8, 9). Inversement, les secteurs où le refroidissement nocturne est le moins intense correspondent aux postes où la pente est la plus forte (n° 5, 7, 10). La répartition spatiale des températures minimales est donc liée à la topographie du site (tableau 2) :

- 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'est-à-dire les secteurs où l'air froid au niveau du sol est toujours en mouvement.

Tableau 2 : Moyenne mensuelle des températures minimales sous abri enregistrées à différents postes entre février et mai 2003

Monthly mean of the minimal temperatures under shelter recorded at various stations between February and May 2003

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P17	P18	Ec. Typ
Altitude (en m)	60	56	53	50	60	60	62	38	30	63	70	17	
Moyenne	6	5,7	5,8	5,4	6,3	6,6	6,2	N	5,9	6,3	—	—	0,4
Moy. Février	3,1	2,6	2,9	2,3	3,6	4,2	3,5	N	2,9	3,6	—	—	0,6
Moy. Avril	6,2	5,7	6	5,5	6,5	6,9	6,3	6,1	6	6,5	6,3	6,4	0,4
Moy. Mai	7,3	7,2	7,1	6,9	7,7	7,6	7,4	7,3	7,3	7,7	8,5	8,2	0,3

- 22 La variabilité spatiale des températures minimales est la plus forte en situation radiative lorsque le ciel est clair et la vitesse du vent < 2 m/s. D'ailleurs, l'écart type moyen des températures entre les différents postes est le plus important en février (0,6 °C), mois où les nuits radiatives ont été les plus fréquentes (tableau 2). 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 n° 4 et Troviscoso) lors des situations marquée par un ciel clair et une température de 0,5 °C lorsque le ciel est nuageux (tableau 3).

Tableau 3 : Moyenne mensuelle des températures minimales sous abri en fonction de l'état du ciel (moyenne réalisée entre mars et mai 2003)

Monthly mean of the minimal temperatures under shelter according to the sky nebulosity (mean calculated between March and May 2003)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P17	P18	Ec. Typ
Altitude (en m)	60	56	53	50	60	60	62	38	30	63	70	17	
Ciel clair (< 1 octa)	3,4	2,9	3,1	2,5	4	4,1	3,6	3,3	3,2	4	5,1	4,9	0,7
Ciel clairsemé (entre 1 et 4 octas)	6,7	6,4	6,4	6	6,9	7,1	6,8	6,6	6,5	7	7,3	7	0,3
Ciel nuageux (> 4 octas)	8,6	8,5	8,5	8,3	8,9	9,1	8,6	8,7	8,6	8,8	8,9	8,9	0,2

- 23 L'analyse des températures minimales enregistrées toutes les nuits des mois de février, mars et avril met en évidence une forte variabilité spatiale entre les deux sites expérimentaux et entre les différents points de mesures d'Arcos-de-Valdevez :
- écart moyen entre 1,5 °C et 2,5 °C entre Troviscoso et Arcos-de-Valdevez en situation radiative avec ciel clair ;
 - températures les plus froides enregistrées dans les secteurs peu pentus (accumulation d'air froid), en situation anticyclonique avec une faible nébulosité et un vent faible ;
 - températures les plus chaudes sur les postes expérimentaux où la pente est supérieure à 5° en situation dépressionnaire avec un ciel nuageux.
- 24 On note un écart moyen de près de 2 °C entre deux postes de mesures proches de quelques dizaines de mètres (n° 4 et 5) mais dont la situation topographique est différente. Sur deux stations météorologiques régionales distantes de plusieurs kilomètres, cette différence de températures peut être significative pour la viticulture, pourtant dans ce cas elle est engendrée par la topographie locale. Donc, sur des espaces relativement restreints, le risque de gel dans un vignoble varie fortement. Pour un même cépage, le risque gélif sera nettement plus important dans les secteurs subhorizontaux ou en amont d'obstacles (blocage et stagnation de l'air froid).

Mesures spécifiques lors des nuits gélives radiatives : variabilité spatiale des températures en fonction de l'aérologie locale

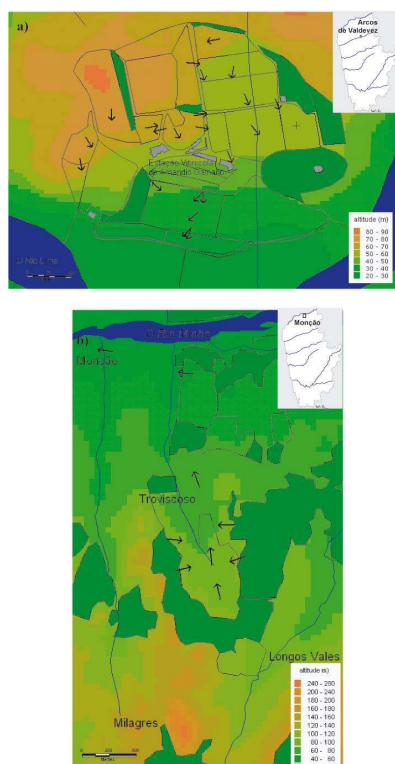
- 25 En situation gélive d'origine radiative, la géographie des températures minimales est donc tributaire des conditions de surface (topographie, environnement). Les mesures aérologiques et thermiques nocturnes ont pour but de comprendre le comportement des températures sur les terroirs expérimentaux et de définir les secteurs où le risque gélif est le plus fort.

Écoulements gravitaires

- 26 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.
- 27 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 différentes : les secteurs en terrasses (n° 1, 2 et 4) exposées nord-sud et de pente < 2° auxquels correspondent des écoulements de vitesse inférieure à 1 m/s et des secteurs d'expositions est, sud ou ouest (n° 7, 5 et 10) et de pente toujours supérieure à 5° auxquels correspondent des écoulements supérieurs à 2 m/s (fig 3a).
- 28 À Troviscoso, 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 200 m 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 (> 3 m/s). Au niveau du Minho, une brise de vallée descendante provient de l'est (fig 3b).

Figure 3 : Écoulements gravitaires nocturnes de la nuit radiative du 15 au 16 février 2003 à Arcos-de-Valdevez (a) et à Monção/Troviscoso (b) (les flèches représentent la direction des écoulements
Air flows of the radiative night from the 15 to February 16, 2003 in Arcos-de-Valdevez (a) and Monção/Troviscoso (b) (the arrows represent the flows direction)



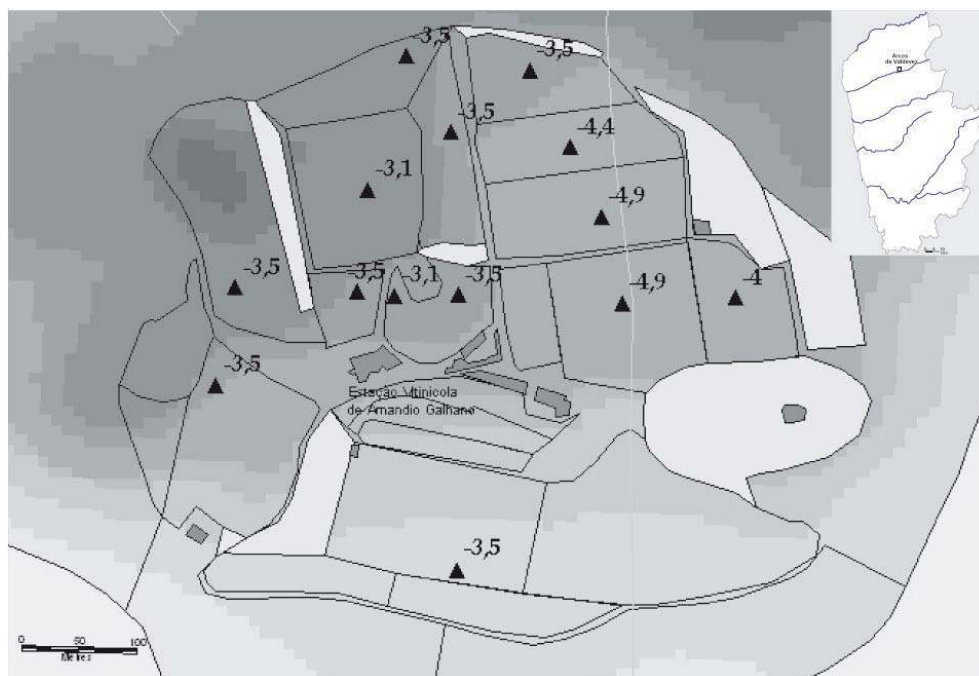
Températures nocturnes en indice actinothermique

- 29 L'évolution des températures en 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.
- 30 Sur le site d'Arcos-de-Valdevez, les valeurs minimales de la nuit sont beaucoup plus basses sur les postes situés en zone d'accumulation d'air froid que sur les secteurs en pente. La nuit du 16 au 17 février 2003, le refroidissement nocturne a été le plus froid sur les postes 2, 11 et 4 (entre $-4,4$ °C et $-4,9$ °C). Il s'agit de terrasses subhorizontales où l'air froid s'écoule très lentement et il a même tendance à stagner. Le resserrement entre la colline et les bâtiments en aval du point n° 4 accentue encore plus 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 5° (n° 5, 7, 10, etc.) ou sur le sommet de collines (n° 13), les températures minimales sont plus élevées de $1,5$ °C à 2 °C (entre $-3,1$ et $-3,5$ °C). Le point de mesure n° 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 (fig. 4). 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.

Figure 4 : Températures minimales en Indice Actinothermique (IA) lors de la nuit radiative du 16 au 17 février 2003 à Arcos-de-Valdevez

Minimal temperatures in Actinothermic Index (AI) during the radiative night from the 16 to the 17 of February, 2003 in Arcos-de-Valdevez



- 31 La nuit du 15 au 16 février 2003, la répartition spatiale des températures minimales est similaire à l'exemple précédent avec toutefois une valeur plus basse sur le point 9 par rapport aux postes en pente. L'écart thermique entre les terrasses et les secteurs en pente est supérieur à 2 °C (fig. 5). La figure 6 présente les températures enregistrées toutes les 15 minutes sur les postes n° 4 (terrasse), n° 10 (pente > 5°) et n° 9 (terrasse proche de la vallée). Tout au long de la nuit, le refroidissement sur la terrasse est plus intense d'environ 2 °C par rapport au secteur en pente. Le refroidissement nocturne sur le poste 9 est plus fort que sur le poste n° 4 au début de la nuit (entre 22 h 00 et 00 h 00) car l'air froid vient s'accumuler dans le fond de la vallée. Dans la deuxième partie de la nuit, la saturation de l'air plus humide à proximité de la rivière limite le refroidissement sur le poste 9 alors que le poste n° 4 subit un refroidissement plus intense.

Figure 5 : Températures minimales en Indice Actinothermique (IA) lors de la nuit radiative du 15 au 16 février 2003 à Arcos-de-Valdevez

Minimal temperatures in Actinothermic Index (AI) during the radiative night from the 15 to the 16 of February, 2003 in Arcos-de-Valdevez

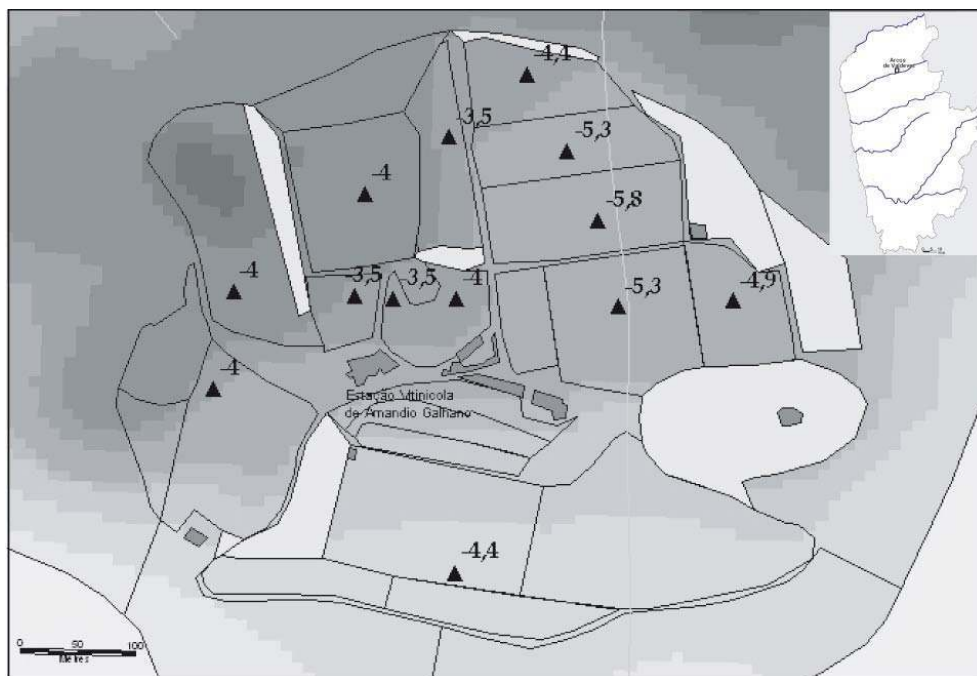
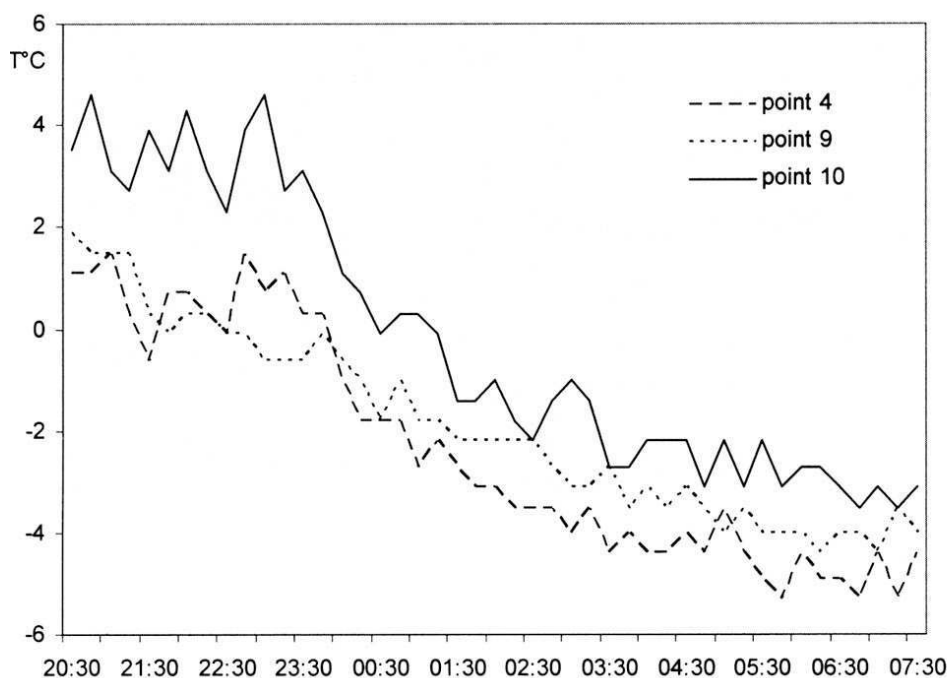


Figure 6 : Évolution des températures minimales en Indice Actinothermique (IA) lors de la nuit radiative du 15 au 16 février 2003 à Arcos-de-Valdevez

Minimal temperatures evolution in Actinothermic Index (AI) during the radiative night from the 15 to the 16 of February, 2003 in Arcos-de-Valdevez



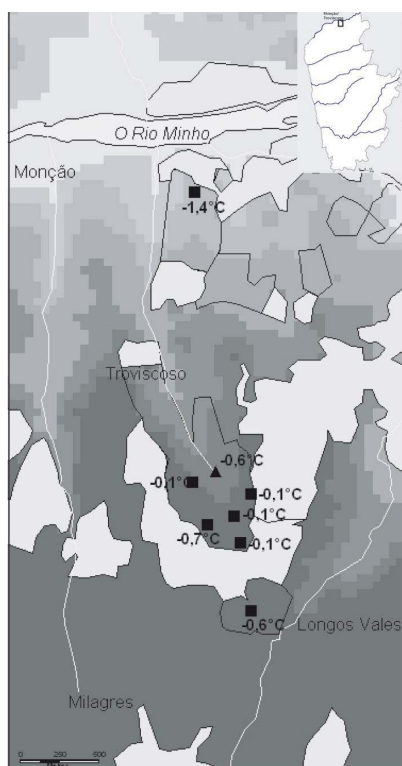
- 32 Sur le site de Troviscoso, la variabilité spatiale des températures minimales de la nuit du 15 au 16 février 2003 est moins importante qu'à Arcos-de-Valdevez : dans la vallée de

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°C .

- 33 Par rapport au site d'Arcos-de-Valdevez, les températures sont nettement plus élevées (entre $+3,5^{\circ}\text{C}$ et $+6^{\circ}\text{C}$) (fig. 5 et 7). L'aérologie 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 3 m/s 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 (IA) lors de la nuit radiative du 15 au 16 février 2003 à Monção/Troviscoso

Minimal temperatures in Actinothermic Index (AI) during the radiative night from the 15 to the 16 of February, 2003 in Monção/Troviscoso



Comportement de l'air froid sur des terrasses viticoles

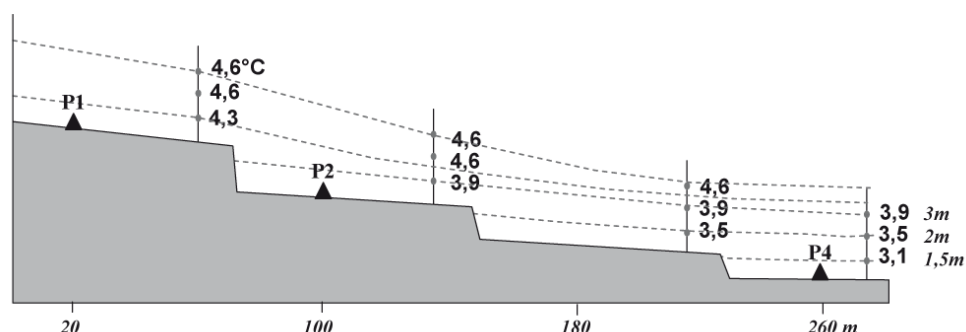
- 34 La répartition des températures au niveau des systèmes de terrasses présente des caractéristiques spécifiques liées à la topographie artificielle de ce type de terroir : pente moyenne importante à l'échelle d'une succession de terrasses et très faible pente à l'échelle de la terrasse. À Arcos-de-Valdevez, le secteur en terrasses présente une pente moyenne de 3° alors que chaque terrasse présente une pente inférieure à 1° . Il est donc important d'étudier la climatologie de ce type de topographie à une échelle d'observation qui tienne compte de ces particularités (pente et terrasse) très localisées. Ce type de

configuration est d'autant plus intéressante à étudier qu'elle est largement répandue dans les terroirs de vinho verde.

- 35 La figure 8 montre les résultats des mesures de températures réalisées à 1,50 m, 2 m et 3 m au-dessus du sol sur les points n° 1, 2 et 4 situés sur des terrasses successives. Des mesures d'écoulements d'air ont permis d'observer que l'air froid s'écoule lentement du point 1 au point 4. L'air froid glisse par nappes formant des couches successives dont les plus froides se situent à proximité du sol (stratification verticale de l'air froid). Cet air s'écoulant lentement suivant les lignes de pente, les températures les plus froides se trouvent sur la terrasse la plus basse (n° 4). Par exemple, la température minimale relevée à 2 m au-dessus du sol sur le point n° 2 correspond à celle observée à 3 m au-dessus du sol sur le point n° 4. Le comportement des températures nocturnes en situation radiative dans un système de terrasses se caractérise par deux phénomènes d'échelles spatiales différentes : 1) à l'échelle du système de terrasses, la pente est suffisamment forte pour que l'air superficiel s'écoule 2) à l'échelle de la terrasse, où le terrain relativement plat favorise la stagnation de l'air froid. Par conséquent, la combinaison de ces deux phénomènes provoque la superposition de nappes d'air froid dont les plus froides se situent sur les points les plus bas.

Figure 8 : Profil vertical des températures minimales de la nuit radiative du 3 au 4 mai 2003 (mesures effectuées à 1,50, 2 et 3 m au-dessus du sol) sur les terrasses du site d'Arcos-de-Valdevez

Vertical profile of the minimal temperatures during the radiative night from the 3 to the 4 of May, 2003 (measurements taken at 1.50, 2 and 3 m above ground-level) on the terraces of the Arcos-de-Valdevez area



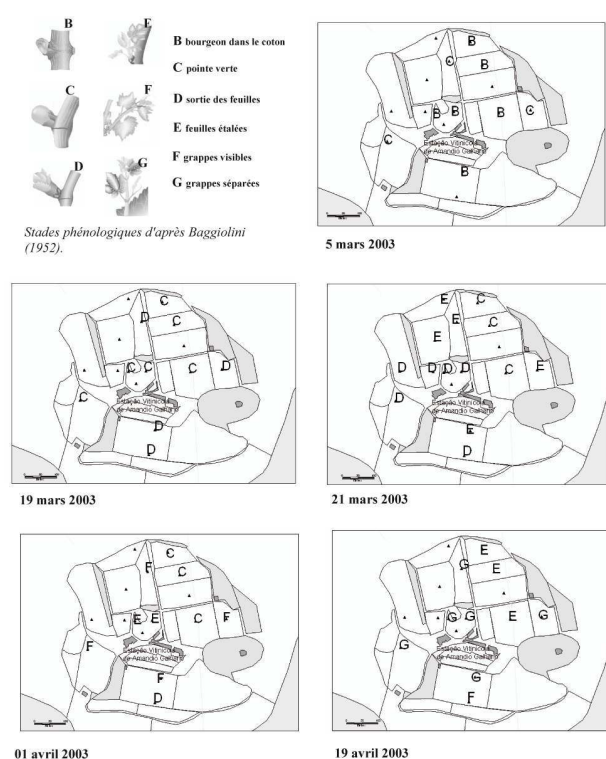
Suivi de l'évolution des stades phénologiques de la vigne

- 36 Parallèlement à l'expérimentation météorologique, un suivi de l'état physiologique de la vigne a été effectué au cours du printemps afin d'observer l'évolution de sa croissance sur l'ensemble des points de mesures. 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.
- 37 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. 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 n° 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 n° 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 (fig. 9). Les postes expérimentaux où l'aléa est le plus fort (n° 1, 2 et 4) correspondent aux cépages les moins vulnérables aux basses températures.

Figure 9 : Suivi de la croissance de la vigne entre le débourrement et la floraison sur le site d'Arcos-de-Valdevez

Observation of the vine growth between bud break and flowering in the Arcos-de-Valdevez area



Bilan et discussion

- 38 Les mesures des températures nocturnes sous abri (2 m) et en indice actinothermique (50 cm) 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).
- 39 Le microclimat sur le site d'Arcos-de-Valdevez se définit par une forte variabilité spatiale des températures nocturnes engendrée par la topographie. Les températures nocturnes en situation radiative (ciel clair, vent inférieur à 2 m/s) 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 tels que le *Loureiro* (cultivé sur les coteaux de ce terroir). Toutefois, lors des épisodes gélifs de mi-février, les températures négatives sur les coteaux ont atteint des valeurs (-4°C la nuit du 15 au 16 février 2003 ; $-3,5^{\circ}\text{C}$ la nuit du 16 au 17 février 2003) pouvant provoquer des dommages pour la vigne après le débourrement. Si ces épisodes gélifs s'étaient produits au début du mois de mars (débourrement du *Loureiro*), la probabilité que ce cépage subisse des dommages aurait été très grande. 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*. Cette variété à débourrement tardif est peu sensible au gel printanier, cependant si un fort refroidissement nocturne se produit à la mi-avril (stade E pour cette variété), les dégâts peuvent également être importants pour cette variété. Au cours de la nuit du 11 au 12 avril 1998, une forte gelée a engendré d'importants dégâts dans les vignobles de vinho verde (Madureira *et al.*, 2002). À Arcos-de-Valdevez, les dommages ont été observés sur la terrasse proche de la vallée du Lima au niveau des points 8 et 9. Il ne s'agit pas du secteur le plus froid (action modératrice de la rivière) mais des parcelles où le niveau de croissance de la vigne était le plus avancé.

- 40 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. L'aérodynamisme local nocturne explique que le refroidissement nocturne radiatif est peu important. La nuit, la présence d'écoulements gravitaires (vitesse supérieure à 3 m/s), engendrés par les fortes pentes des reliefs adjacents, limite la baisse des températures. 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. 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).
- 41 En conclusion, dans la partie intérieure de la région do Entre Douro e Minho, il faut éviter de planter des cépages sensibles dans les zones basses ou dans les secteurs abrités où les systèmes de brises (écoulements de pente, brise de vallée descendante) sont peu développés. Si le viticulteur désire planter de la vigne dans ces secteurs sensibles, il devra mettre en place des systèmes de lutte antigel adaptés (chaufferettes, aspersion d'eau, etc.).
- 42 Les résultats de cette étude sont basés sur une seule campagne de mesures. Une seconde réalisée entre février et octobre 2004 valide nos conclusions et confirme, notamment, la très forte variabilité spatiale des températures nocturnes suivant la topographie. Ces résultats confirment aussi ceux qui ont été obtenus dans le cadre d'un autre programme de recherche sur les écoulements d'air froid et les températures minimales dans le vignoble de Champagne (Bridier *et al.*, 1995 ; Beltrando *et al.*, 2002).

BIBLIOGRAPHIE

ALCOFORADO (M. J.), 1982. – *Dominios Bioclimáticos em Portugal, definidos por comparação dos índices de Gaussen e de Emberger*, CEG, Lisboa, 31 p.

ANONYME, 1991. – « Les gelées de printemps », *Le Vigneron champenois*, numéro spécial, 63 p.

BAGGIOLINI (M.), 1952. – « Les stades repères dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique », *Rev. Rom. Agric.*, 8, 1.

BELTRANDO (G.), 1998. – « Les gelées printanières en Champagne viticole ». *La Météorologie*, 8^e série, 21, p. 30-43.

BELTRANDO (G.), BRIDIER (S.), MADELIN (M.), QUENOL (H.), 2002. – « Évaluation de l'impact d'un futur remblai de la ligne à Grande Vitesse Est Européenne sur le risque de gel dans le vignoble de Champagne », *Hommes et Terres du Nord*, 1, p. 40-52.

BONNARDOT (V.), CAREY (V.), PLANCHON (o.), CAUTENET (s.), 2001. – « Sea breeze mechanism and observations of its effects in the Stellenbosch wine producing area », *Wynboer 10-14, Wineand*, p. 107-113.

BRIDIER (S.), 2002. – *Modélisation de la répartition des brises et des températures en situation radiative*, thèse de Doctorat de l'université Denis-Diderot (Paris 7), 178 p.

BRIDIER (S.), QUENOL (H.), BELTRANDO (G.), 1995. – Évaluation de l'influence d'un ouvrage linéaire en remblai – le TGV Est – sur l'écoulement de l'air froid. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 8, p. 233-240.

CARREGA (P.), 1994. – *Topoclimatologie et habitat*, Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée, thèse d'État, vol. 35 et 36, 408 p.

CELLIER (P.), 1989. – « Mécanismes du refroidissement nocturne : application à la prévision des gelées de printemps », dans *Le gel en agriculture*, INRA, p. 145-164.

DAVEAU (S.), 1988. – « Geografia de Portugal – O Ritmo Climático e a Paisagem », *Edições João Sà da Costa*, Lisboa, n.p.

ENDLICHER (W.), 1980. – « L'utilisation de mesures itinérantes et de thermographie comme moyen d'étude du mésoclimat : l'exemple des vignobles du Kaiserstuhl », *Recherches Géographiques à Strasbourg*, vol. 13-14, p. 127-133.

FALLOT (J.-M.), 1992. – *Étude de la ventilation d'une grande vallée préalpine* (la vallée de la Sarine en Gruyère), thèse de l'université de Fribourg, Suisse, 475 p.

FOULONNEAU (C.), 1967. – « Action du gel sur le végétal », dans *Le gel en agriculture*, INRA, p. 1-31.

GARIDO (J.), 1984. – *Zonagem viticola da Sub-Região de Monção, caso do « Alvarinho »*, Diplôme d'ingénieur de l'université de Vila Real (Portugal), 150 p.

GIRARD (g.), 1994. – *Gelées printanières en Médoc : le dispositif de protection par aspersion employé au Château Margaux*, Mémoire d'ingénieur INRA de Bordeaux, 78 p.

GUYOT (G.), 1997. – *Climatologie de l'environnement*, Masson, 505 p.

- MADUREIRA (H.), MONTEIRO (A.), AZEVEDO (D.), RAMADAS (I.), FERREIRA (C.), 2002. – « Productivité viticole dans le Nord-Ouest du Portugal et Variabilité climatique inter-annuelle », *Association Internationale de Climatologie*, vol. 14, p. 120-126.
- MAHRT (L.), 1986. – *Nocturnal topoclimatology*, WMO, 117, TD 132, Genève, 76 p.
- MONTEIRO (A.), 2001. – *Atlas agroclimático do entre Douro e Minho*, Projecto POCTI/GEO/14260/1998, 345 p.
- QUENOL (H.), 2002. – *Climatologie appliquée aux échelles spatiales fines : influence des haies brise-vent et d'un remblai ferroviaire sur le gel printanier et l'écoulement du mistral*, thèse de Doctorat de l'université de Lille 1, Publi. ANRT, 259 p.
- REIS (J. L.), 2002. – *An Região demarcada dos vinhos verdes : um século de história*, Comissão de Viticultura da Região dos Vinhos Verdes, 71 p.
- VINET (F.), 1999. – *Le risque grêle en France*, thèse de Doctorat de l'université de Lille 1, 650 p.

RÉSUMÉS

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. L'objectif est de fournir des indications permettant de mieux définir les types d'espace où, vis-à-vis des températures, la vigne peut être plantée de manière optimale. 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 ont mis en évidence une forte variabilité spatio-temporelle du risque gélif printanier d'une part, entre les deux sites et d'autre part, à l'intérieur même des terroirs.

In the Entre Douro e Minho area (North of Portugal) two distant vineyards (which different topography and grapes are studied from a agroclimatological perspective. The objective is to determine the optimal topoclimatic conditions for the culture of the vine. 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.

INDEX

Index géographique : Portugal

Mots-clés : climatologie, échelles fines, gel printanier, SIG, vignoble du vinho verde

Keywords : climatology, fine spatial scales, spring frost, vinho verde vineyard

AUTEURS

HERVÉ QUÉNOL

DYNAMIRIS (Dynamique des Milieux et Risques) – Université Denis-Diderot Paris 7, UMR 8586 –
CNRS, herve.quenol@uhb.fr

ANA MONTEIRO

Departemento da geografia – Universidade do Porto (Portugal)

GÉRARD BELTRANDO

DYNAMIRIS (Dynamique des Milieux et Risques) – Université Denis-Diderot Paris 7, UMR 8586 –
CNRS

ANGELA MACIEL

Departemento da geografia – Universidade do Porto (Portugal)