ÉVALUATION DU RÉGIME THERMIQUE DU CÉPAGE *VITIS VINIFERA* L. var. MELON DURANT LA SAISON FROIDE AU QUÉBEC

EVALUATION OF THERMAL REGIME OF *VITIS VINIFERA* L. var. MELON DURING WINTER TIME IN QUÉBEC

Y. JOLIVET, J.-M. DUBOIS et H. GRANBERG

Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, J1K 2R1 (Canada)

Résumé : Des mesures de température enregistrées à l'intérieur des parties aériennes et à proximité des racines de ceps de *Vitis vinifera* L. var. Melon ont permis de décrire leur comportement thermique. Les mesures de températures intratissulaires ont été recueillies à l'aide de thermocouples reliés à un système d'acquisition de données durant les saisons froides de 1994 et de 1995 dans un vignoble près de Sherbrooke, Québec. Les résultats montrent que la neige au sol est un facteur isolant très important qui permet de conserver les différentes parties aériennes et les racines des ceps à des températures supérieures au seuil de tolérance au froid (-10 °C à -20 °C). Durant les périodes critiques, les troncs, les sarments et les racines ont conservé des températures variant entre 0 ° et -4 °C malgré des températures minimales de l'air ambiant très inférieures. Cependant, la fonte complète ou partielle du couvert nival durant les périodes de redoux hivernaux les exposent au froid qui se fait sentir jusqu'à 60 cm de profondeur.

Abstract : The production of wine is a recent endeavour in Québec. In 1996, 95 p. cent of the commercial vineyards were found in the Eastern Townships and Montérégie regions, where climate puts severe constraints on viticulture. Very low winter time temperatures can occur and it is important to match vine hardiness to climate reality. This can be accomplished by plant selection and/or by application of variety of phytoprotective measures.
Field measurements of the thermal regime of different parts of vines (*Vitis vinifera* L. var. Melon) are reported here. Intratissular temperatures were recorded semi-continuously using fine (AWG n° 40) thermocouples and datalogger system. Measurements were recorded throughout the winters 1993-1994 in a vineyard near Sherbrooke, Québec. The measurements show that snow is very important factor ameliorating root-zone temperatures. Snow is also very important to keeping the aerial parts of the plant at temperatures well above their winter hardiness. Temperatures of 0 °C to 4 °C were recordeding snow cover parts of the plants even at ambient air temperatures near -30 °C. During cold spells, following periods of melt with complete removal of the snow cover, cooling was notes down to a depth of 60 cm in the soil and the aerial parts of the plants closely followed the air temperatures. By contrast, if the cold front marking the end of the melting event was accompanied by snowfall, such extreme cooling did not occur. Even just a few centimeters of snow had very important thermal effects.
Our results suggest that noble grapes, which give a more interesting wine, but which are less hardy than their hybrid counterparts, can survive in Québec, provided they remain snow covered. A snow cover of only about 10 cm would suffice to protect the vines. Active management of snow cover conditions by means of snow fences, or even by production of artificial snow, may be useful venues to investigate.

Mots-clés : Seuil de tolérance, couvert nival, température extrême, protection contre le froid, régime thermique.

Key-words : Winter hardiness, snow cover, extreme temperatures, frost protection, thermal rate.

INTRODUCTION

L'exploitation viticole est un phénomène récent au Québec (DUBOIS, 1993). La région de l'Estrie avec la Montérégie regroupait, en 1996, presque 95 p. cent des 25 vignobles commerciaux du Québec (DUBOIS et DESHAIES, 1997). Les conditions climatiques rigoureuses qui existent limitent le développement de ce type de culture, notamment les températures minimales hivernales qui semblent être la principale composante bioclimatique restreignant la culture de la vigne. L'exploitation viticole doit donc utiliser presque exclusivement les hybrides les plus résistants au froid. Le seuil de tolérance devient donc, pour le viticulteur québécois, un critère de sélection important lors du choix d'un cépage, la culture des hybrides y trouve donc toute sa justification, car ces derniers résistent à des tempé-

1 : correspondance : JMDUBOIS@courrier.usherb.ca

J. Int. Sci. Vigne Vin, 1998, **32**, n°2, 51-58
©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

ratures minimales entre -20 °C et -30 °C (GALET, 1988).

Actuellement, seuls quelques viticulteurs québécois ont entrepris la culture de *Vitis vinifera*. L'attrait est fort pour ces cépages nobles qui donneraient des fruits de qualité supérieure et, par conséquent, une qualité de vin rehaussée. Mais, le risque que comporte un tel choix de cépage sous ce climat est grand car les cépages nobles ne résistent qu'à des températures variant entre -10 °C et -20 °C (VANDAL, 1986). Dans ce contexte, il importe de trouver une solution qui permettrait la mise en culture de ces cépages nobles en climat québécois. L'étude du régime thermique de la vigne en climat froid est encore à faire.

SITE, MATÉRIEL ET MÉTHODE

I - SITE

Le vignoble des Trois Étoiles se situe dans la région du Bas plateau appalachien des Cantons de l'Est, plus précisément à 10 km au sud-ouest de Sherbrooke (45° 20' N, 71° 50' O), au Québec. L'altitude du site expérimental est de 300 à 320 m. Le vignoble possède 2 ha de terre en culture, dont le seul cépage cultivé est le *Vitis vinifera* L. var. Melon. Le Melon est greffé sur un porte-greffe de type 3309 CL143. La plantation repose sur une faible pente de 3 à 6° orientée vers le sud-est. Le sol est un podzol dérivé d'un till (dépôt glaciaire) d'une épaisseur variant de 25 cm à 1 m sur des shistes argileux et des ardoises (CANN et LAJOIE, 1943). Ce sol est imparfaitement égoutté et il est composé de 16,9 p. cent d'argile, 43,3 p. cent de limon et 39,8 p. cent de sable avec présence de cailloux.

II - MATÉRIEL

Les instruments utilisés dans le cadre de cette expérimentation (JOLIVET, 1996) sont un micrologger CR10 (Campbell Scientific), des systèmes de relais AM32 et des thermocouples de type T (cuivre et constantan) construits selon la méthodologie de JOHNSTON (1963). Les données sont enregistrées à l'aide du CR10 et emmagasinées dans un module (SM712). L'alimentation du système d'acquisition de données est fournie par une pile de 12 volts. Le CR10 contient un thermistor qui est utilisé comme température de référence pour tous les relevés de température pris à l'extérieur. Cette partie du système est placée sous terre dans un abri étanche, à une profondeur de 80 cm. Cette précaution permet de maintenir une température référentielle stable et de minimiser les erreurs dues aux variations de température de l'appareil. L'abri est isolé de l'intérieur par une gaine de mousse et, avant de le sceller, nous y avons préalablement placé 200 g de silicate hydraté pour absorber le surplus d'humidité. Le même procédé a été utilisé pour les deux années d'enregistrement.

Tous les thermocouples (TC) ont été préalablement vérifiés en laboratoire avant leur installation sur le site expérimental. Nous avons d'abord plongé les TC dans un récipient d'eau distillée glacée dont la température est très près du 0 °C. Après avoir vérifié que les températures enregistrées par les TC étaient bien celles prévues, nous avons placé la boîte de relais dans un congélateur à -15 °C et laissé le CR10 à la température ambiante de la pièce (27 °C). Les températures alors enregistrées par les TC n'ont varié que de 0,1 °C. Le processus inverse a été réalisé (le CR10 à l'intérieur du congélateur et la boîte de relais à la température ambiante) avec les mêmes résultats. Dans les conditions environnementales où s'est déroulée l'expérimentation, nous pensons que le gradient de température atteint par ces deux composantes n'a pas dépassé le gradient simulé en laboratoire et que la marge d'erreur n'a pu dépasser 0,2 °C.

Les sarments et les troncs de douze ceps ont été équipés avec des thermocouples très fins (0,8 mm). Le mode d'insertion des thermocouples est le suivant. Le thermocouple est enfilé dans le chas d'une aiguille et on pousse l'aiguille à travers les tissus de la plante jusqu'à ce qu'on puisse désenfilé le thermocouple. Il faut s'assurer que la jonction cuivre-constantan est bien à l'intérieur de la section de la plante à équiper et, préférablement, au centre de la tige (figure 1). La perforation est réalisée à l'horizontale afin d'éviter l'infiltration d'eau.

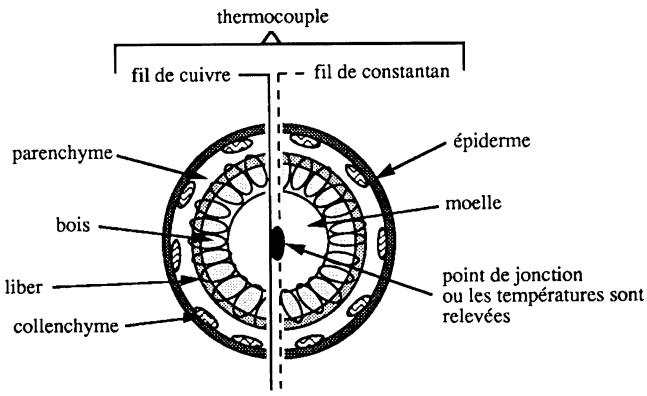


Fig. 1 - Schéma représentant l'insertion d'un thermocouple à travers les tissus d'un sarment (coupe transversale)

Fig. 1 - Methode of thermocouple insertion

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

III - DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

L'ensemble de la démarche méthodologique s'échelonne sur deux années (1994-1995) (figure 2). Les relevés climatiques de la région de Sherbrooke concernant la même période ont été obtenus d'Environnement Canada, plus précisément de l'aéroport de Sherbrooke situé à une vingtaine de kilomètres du site et à 241 m d'altitude. D'autre part, les relevés de température intratissulaire ou à moins de 1 cm des parties aériennes ont été effectués sur les sarments et les troncs de douze ceps de 2 ou 3 ans au printemps 1994. De plus, de l'automne 1994 au printemps 1995, des relevés de température effectués dans la zone des racines (à 10 cm du tronc) d'un cep s'ajoutent aux données relevées à l'intérieur des tiges et des sarments. L'installation d'un thermocâble n'a pu être effectuée qu'à l'automne 1994.

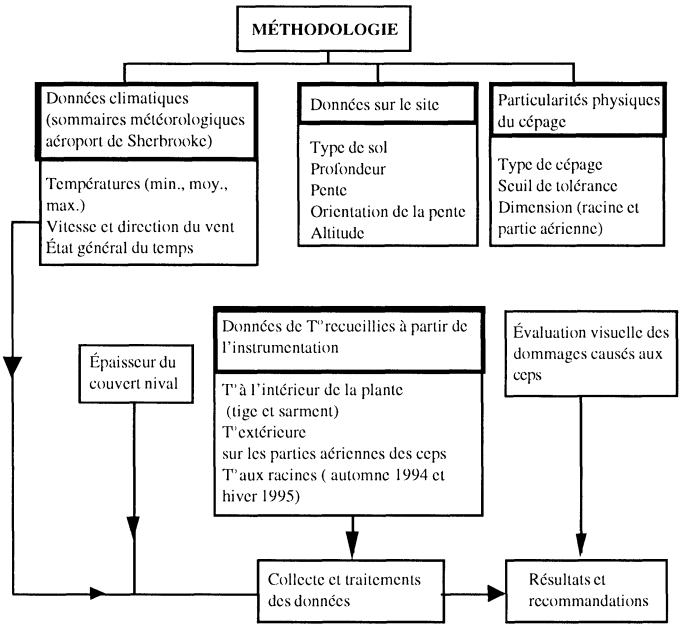


Fig. 2 - Organigramme méthodologique

Fig. 2 - Flow-chart of the experiment

Les données portant sur l'épaisseur du couvert nival ont été recueillies à des moments opportuns pendant la durée de l'expérimentation. Des problèmes liés au transport et à l'accès au site d'expérimentation nous ont empêchés de collecter ces données à des intervalles réguliers. Les données de température furent recueillies selon les besoins à des intervalles de temps variant de 1 à 50 minutes.

Le cep n° 13 instrumenté est localisé à une dizaine de mètres des ceps-échantillons de l'année précédente. Ce cep n'a pas été choisi parmi les 12 ceps de l'année précédente car nous avons supposé que le stress causé à la plante par l'expérimentation devait être assez important et pouvait être néfaste au développement normal des ceps. Le fait que plusieurs des ceps faisant partie de l'échantillonnage de 1994 aient été greffés en vert à l'automne de cette même année nous a fait opter pour un autre cep-échantillon le plus près possible du premier site. Vu la proximité des deux sites expérimentaux, les données recueillies en 1995 demeurent donc comparables aux données de 1994.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I - RÉGIME THERMIQUE DES SARMENTS

L'analyse des résultats révèle que les différentes parties aériennes du cépage Melon (troncs et sarments) demeurent à des températures viables durant la saison froide à la seule condition qu'il y ait de la neige au sol et qu'elle recouvre les troncs et les sarments. Cette condition respectée, les variations de température des parties aériennes situées à proximité du sol demeurent négligeables et ce, quelles que soient les variations de température de l'air ambiant.

Si, par contre, pour des raisons climatiques, le couvert nival devait être absent ou trop mince pour abriter les troncs et les sarments, le seuil de tolérance du cépage peut être atteint par les parties qui se situent à l'extérieur du couvert nival, car elles sont alors exposées aux mêmes températures minimales qu'à l'air libre.

Les résultats confirment, qu'en période froide, les sarments situés en profondeur sous le couvert nival conservent des températures plus élevées que les parties de la plante situées à l'air libre. En présence d'une épaisse couverture de neige, soit 52 cm les 11 et 12 février 1994, cet écart de température est d'autant plus grand que les températures de surface sont basses. En effet, à ces dates, la température minimale enregistrée vers 5 h 00 est de -25,8 °C (sarment situé à 3 cm au-dessus du couvert nival) tandis que la température des sarments à la base du couvert nival demeure aux alentours de -1 °C (tableau I).

La variation de température de la base du couvert nival à la surface est asymétrique. Les troncs et les sarments situés à 49 et 45 cm sous le couvert nival présentent des températures sensiblement semblables, variant entre 0,5 °C et 1,2 °C, alors que les températures moyennes présentent une augmentation d'environ 1,5 °C par 10 cm pour le reste du couvert nival.

Ces résultats montrent que tous les sarments ensevelis sous un épais couvert nival demeurent à des températures très stables. Cette affirmation se vérifie par le faible écart-type qui caractérise les données des sar-

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

ments enfouis sous la neige que ce soit de nuit ou de jour (tableaux I et II).

Cependant, les sarments présentent un écart de température considérable dès que ces derniers se situent à l'extérieur du couvert nival (figure 3). La forte amplitude de température, représentée par l'écart entre les températures minimales de nuit et maximales de jour, peut être dans certains cas rehaussée par la capacité d'absorption du rayonnement solaire par les sarments. Ce phénomène se traduit alors par une augmentation de la température des sarments au-dessus des températures de l'air ambiant durant la période diurne (figure 4). Dans la journée du 7 février 1994, le maxi-

TABLEAU I
Températures de nuit (22 h 15 à 5 h 00) pour des sarments situés à des profondeurs comparables sous la neige du 11 au 12 février 1994 (52 cm de neige au sol)

Table I - Nocturnal temperatures (22 h 15 - 5 h 00) for vines at comparable depths below the snow surface on Febuary 11-12 , 1994. The snow depth was 52 cm.

Profondeur (cm) des sarments sous le couvert nival	Minimum (°C)	Maximum (°C)	Moyenne (°C)	Écart-type (°C)
49	-1,09	-1,03	-1,06	0,02
49	-1,18	-1,14	-1,16	0,01
45	-1,16	-1,10	-1,13	0,02
45	-0,68	-0,64	-0,66	0,01
35	-2,46	-2,34	-2,38	0,04
35	-3,19	-3,06	-3,11	0,04
25	-4,71	-4,59	-4,63	0,03
25	-4,44	-4,33	-4,38	0,03
16	-5,00	-4,90	-4,94	0,03
16*	-7,04	-6,72	-6,85	0,10
6*	-7,69	-7,3	-7,45	0,12
3 cm (au-dessus du couvert nival)	-25,56	-17,97	-21,10	2,38
Aéroport de Sherbrooke	-23,50	-17,60	-20,84	2,04

*température enregistrée près des sarments

TABLEAU II
Températures de jour (5 h 15 à 12 h 15) pour des sarments situés à des profondeurs comparables sous la neige le 12 février 1994 (52 cm de neige au sol)

Table II - Daytime temperatures (5 h 15 - 12 h 15) for vines at comparable depths below the snow surface on Febuary 12 , 1994. The snow depth was 52 cm.

Profondeur (cm) des sarments sous le couvert nival	Minimum (°C)	Maximum (°C)	Moyenne (°C)	Écart-type (°C)
49	-1,04	-1,00	-1,02	0,01
49	-1,16	-1,13	-1,15	0,01
45	-1,12	-1,09	-1,10	0,01
45	-0,66	-0,63	-0,64	0,01
35	-2,36	-2,26	-2,33	0,03
35	-3,07	-2,99	-3,04	0,02
25	-4,66	-4,44	-4,59	0,06
25	-4,44	-4,19	-4,36	0,07
16	-5,02	-4,83	-4,96	0,05
16*	-7,29	-6,71	-7,12	0,16
6*	-7,94	-7,48	-7,82	0,12
3 cm (au-dessus du couvert nival)	-25,83	5,92	-12,51	10,45
Aéroport de Sherbrooke	-24,90	-9,00	-19,05	6,18

*température enregistrée près des sarments

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

mum enregistré à l'aéroport de Sherbrooke est de -14,5 °C, tandis que la température maximale du sarment à l'extérieur du couvert nival est supérieure au point de congélation (4,9 °C). Par temps clair, cet écart de température pour un même sarment peut être très grand sur une courte période de temps. Les 11 et 12 février 1994, l'amplitude thermique du sarment situé à 3 cm au-dessus du couvert nival est d'environ 30 °C (tableau II). Les sarments de surface sont donc soumis à des contraintes, non seulement de froid et de dessiccation intense, mais aussi à des variations très importantes de la température de leurs tissus sur de courtes périodes.

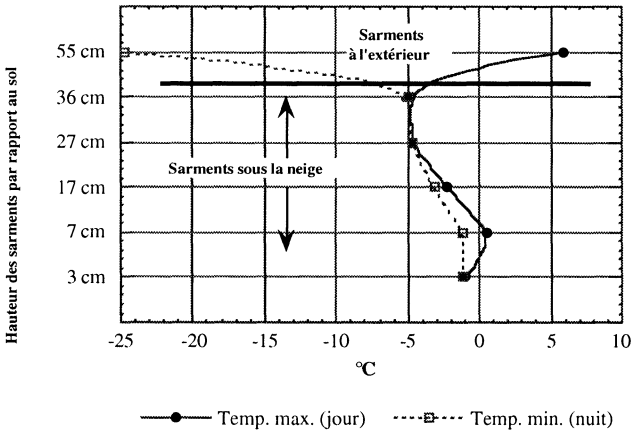


Fig. 3 - Température minimale et maximale de certains sarments (à différentes hauteur à partir du sol) les 11 et 12 février 1994 (52 cm de neige au sol)

Fig. 3 - Minimum and maximum temperatures of vines at different heights above the snow/soil interface on Febuary 11 and 12, 1994. The depth of snow is 52 cm.

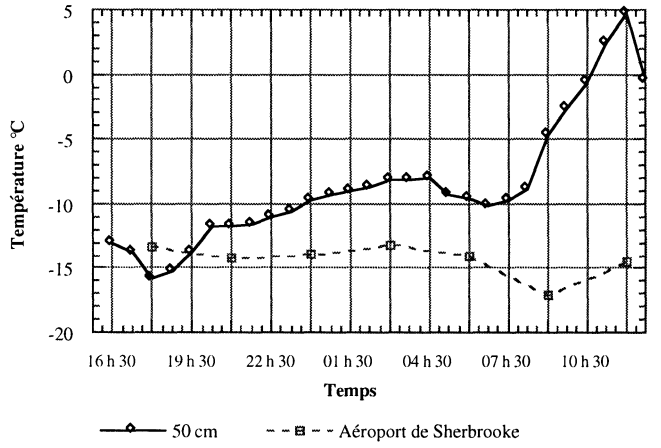


Fig. 4 - Variation de la température d'un sarment exposé au rayonnement solaire comparativement à la température de l'air les 6 et 7 février 1994 (aéroport de Sherbrooke).

Fig. 4 - Temperature of vine exposed to solar radiation as compared to the air temperature mesured at the local airport on Febuary 6 and 7, 1994.

Les données de température enregistrées pendant des périodes où les minima ont atteint des seuils critiques pour la vigne montrent clairement que, même si les températures extérieures atteignent -27,5 °C (figure 5), les sarments enfouis sous environ 16,5 cm de neige présentent des températures moyennes oscillant entre -2 °C et -4,5 °C. On remarquera que, le 7 février 1995, cette oscillation des températures n'apparaît qu'en période diurne alors que le rayonnement solaire peut pénétrer le couvert nival jusqu'à une certaine profondeur.

Par contre, d'autres résultats montrent que cette oscillation thermique des sarments localisés à proximité du sol est absente lorsque le couvert est plus épais. Les données du 12 février 1994 (figure 6), alors que nous avions 52 cm de neige au sol et que les conditions d'ensoleillement étaient comparables, ne révèlent aucune oscillation des températures des sarments à proximité du sol. Or, si les températures des sarments diffèrent, cette différence est causée, d'une part, par l'épaisseur du couvert nival qui est différente lors de ces deux prises de données et, d'autre part, par les propriétés physiques des deux couverts nivaux qui vraisemblablement sont différentes. La neige débute un processus de modification métamorphique (constructif et destructif) dès son arrivée au sol et cette transformation de la structure cristalline affecte ses propriétés physiques (MICHEL, 1964). Dans ce contexte, la neige se présente comme l'interface entre l'énergie disponible en surface et l'énergie transmise sous le couvert.

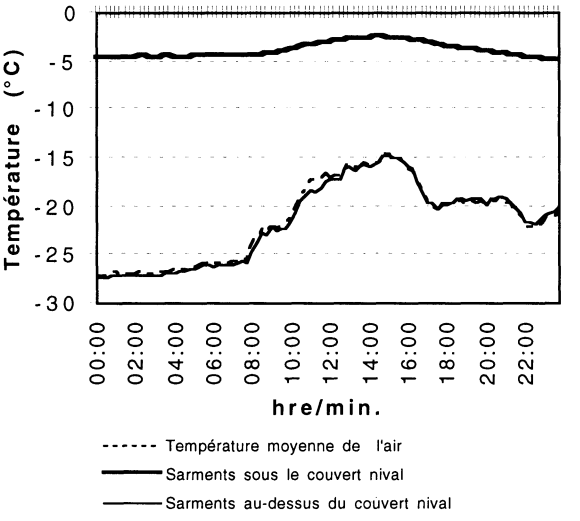


Fig. 5 - Température moyenne des sarments situés sous et au-dessus du couvert nival le 6 février 1995. (26 cm de neige au sol).

Fig. 5 - Average temperatures of vines situated respectively below and above the snow surface on Febuary 6, 1995. The snow depth was 26 cm.

J. Int. Sci. Vigne Vin, 1998, **32**, n°2, 51-58
©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

Les données enregistrées les 8 et 9 mars 1995 montrent l'importance de la neige lors des passages des fronts chauds suivis d'une masse d'air froid importante (figure 7). Dans ce cas précis, la masse d'air chaud a provoqué la fonte complète du couvert nival. La température moyenne des sarments demeure au voisinage de la température de l'air ambiant. Au passage du front froid, les précipitations d'abord sous formes d'averses se transforment en neige et les sarments, situés à proximité du sol aussitôt recouvert de neige, rejoignent des températures variant de -1 à -4 °C. La neige est donc un élément des plus importants dans ces situations climatiques où les fronts froids provoquent des chutes de température qui peuvent se situer, en janvier et février, en-deça du seuil de tolérance de *Vitis vinifera*.

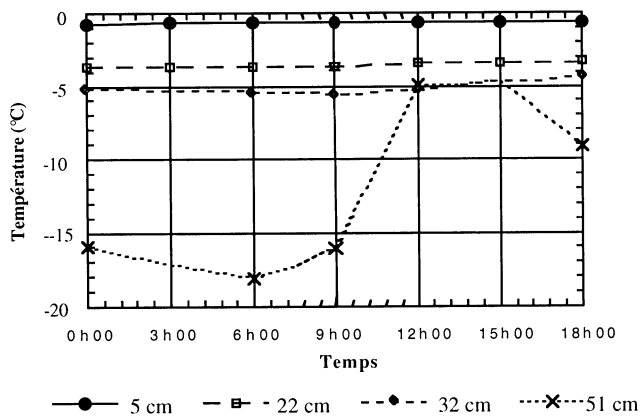


Fig. 6 - Température des sarments à différentes hauteurs à partir du sol, le 12 février 1994 (52 cm de neige au sol)

Fig. 6 - Temperature variations at different heights above the ground/snow interface on Febuary 12, 1994. The snow depth was 52 cm.

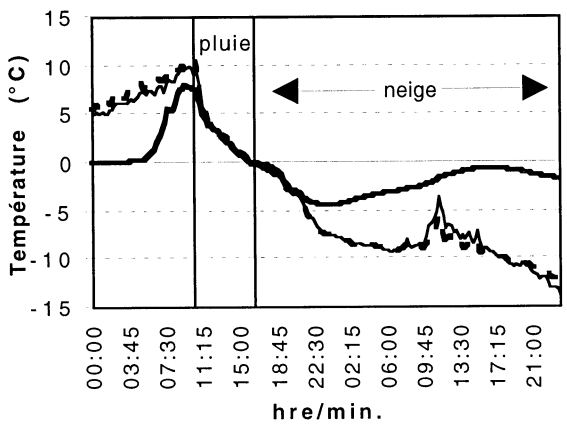


Fig. 7 - Température moyenne des sarments situés sous et au-dessus du couvert nival les 8 et 9 mars 1995

Fig. 7 - Average temperatures of vines situated respectively below and above the snow surface on March 8 and 9, 1995.

II - RÉGIME THERMIQUE PRÈS DES RACINES

Les résultats obtenus du 11 novembre 1994 au 16 avril 1995 nous permettent de confirmer que la neige est un facteur important qui minimise la pénétration du froid à l'intérieur du sol durant la saison froide. Sur la figure 8, les températures minimales sont enregistrées à 40 et 60 cm de profondeur, zone où se situent les racines de la jeune vigne. D'après les résultats obtenus, nous pouvons diviser le régime thermique du sol en quatre périodes distinctes:

1) Du 11 novembre au 1er décembre

À ces dates, le couvert nival est absent ou du moins très mince. Les moyennes de température aux racines chutent rapidement jusqu'à ce que le couvert nival soit définitivement installé. Nous ne relevons quelques centimètres de neige au sol qu'à partir du 23 novembre et jusqu'au 4 décembre ainsi que du 10 décembre jusqu'à la fin du même mois. La perte de chaleur à l'intérieur du sol est importante durant cette période. La température minimale près des racines passe d'environ 7,5 °C (à 60 cm de profondeur), le 11 novembre, à 4,2 °C, le 1er décembre. L'écart des températures moyennes est alors de 0,5 °C par 5 cm de profondeur.

2) Période de redoux de la mi-janvier

Cette période, qui ne représente en réalité que quelques jours de temps doux, est de moins en moins exceptionnelle au Québec, mais son éventualité est tou-

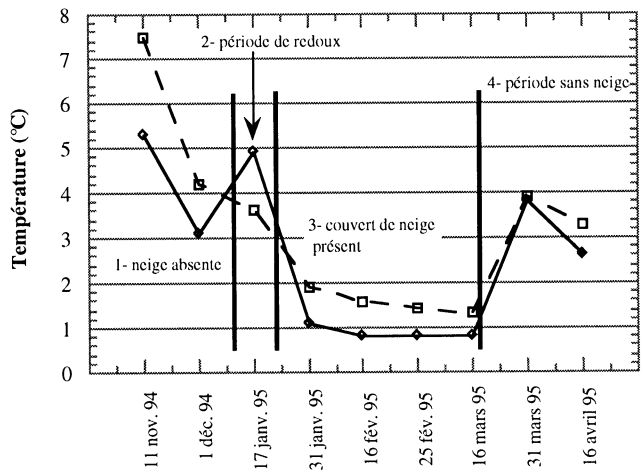


Fig. 8 - Températures minimales enregistrées, à environ toutes les deux semaines, dans le secteur des racines du cep n° 13 durant la période froide en 1994 et en 1995

Fig. 8 - Minimum root-zone temperatures, over appoximatly two-week intervals, for vine n° 13 during the winters 1994 and 1995.

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

jours incertaine. Les précipitations et les températures bien au-dessus des normales mensuelles provoquent la fonte complète du couvert nival. En l'absence de neige au sol, l'élévation de la température de l'air entraîne dans la région des racines une élévation des températures moyennes jusqu'à 60 cm de profondeur.

3) Du 31 janvier à la mi-mars

La présence du couvert nival stabilise les températures de tous les horizons du sol aux alentours de 1 °C. Les variations climatiques comme la température de l'air ou le rayonnement n'affectent plus le régime thermique du sol près des racines.

4) Disparition du couvert nival à la mi-mars

Le couvert nival ayant disparu, le rayonnement solaire plus intense et des températures moyennes de l'air plus élevées entraînent l'élévation des températures des horizons de surface. La zone située entre 0 et 20 cm de profondeur enregistre durant cette période des fluctuations de températures importantes en relation avec les conditions météorologiques extérieures.

Le thermocâble ayant été enfoncé au centre de la butte de terre qui recouvre les ceps, ces données de températures près des racines ne sont représentatives que des températures acquises à l'intérieur et dans la partie sous-adjacente de la butte. Nous ne savons pas encore quelle est l'efficacité réelle de ce type de protection des ceps lequel, notons-le, est associé à des coûts de main d'œuvre considérables pour l'entreprise. Enfin, d'autres mesures enregistrées à partir d'autres thermocâbles situés dans l'entre-rang, nous permettraient sans doute d'évaluer l'impact de cette méthode de phytoprotection (le buttage) sur la répartition des températures à proximité des racines.

CONCLUSION

Ce travail montre que la neige au sol s'avère un facteur important pour la survie du *Vitis vinifera*. Les températures minimales hivernales au Québec, souvent à la limite et, parfois inférieures à la limite de tolérance, ne sont pas des facteurs limitants si une accumulation de neige au sol appréciable peut recouvrir de façon constante les parties aériennes des ceps d'au moins une dizaine de centimètres. Les résultats montrent que seulement 10 cm de neige suffisent à protéger les parties sensibles de la plante.

D'après ces résultats, nous concluons que certains cépages nobles, moins résistants au froid que les hybrides, pourraient vivre et croître sous nos conditions climatiques rigoureuses. Pour cela, nous devons favoriser l'enneigement des parcelles en culture, soit par des brise-vent ou par de l'enneigement artificiel (CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC, 1989).

Dans l'impossibilité de prévoir avec exactitude l'accumulation de neige au sol, la taille (ou la pratique culturale) idéale des ceps sera celle qui maintient les différentes parties aériennes le plus près possible du sol, là où son recouvrement par la neige est facilité. Les résultats montrent clairement que c'est à proximité du sol que les températures sont les plus élevées au cours de l'hiver.

Enfin, d'autres recherches devraient prolonger celles qui ont été entreprises en 1994 et en 1995, car c'est la neige qui détermine la température des troncs et des sarments durant la saison froide. Une étude approfondie des propriétés physiques de la neige avec des données de température, de rayonnement et d'autres paramètres climatiques, permettrait d'établir un bilan énergétique, qui nous permettrait de comprendre de quelle façon l'énergie est redistribuée sous le couvert nival et sous quelles conditions exactes la vigne conserve des températures viables indépendamment des conditions climatiques extérieures.

Remerciements : Les auteurs remercient le Conseil national de recherche du Canada et le vignoble des Trois Étoiles, à Rock Forest (Québec) pour l'aide financière ainsi que Patrick Cliche, du CARTEL de l'Université de Sherbrooke, pour son aide technique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CANN D. B. et LAJOIE P., 1943. *Étude des sols des comtés de Stanstead, Richmond, Sherbrooke et Compton dans la province de Québec*. Service des fermes expérimentales, Ministère de l'agriculture du Canada, Ottawa, 63 p. et carte au 1: 125 000.

CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC, 1989. *Colloque sur les brise-vent*. Les brise-vent au service du milieu rural. Québec, 136 p.

DUBOIS J.-M., 1993. Origine et historique de la vigne. *In* Deshaies L. et Dubois J.-M. (réd.). *Vins et vignobles artisanaux au Québec*. Géographes, n° 4, Québec, p. 13-18.

DUBOIS J.-M. et DESHAIES L., 1997. *Le guide des vignobles du Québec*. Presse de l'Université Laval, Sainte-Foy, 297 p.

GALET P., 1988. *Précis de viticulture*. 4e éd., Ed. Déhan, Montpellier, 586 p.

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

JOLIVET Y., 1996. Évaluation du régime thermique du cépage *Vitis vinifera* Muscadet Melon durant la saison froide au Québec. *Mémoire de maîtrise*. Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, 221 p.

MICHEL B., 1964. *Éléments de la physique de la neige et de la glace*. Les Presses de l'Université Laval, Québec, 50 p.

JOHNSTON G. H., 1963. *Instruction for the fabrication of thermocouples cables for measuring ground temperature*. National Research Council Canada, Division of Building Research, Technical Paper n° 157, Ottawa, 11 p.

VANDAL J.O., 1986. *La culture de la vigne au Québec*. Éd. J.O. Vandal, Ottawa, 143 p.

Reçu le 5 janvier 1998 ; révisé le 1er avril 1998 ;
accepté pour publication le 7 avril 1998

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)