ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE DE L'ENNEIGEMENT ARTIFICIEL COMME MÉTHODE DE PROTECTION HIVERNALE DE LA VIGNE AU QUÉBEC

PRELIMINARY EVALUTION OF ARTIFICIAL SNOW COVER AS A METHOD FOR THE PROTECTION OF THE VINE DURING WINTER IN QUÉBEC

Y. JOLIVET et J.-M. DUBOIS*

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

Résumé : Des mesures de températures ont été enregistrées sur quatre parcelles expérimentales durant la saison froide dans un vignoble au Québec. Une parcelle enneigée artificiellement à des fins de protection contre les froids hivernaux a été comparée à trois autres, dont une parcelle de neige naturelle, une parcelle enfeuillée avec neige naturelle et une autre parcelle de neige naturelle avec de fines croûtes de glace à la suite des chutes de neige. Les résultats montrent que, pendant les grands froids de janvier et de février, les sarments de la vigne situés à 30 cm du sol et protégés par la neige artificielle ont conservé des températures minimales négatives beaucoup plus élevées, et ce avec une différence pouvant atteindre 23°C, comparativement aux sarments situés à une même hauteur sur les autres parcelles. Les résultats révèlent aussi qu'une couche de neige de 15 à 20 cm suffit à isoler totalement les sarments de l'air ambiant. L'utilisation de l'enneigement artificiel comme méthode de protection contre le froid s'avère donc efficace. Cependant, lors de l'enneigement artificiel à l'automne, lorsque le couvert nival est encore absent, l'eau non cristallisée pénètre le sol jusqu'à la zone racinaire par percolation et en abaisse la température de l'ordre de 3°C jusqu'à 60 cm de profondeur. De même, par rapport aux moyens traditionnels de protection, au printemps, la fonte hâtive du couvert nival au centre des rangs laisse les sarments de la vigne sans protection et les expose aux gels tardifs.

Abstract : The sensitivity of the vine to cold temperatures makes it a high risk crop in Québec. Winter colds during January and February can reach through the course of several days - 30° C and consequently the intense cold can damage the buds. However, during this same period, the snow cover normally present on the ground insures a certain protection to the aerial portions of the vine by insulating them from the intense cold air dominating the surface. Moreover, given the random character of the snowfall regime, vine growers must in addition ridge the vine stocks to protect them from the cold. This research work discusses artificial snow making as a method of protection for the vine and addresses one of the major problems faced by this type of culture under extreme climatic conditions.
Temperature measurements were recorded over four experimental plots during the cold season in a vineyard in Québec. A plot covered by artificial snow for protection against the winter cold was compared with three others, one with a natural snow cover, one with a leaf cover and covered by natural snow and one covered by natural snow with fine ice crusts following snowfalls. Results show that during the major colds of January and February, the vine shoots located at 30 cm from the ground and protected by artificial snow conserved much higher negative minimum temperatures, by as much as 23°C compared to the vine shoots located at the same height on the other plots. Results also reveal that a snow cover of 15 to 20 cm is sufficient to insulate entirely the vine shoots from the ambient air. Hence, the use of artificial snow cover is an efficient method of protection against the cold. However, when using artificial snow covering in the fall while the natural snow cover is still absent, non crystallized water penetrates the ground down to the root zone through percolation and reduces the temperature by approximately 3°C down to a depth of 30 cm. In the same manner, in relation to traditional methods of protection, during spring the early thawing of the snow cover at the center of the ridges leaves the vine shoots without protection and exposes them to late frosts.
Other results relating to the use of artificial snow for covering stocks with regards to bud mortality rate and fruit yield in the fall should permit the evaluation of the real impact of this method on stock productivity and the quality of production.

Mots-clés : vigne hybride, Seyval, protection contre le froid, régime thermique, enneigement artificiel, couvert nival, seuil de tolérance.

Key words : hybrid vine, Seyval grape, protection against cold, thermal regime, artificial now cover, snow cover, tolerance threshold.

*Pour toute correspondance : jmdubois@courrier.usherb.ca

J. Int. Sci. Vigne Vin, 2000, **34**, n°4, 155-167

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

INTRODUCTION

La culture de la vigne en climat froid demeure une culture à haut risque. Certains facteurs géographiques (latitude, exposition, pente), climatiques (températures minimales, ensoleillement, etc.) ou résultant de pratiques culturales (taille, fertilisation, etc.) peuvent, parce qu'agissant en synergie, favoriser ou désavantager le développement de la vigne (GALET, 1993). Outre ces influences, le choix d'un cépage résistant au froid demeure un critère de sélection essentiel au développement de la viticulture québécoise (DUBOIS et DESHAIES, 1997), car les froids hivernaux, parfois extrêmes en janvier et en février, peuvent mettre en péril le *Vitis vinifera* de même qu'un grand nombre de variétés hybrides, dites tolérantes au froid.

La tolérance au froid du bourgeon primaire, voire du bourgeon secondaire, ne se manifeste pas de façon isothermique tout au long de la saison froide. En fonction de la période de l'année, le point de rupture de surfusion des liquides intracellulaires, souvent associé à la déchirure des membranes cellulaires du bourgeon latent décrit par LEDDET *et al.* (1993), n'apparaît pas à température fixe. En fonction de son stade phénologique, le bourgeon latent en repos végétatif, ou en cours de prédébourrement printanier, manifeste un seuil de tolérance plus ou moins bas s'échelonnant de -13°C à l'automne à -20°C à -30°C à la mi-janvier (dans le cas des hybrides) et à -2,5°C dans le cas de la jeune feuille au cours de la phase de débourrement (GALET, 1993).

De ces informations, nous devons considérer la tolérance au froid du bourgeon latent, ou cryotolérance, comme un phénomène diachronique dont la sensibilité au froid est fonction de l'état physiologique du bourgeon, notamment la pression osmotique des vacuoles. D'ailleurs, les expériences réalisées par NIKOV (1966) sur quatre cépages et relevées par HUGLIN et SCHNEIDER (1998), illustrent bien le phénomène temporel associé à la tolérance au froid. Toujours selon ces auteurs, tous les cépages à l'étude avaient atteint leur cryotolérance maximale vers la mi-janvier.

Cette cryotolérance diachronique, intimement liée aux conditions de température autant estivales (longueur de la saison de croissance *versus* aoûtement), qu'à l'installation progressive des températures froides à l'automne (HUGLIN et SCHNEIDER, 1998), relève également de la variété et de la vigueur des ceps. Nous sommes donc en présence de nombreuses variables qui peuvent être, dans le cas, de l'aoûtement par exemple, très difficilement quantifiables (GALET, 1993). De plus, en fonction des méthodes de conduite de la vigne, comme par exemple une charge en grappes excessive, la tolérance au froid des ceps a tendance à diminuer (HUGLIN et SCHNEIDER, 1998).

Outre les méthodes traditionnelles de protection, tels le buttage avec de la terre ou l'enfeuillage (buttes de feuilles mortes d'environ 30 cm de hauteur) des ceps, l'importance du couvert nival sur la stabilisation des températures du sol en climat froid n'est plus à démontrer (OKE, 1987 ; GOODRICH, 1982 ; NICHOLSON, 1975). Non seulement la présence du couvert nival limite la pénétration du gel en profondeur dans le sol, en limitant les pertes de chaleur vers l'atmosphère, mais son pouvoir isolant peut également, en certaines circonstances, conserver les sarments de la vigne à des températures supérieures au seuil de tolérance durant les périodes froides (JOLIVET *et al*., 1998). De plus, l'étude réalisée par TELEBAK (2000) démontre qu'il existe une étroite corrélation entre le rendement des ceps et la présence ou non de neige au sol.

Cependant, étant donné la variabilité du climat, il peut devenir hasardeux de s'appuyer sur des normales d'enneigement à des fins de protection de la vigne contre le froid. D'ailleurs, les redoux de janvier et de février, de plus en plus fréquents dans nos régions, font parfois fondre totalement le couvert nival et exposent la vigne aux températures extrêmes qui, souvent, suivent. Dans ce contexte, l'enneigement artificiel s'inscrit directement à l'intérieur de la problématique qu'impose la protection de la vigne durant la saison froide au Québec.

LE COUVERT NIVAL COMME MÉTHODE DE PROTECTION

Dans le détail, le problème que pose la physique de la neige est ardu. Le pouvoir isolant du couvert nival est en étroite relation avec sa capacité de transfert de la chaleur. Par ses différentes métamorphoses (constructives et destructives) et aussi par le fait qu'elle peut contenir l'eau dans toutes ses phases (vapeur, liquide et solide), la neige est un milieu où les échanges énergétiques sont de la plus haute complexité. Les constantes altérations internes du couvert nival modifient les propriétés physiques et, par conséquent, tendent à augmenter ou à diminuer sa capacité isolante à travers le temps (STEPPUHN, 1981).

Nous pouvons néanmoins exprimer plus simplement la capacité isolante du couvert nival de la façon suivante : le pouvoir isolant de la neige est inversement proportionnel à sa densité. Une neige fraîche, poreuse et légère, présente une conductivité thermique inférieure à, par exemple, une neige âgée souvent dense et compacte. La conductivité de la neige dépend de la densité, de la température, de la microstructure de la neige et de sa teneur en eau (liquide-vapeur) (LANGHAM, 1981).

La neige artificielle est généralement plus dense que la neige naturelle. Nous sommes alors en droit de

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

penser que son efficacité isolante est moindre que la neige naturelle. Étant donné que la neige fabriquée à proximité du canon est plus dense que celle projetée à une dizaine de mètres, la vigne située près du canon est recouverte d'une neige très lourde. Le premier rang de ceps a été ici recouvert d'au moins 45 cm de neige qui, avec les températures froides, s'est par la suite durcie. Mais la neige, même très compacte, demeure un bon isolant comparativement à de la glace à cause de sa relative porosité (LANGHAM, 1981).

Pour l'expérience, nous avons délimité quatre parcelles dont une enneigée artificiellement, une parcelle laissée sous des conditions naturelles d'enneigement, une autre parcelle de neige naturelle, mais encroûtée (englacée) par l'ajout d'eau pulvérisée en surface dans le but de limiter le transport de la neige par le vent et, finalement, une dernière parcelle protégée par l'enfeuillage des ceps ainsi que par la neige naturelle, tel que le fait le vigneron sur l'ensemble de son vignoble. Les données de température recueillies sur chacune des parcelles ont ensuite été comparées les unes aux autres.

DESCRIPTION DU SITE ET DU CÉPAGE

Cette étude s'est déroulée de novembre 1999 à mai 2000 au vignoble Sous les Charmilles, à Rock Forest, au Québec, un vignoble de 2,85 ha. L'altitude du site expérimental est d'environ 280 m et la pente à l'emplacement des parcelles expérimentales est de 0° à 2° vers le NO (DUBOIS et DESHAIES, 1997). Le sol est sablo-argileux pierreux avec un pH de 6,0 à 7,0.

Le cépage utilisé est le cépage le plus commun au Québec, soit le Seyval blanc (ou Seyve-Villard 5-276), un hybride français. Il représente 72 p. cent de l'encépagement des vignobles commerciaux du Québec (DUBOIS, 1999). Il a été créé dans les années 1930 à partir d'un croisement entre le Rayon d'or ou Seibel 4986 et le Seibel 5656 (TELEBAK, 2000). Son degré de résistance au froid est moyen ainsi que son rendement (DUBOIS et DESHAIES, 1997). Au vignoble Sous les Charmilles, il est taillé en gobelet au printemps. Les sarments sont au nombre de 3 à 5 et portent, au total, entre 15 et 20 bourgeons à fruits situés entre 20 et 40 cm de hauteur (TELEBAK, 2000). Cette taille courte permet au cep d'être plus facilement enfeuillé à l'automne et recouvert de neige naturelle durant la période froide. La période de débourrement des bourgeons à fruits s'effectue généralement durant la première quinzaine de mai.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Le site de recherche se compose de quatre parcelles expérimentales de 5 m par 6 m (56 ceps) : la parcelle A (11 ceps) avec neige artificielle et naturelle, la parcelle B (16 ceps) avec neige naturelle encroûtée, la parcelle C (14 ceps) avec neige naturelle, la parcelle D (15 ceps) avec des buttes de feuilles et de la neige naturelle (figure 1). Chacune des parcelles porte 56 thermocouples (incluant ceux des thermocâbles) pour un total de 224 sondes de température. Les thermocouples hors sol sont fixés sur des tuteurs de bois à une équidistance de 10 cm (de 0 à 50 cm) (figures 2 et 3), tandis que ceux situés sous la surface du sol se localisent à -10 cm et à -60 cm respectivement ; la profondeur de ces derniers correspond à la zone racinaire. Les tuteurs sont de couleur ambrée qui est une couleur se rapprochant sensiblement de celle du bois de la vigne aoûtée.

Les thermocâbles sont protégés par une gaine en caoutchouc dont chaque extrémité est enduite de silicone afin d'en assurer l'étanchéité. L'insertion des ther-

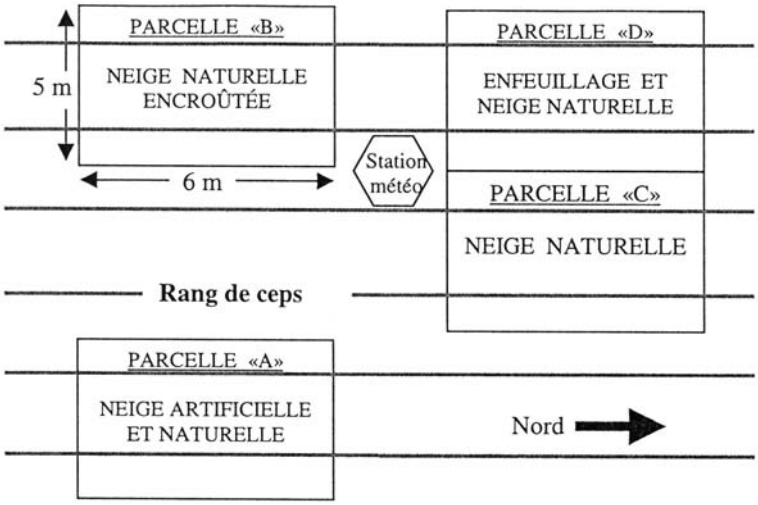


Fig. 1 - Croquis représentant la disposition des parcelles expérimentales

Fig. 1 - Layout of the experimental plots

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

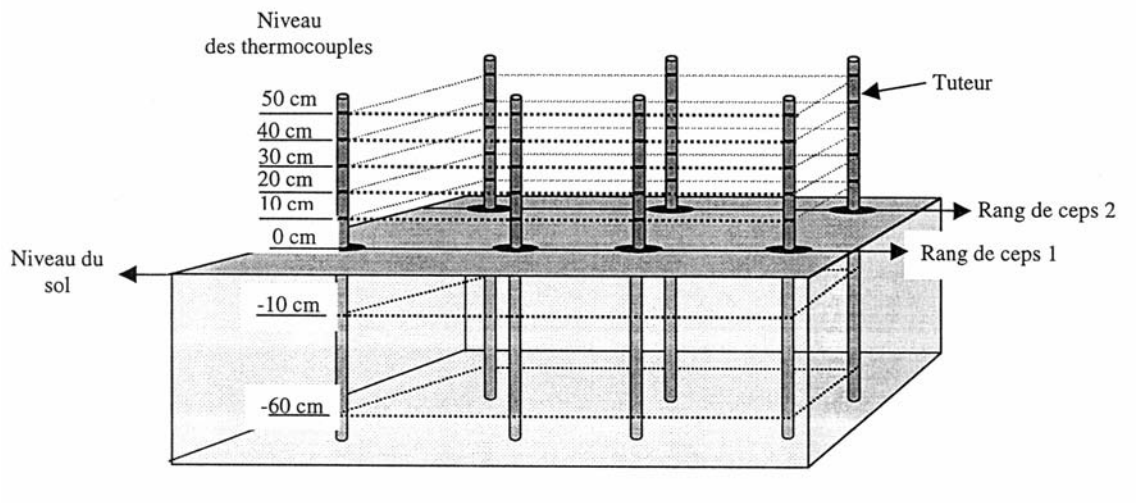


Fig. 2 - Schéma représentant la répartition des thermocouples sur une parcelle expérimentale

Fig. 2 - Layout of the thermocouples over an experimental plot

mocâbles dans le sol s'effectue en pratiquant une ouverture d'environ 2 cm dans le sol pour ensuite y enfoncer le thermocâble à l'aide d'une tige rigide. Le vide est comblé par la suite par un mélange vaseux terreeau prélevé à même l'entre-rang.

Tous les thermocouples sont de type T (cuivre et constantan). Ils sont montés unilatéralement c'est-à-dire, un fil de constantan et plusieurs fils de cuivre. Chacun est soudé à l'étain pour être, par la suite, verni dans le but de le protéger de l'oxydation.

Les instruments de mesure sont reliés à un système d'acquisition et d'enregistrement de données de Campbell Scientific (CR10). Le CR10 est protégé des intempéries par un boîtier de fibre de verre blanc et placé sur le mat central de la station météorologique. La station météorologique porte un anémomètre, un pyranomètre, un capteur barométrique et un capteur de température de l'air et d'humidité relative de Campbell Scientific protégé par un bouclier anti-radiation de type Young (41301-5). Tous les instruments sont alimentés par une pile rechargeable de 12 volts.

Les thermocouples sont reliés à quatre boîtes de relais AM32 protégées par un boîtier de qualité NEMA-12 (contre les infiltrations d'eau et de poussières). Les AM32 sont par la suite reliés et contrôlés par le CR10. Toutes les mesures de température s'effectuent toutes les 15 minutes. La prise de données a commencé le 4 novembre 1999, avant les premiers risques de températures inférieures à -10 °C, et s'est terminée vers la fin mai 2000 après les derniers risques de gel tardif.

L'épaisseur de neige a été relevée sur des poteaux gradués au centimètre près (trois par parcelle) approximativement tous les deux jours. Lors de précipitations, les relevés ont été effectués quotidiennement. Les données sur l'épaisseur du couvert nival est le résultat de la moyenne de l'enneigement des trois poteaux.

LE SYSTÈME D'ENNEIGEMENT ARTIFICIEL

Lors des essais (hiver 1999), une neige fine et poudreuse d'une densité de 200 à 350 kg/m^3 a été fabriquée sous des températures extérieures de -15°C. Les résultats de l'échantillonnage de la neige artificielle montrent que la densité de la neige varie en fonction de la température extérieure (plus froid = neige moins dense) et de la distance (plus loin du poste de pulvérisation = neige moins dense).

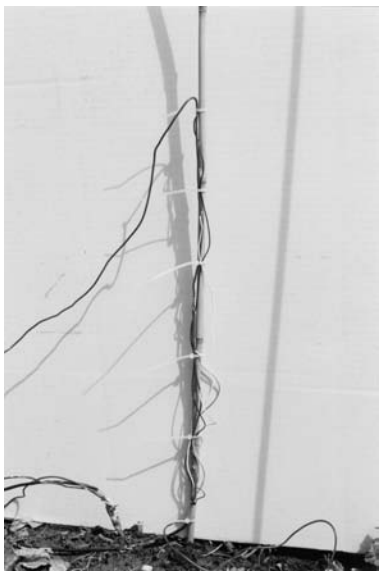


Fig. 3 - Photographie d'un tuteur auquel sont attachés les thermocouples (photo Y. Boisvert, 10-05-2000)

Fig. 3 - Photograph of a stake to which are attached the thermocouples (photo by Y. Boisvert, 05-10-2000)

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

Ces résultats ont été obtenus avec un canon artisanal fabriqué à partir d'une pompe de compression d'eau KEW et d'un compresseur d'air DEVAIR. On a du ajouter une buse d'air entourant la buse d'aspersion d'eau, et modifier le système d'arrivée et de sortie en eau. Une buse d'aspersion à fines gouttelettes d'eau de la compagnie Spray System (1/4" LND26) a remplacé la buse original. L'orifice de cette buse est de 0,26 mm (0,086 po.) de diamètre et est calibré pour rencontrer les débits de sortie en eau, soit 8,3 L/min (2,2 gal. US/min.).

L'enneigement de la parcelle expérimentale s'est effectué le 18 décembre 1999 (enneigement moyen de 20 cm) et le 23 décembre 1999 (enneigement supplémentaire moyen de 5 cm). Au tableau I, se retrouvent les renseignements sur les conditions météorologiques qui ont prévalu durant les périodes de fabrication de neige. Plusieurs autres essais d'enneigement ont été effectués par la suite, mais des conditions de froid intense associé à des vents parfois forts (facteur de refroidissement éolien atteignant parfois -40°C à -45°C), ont occasionné des problèmes tels que le gel du circuit d'alimentation en eau et l'obturation du boyau d'air pressurisé par condensation et gel.

LES SAISONS 1999-2000

D'après les données relevées par Environnement Canada à l'aéroport de Dorval (Montréal), l'année 1999 se classe au deuxième rang (ex æquo avec l'année 1953) des années les plus chaudes depuis 1942 (la première étant 1998).

Le printemps 1999 a été le plus chaud des 57 dernières années avec une moyenne de température de 2°C au-dessus de la normale. Il a été très sec durant les mois d'avril et de mai avec un déficit pluviométrique atteignant de 30 p. cent à plus de 50 p. cent par rapport à la normale dans le sud-ouest du Québec.

L'été 1999, comme le printemps qui l'a précédé, a été chaud sur tout le sud du Québec avec une anomalie positive de 1,5°C par rapport à la normale de saison. Il se classe aussi comme l'été le plus chaud des 57 dernières années. Quant aux précipitations, le mois de juin fut une continuité du printemps, c'est-à-dire sec, surtout pour la région du sud-ouest du Québec (Sherbrooke). Étant donné les conditions de chaleur et, souvent, d'humidité excessives, les précipitations sont survenues sous forme d'orages violents, laissant parfois plusieurs millimètres de pluie en peu de temps.

TABLEAU I
Conditions météorologiques lors de l'enneigement artificiel

Table I - Meteorological conditions during artificial snow cover operations

Date	Vitesse du vent min./max	Humidité relative min./max	Température min./max.
18/12/1999	3 / 15 (km/hre)	67 % / 79 %	-10°C / -8°C
23/12/1999	3 / 6 (km/hre)	78,6 % / 86,6 %	-5,5°C / 6,9°C

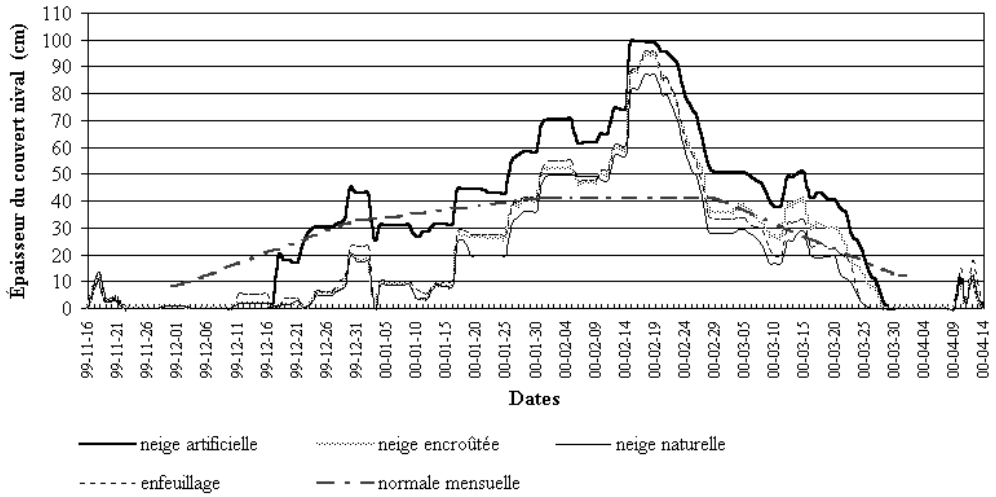


Fig. 4 - Épaisseur moyenne du couvert nival sur les quatre parcelles expérimentales ainsi que les normales d'enneigement du 16 septembre 1999 au 14 avril 2000

Fig. 4 - Average snow cover depth over the four experimental plots and snowfall normals from September 16, 1999, to April 14, 2000

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

L'automne 1999, comme les saisons qui l'ont précédé, se démarque avec ses anomalies positives de température (2°C supérieurs à la normale). Ce n'est en fait que durant le mois d'octobre qu'Environnement Canada enregistre des températures moyennes inférieures à la normale. L'arrivée de la neige se fait attendre à Sherbrooke si bien que, le 20 décembre 1999, on n'enregistre encore qu'un seul centimètre de neige au sol comparativement à la normale de 33 cm (figure 4).

Ce n'est que le 25 décembre 1999 qu'une première vague d'air froid touche le sud-ouest du Québec (figure 5). À la station météorologique située sur le vignoble, on enregistre des températures minimales variant autour de -20°C pendant 5 jours consécutifs (la normale des minima quotidiens de décembre étant de -13°C et le minimum extrême pour le même mois de -37°C).

L'hiver 1999-2000 s'inscrit aussi, dans le sud-ouest du Québec, comme un hiver plus chaud que la moyenne (1°C supérieur à la normale). Cependant, les minima atteignent leur point culminant à la mi-janvier et on enregistre -29,39°C le 15 janvier 2000. Cette vague de froid intense s'installe jusqu'au 19 février et, durant cette période, les minima chevauchent régulièrement les -20°C, dont quelques jours au cours desquels la température atteint -25°C. Cette période de froid intense, entrecoupée par le passage successif de fronts, apporte son lot de précipitations faisant passer l'épaisseur du couvert nival de 10 cm le 15 janvier 2000 à plus de 90 cm le 17 février (figure 4). Ce n'est qu'à la troisième décade de février que les températures froides des semaines précédentes glissent vers les normales beaucoup plus douces de mars. Le couvert nival s'amincit alors régulièrement et disparaît complètement de la surface vers le 25 mars 2000. Une dizaine de centimètres de neige au sol a été enregistrée au début avril pour disparaître presque qu'aussitôt.

LA CRYOTOLÉRANCE DU BOURGEON DE LA VIGNE

Sur la figure 6, on présente deux courbes de tendance sur les seuils de cryotolérance du Seyval que l'on suppose à la mi-janvier (-20°C à -30°C) et sur la cryotolérance des jeunes feuilles en débourrement au printemps (-2,5°C et -5°C). La projection de ces courbes est basée sur des seuils de cryotolérance minima et maxima des bourgeons à l'automne (-13°C à -17°C).

Bien que la représentation graphique dérivée des données de base soit imparfaite, à cause de la complexité du phénomène déjà mentionné, elle nous permet néanmoins de cibler les températures minimales à risque et de localiser les bourgeons se situant à l'intérieur des dites zones. Sur la figure 7, on superpose les courbes de tendance aux températures minimales relevées durant la saison froide 1999-2000 et, de ce fait, on met en évidence les périodes à risque de dommages aux bourgeons latents. Toujours d'après les courbes de cryotolérance, la période à haut risque se situe principalement de la mi-janvier à la mi-février 2000. Il faut toutefois prendre en considération que les périodes de grands froids sont souvent associées à des hautes pressions, soit ciel dégagé et vent calme, qui entraînent une inversion des températures au sol. Sur la figure 8, on peut visualiser l'importance de ces inversions qui, près

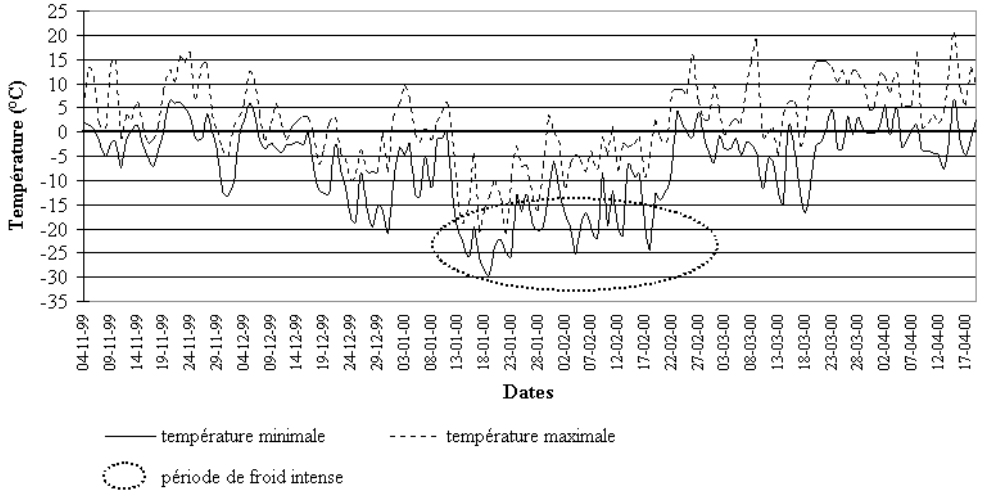


Fig. 5 - Températures minimales et maximales enregistrées à la station météorologique localisée au vignoble Sous les Charmilles, à Rock Forest (Québec)

Fig. 5 - Minimum and maximum temperatures recorded at the meteorological station located at the « Sous les Charmilles » vineyard, at Rock Forest (Québec)

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

du sol, exposent les sarments à des températures minimales inférieures aux températures relevées à la station météorologique.

RÉGIME THERMIQUE DES PARTIES AÉRIENNES DES CEPS

D'après les résultats obtenus, la neige artificielle a permis de conserver les sarments de la vigne à des températures viables durant la période de froid de janvier et février. Sur la figure 8, on présente les températures moyennes minimales observées à 30 cm du sol pour l'ensemble des périodes froides à haut risque de dommages aux parties aériennes (décembre 1999 à février 2000), ainsi que l'épaisseur moyenne du couvert nival pour chacune des parcelles. Le 19 janvier 2000, les températures très froides s'installent au vignoble. À cette date, nous notons une différence de température moyenne minimale de plus de 23°C entre les sarments situés à 30 cm sur la parcelle où on a ajouté de la neige et ceux localisés sur les autres parcelles à hauteur égale. En effet, les sarments localisés à 30 cm sur la parcelle enneigée artificiellement bénéficiaient alors d'une protection de 14 cm de neige en moyenne (tableau 2).

Compte tenu de l'importante précipitation neigeuse reçue de la mi-janvier à la mi-février, même les sarments situés à 50 cm de hauteur et ce, sur toutes les parcelles, conservent le 20 février 2000 des températures de beaucoup supérieures à celles enregistrées à la station météorologique (tableau 2).

Les résultats des températures minimales enregistrées près des sarments de la vigne montrent qu'il faut

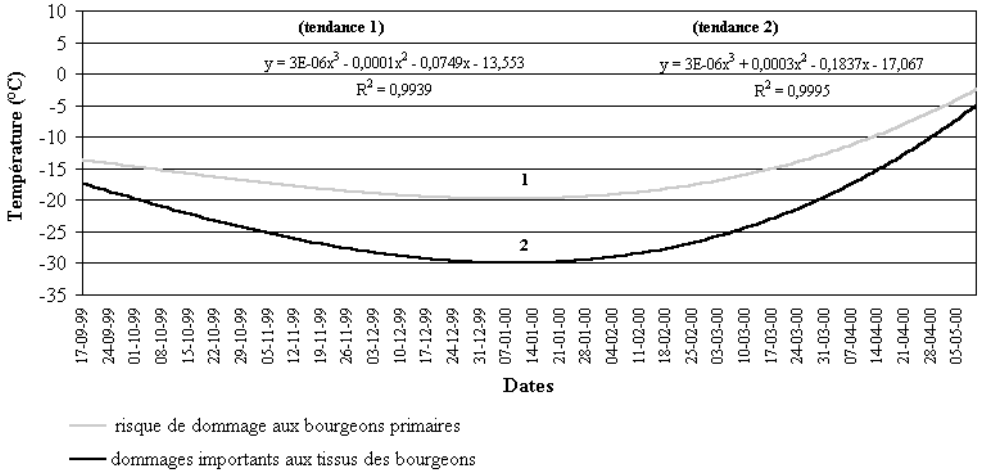


Fig. 6 - Courbes de tendance de cryotolérance des bourgeons de la vigne hybride durant la période froide

Fig. 6 - Cryotolerance tendancy curve of the buds of the hybrid vine

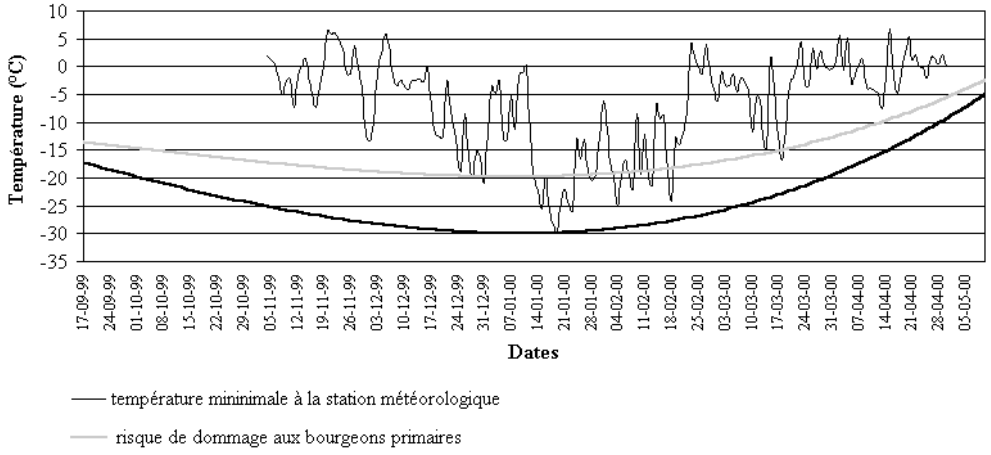


Fig. 7 - Courbes de tendance de cryotolérance des bourgeons de la vigne hybride et températures minimales enregistrées à la station météorologique (1999-2000)

Fig. 7 - Cryotolerance tendancy curve of the buds of the hybrid vine and minimum temperatures recorded at the meteorological station (1999-2000)

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

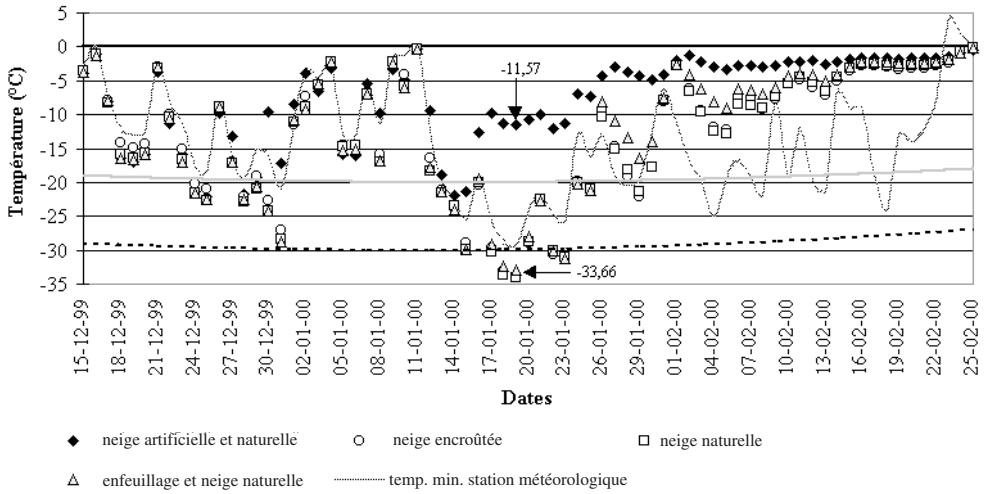


Fig. 8 - Températures minimales moyennes atteintes par les sarments situés à 30 cm du sol sur les quatre parcelles expérimentales entre 15 décembre 1999 et le 25 février 2000

Fig. 8 - Average minimum temperatures reached by the vine shoots located at 30 cm from the ground over the four experimental plots between December 15, 1999, and February 25, 2000

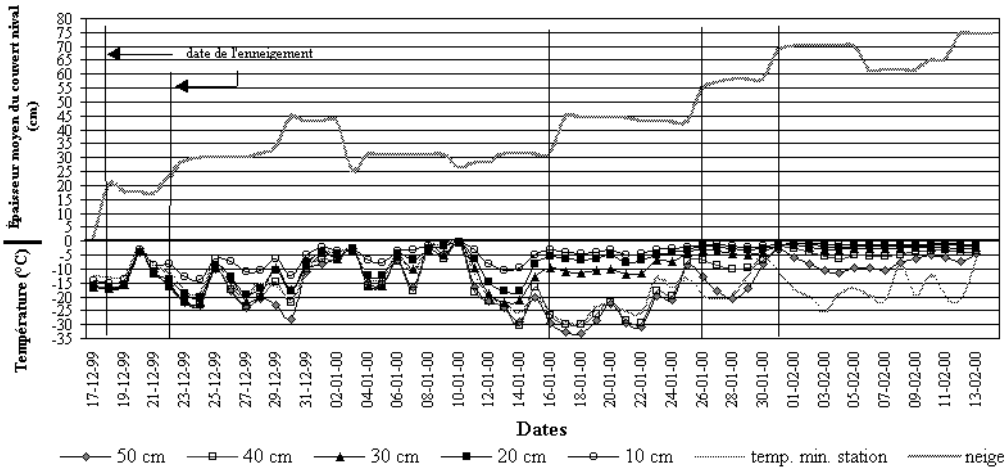


Fig. 9 - Températures minimales atteintes sur la parcelle enneigée artificiellement et épaisseur moyenne du couvert nival entre le 17 décembre 1999 et le 13 février 2000

Fig. 9 - Minimum temperatures reached on the plot covered by artificial snow and average snow cover depth between December 17, 1999, and February 13, 2000

TABLEAU II
Statistiques sur les températures minimales des sarments et sur l'épaisseur moyenne du couvert nival des parcelles expérimentales à une hauteur et à une date déterminées

Table II - Statistics relating to the minimum temperatures of the vine shoots and the average depth of the snow cover for the experimental plots at a determined height and date

	Hauteur des sarments	Température minimale de l'air (station météo)	Parcelle de neige artificielle			Parcelle de neige naturelle			Parcelle de neige naturelle encroûtée			Parcelle enfeuillée et neige naturelle		
			min.	moy. min.	écart type	min.	moy. min.	écart type	min.	moy. min.	écart type	min.	moy. min.	écart type
19/01/00	30 cm	-29,39 °C	11,57°C	-8,09°C	1,76°C	-33,82°C	-32,64°C	0,64°C	-33,96°C	-32,23°C	3,20°C	-32,94°C	-29,01°C	3,13°C
			44 cm de neige au sol			20 cm de neige au sol			26 cm de neige au sol			28 cm de neige au sol		
18/02/00	50 cm	-24,39 °C	-3,62°C	-2,95°C	0,37°C	-5,84°C	-5,08°C	0,66°C	-6,29 C	-5,10°C	0,70°C	-4,73°C	-4,15°C	0,49°C
			99 cm de neige au sol*			86 cm de neige au sol			94 cm de neige au sol*			95 cm de neige au sol*		

* Les données de l'épaisseur du couvert nival supérieures à 90 cm sont des estimations.

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

une certaine épaisseur de neige par-dessus la zone à protéger afin de l'isoler des températures de l'air à l'extérieur du couvert. Nous pouvons constater, qu'à partir d'environ 15 cm de neige, il se produit un décrochage des températures, c'est-à-dire que la corrélation entre les variations des températures sous le couvert ne concordent plus exactement avec les variations des températures de l'air en surface. Sur la parcelle enneigée artificiellement (figure 9), nous pouvons observer un premier décrochage des températures pour les sarments situés à 10 cm du sol vers le 23 décembre 1999. À cette date, l'épaisseur du couvert nival est d'environ 30 cm et donc 20 cm de neige recouvre la zone protégée. Étant donné la densité plus élevée de la neige artificielle comparativement à celle de la neige naturelle, il semble qu'il faille une épaisseur de neige artificielle d'au moins 5 cm supérieur à l'épaisseur de neige naturelle pour obtenir le même effet isolant. Le même phénomène est beaucoup plus net le 16 février 2000 où de nouvelles précipitations rehaussent le couvert nival à 45 cm et limitent les pertes de chaleur des sarments localisés à 30 cm. Les températures extrêmement froides (-33°C à 50 cm du sol) qui se sont manifestées à la mi-janvier devraient affecter grandement la fertilité des bourgeons latents situés au-dessus du couvert nival. Au fur et à mesure que les précipitations de neige augmentent l'épaisseur du couvert nival, le décrochage des températures par rapport aux températures extérieures se confirme. En date du 25 janvier (56 cm de neige) et du 30 janvier (70 cm de neige) des sarments à 40 cm et 50 cm sont maintenant isolés des températures froides extérieures.

Le même phénomène se vérifie également sur les autres parcelles mais, comme le couvert nival n'a pas été alimenté en neige artificielle et qu'il est donc moins important, les dates de décrochage des températures diffèrent. Sur la figure 10, on remarque que le décrochage des températures à 10 cm sur la parcelle de neige naturelle s'effectue le 17 janvier 2000, comparativement au 25 décembre 1999 sur la parcelle enneigée artificiellement. Durant la période de grand froid de la mi-janvier 2000, tous les sarments situés à plus de 20 cm de hauteur sont à l'extérieur du couvert nival et, comme ils sont en situation d'inversion des températures, ils sont soumis à des températures inférieures au seuil de cryotolérance de la vigne hybride.

RÉGIME THERMIQUE DU SOL

D'après les températures relevées à l'intérieur du sol au niveau du système racinaire (-10 et -60 cm), le gel n'a jamais pénétré jusqu'au niveau de -60 cm (figure 11). Par contre, les températures les plus froides à -10 cm de profondeur (figure 12) sont obtenues sur les parcelles de neige encroûtée (-4,27°C) et de neige naturelle (-5,24°C) le 6 janvier 2000. Ces résultats mettent clairement en évidence, d'une part, les propriétés isolantes du couvert nival sur la parcelle enneigée artificiellement (31 cm) comparativement à 10 cm de neige sur les parcelles encroûtée et naturelle et, d'autre part, le rôle isolant de l'enfeuillage qui limite la pénétration du gel à l'intérieur du sol. Les sites sans réelle protection (neige naturelle encroûtée et neige naturelle) demeurent les plus vulnérables à la pénétration du froid en profondeur.

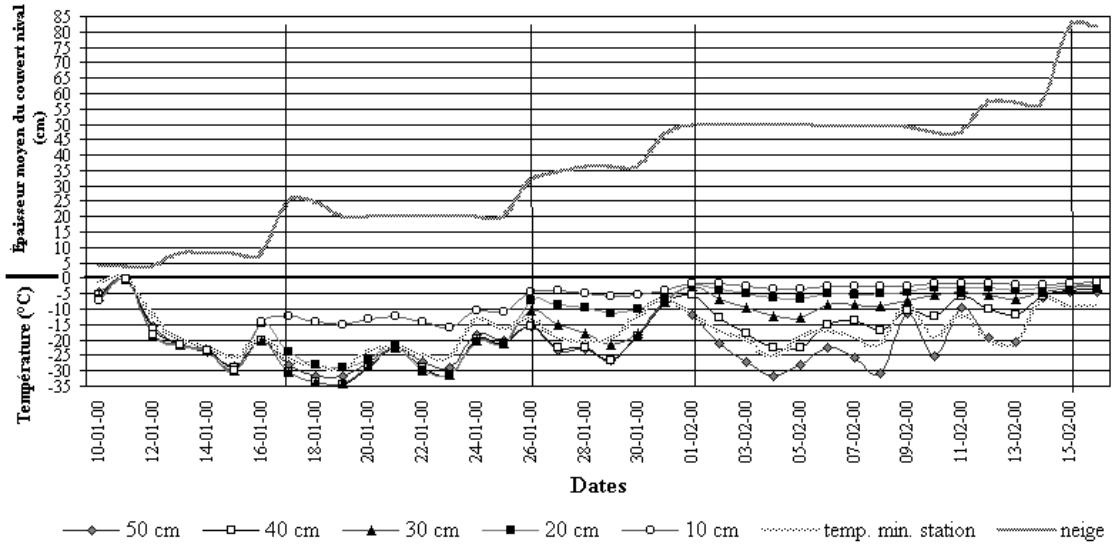


Fig. 10 - Températures minimales atteintes sur la parcelle de neige naturelle et épaisseur moyenne du couvert nival entre le 10 janvier et le 16 février 2000

Fig. 10 - Minimum temperatures reached on the plot covered by natural snow and average snow cover depth between January 10 and February 16, 2000

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

Trois caractéristiques du régime thermique des sols sur les sites expérimentaux peuvent être dégagées.

D'abord, l'enneigement artificiel a provoqué un abaissement de la température du sol de l'ordre de 2°C dans l'horizon de -60 cm (figure 11) comparativement au même horizon des autres parcelles. Étant donné le volume d'eau utilisé (environ 3 000 L) dans la fabrication de 20 cm de neige, le 18 décembre 1999, une partie de cette eau non cristallisée a pu, par percolation, s'infiltrer dans le sol et abaisser momentanément la température de ces horizons. Étant donné la petite dimension de la parcelle expérimentale (5 m x 6 m), la température du sol s'est équilibrée rapidement par conduction avec les températures du sol environnant la parcelle. Le phénomène semble moins prononcé aux horizons supérieurs (figures 12 et 13) tout simplement parce que les températures existantes au même moment à ces niveaux sont comparables à celles de l'eau vaporisée en surface.

Le deuxième point qui se dégage est que l'enfeuillage (30 cm de feuilles mortes) effectué dès la mi-novembre permet d'isoler le sol et d'en conserver la chaleur avant l'arrivée des premières chutes de neige. Les températures minimales demeurent généralement

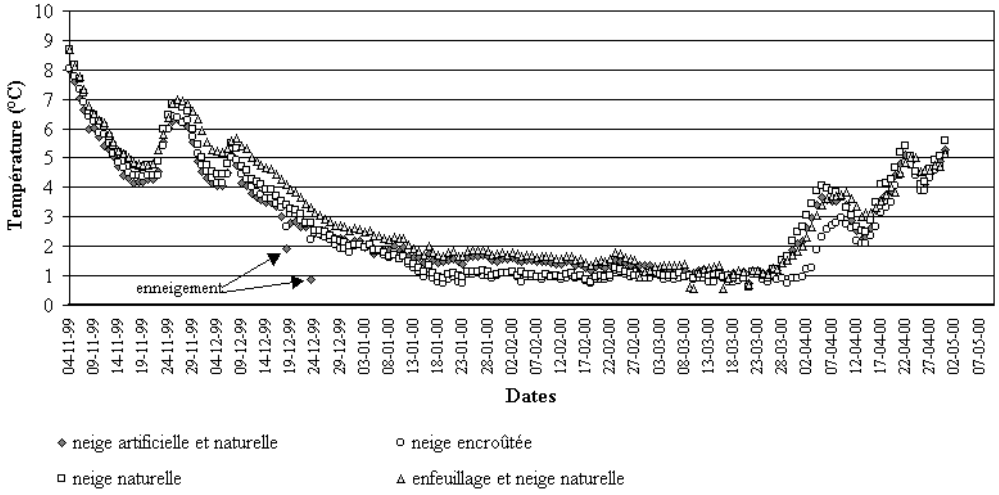


Fig. 11 - Températures minimales atteintes à -60 cm à l'intérieur du sol sur les quatre parcelles expérimentales entre le 4 novembre 1999 et le 28 avril 2000

Fig. 11 - Minimum temperatures reached at -60 cm within the ground over the four experimental plots between November 4, 1999, and April 28, 2000

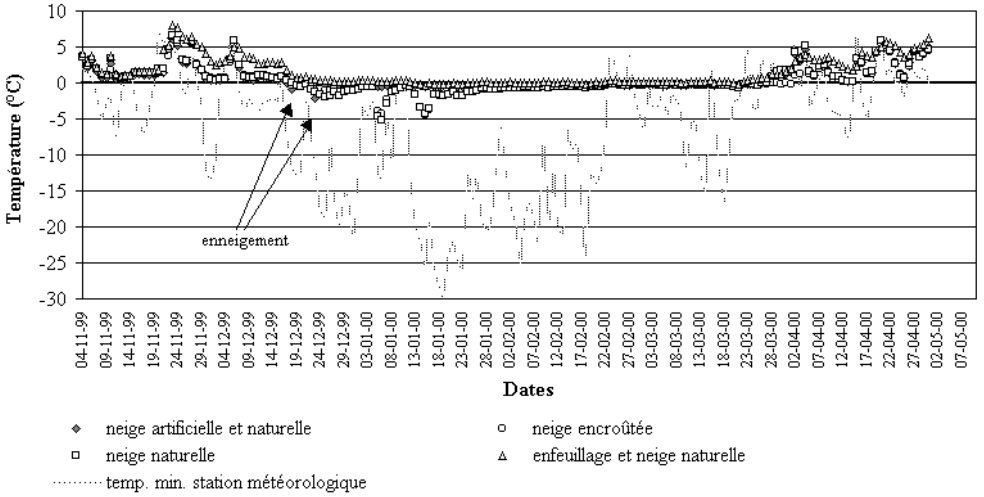


Fig. 12 - Températures minimales atteintes à -10 cm à l'intérieur du sol sur les quatre parcelles expérimentales entre le 4 novembre 1999 et le 28 avril 2000

Fig. 12 - Minimum temperatures reached at -10 cm within the ground over the four experimental plots between November 4, 1999, and April 28, 2000

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

les plus élevées quel que soit le niveau (de 0 à -60 cm) (tableau 3). À la fin mars, alors que le couvert nival a disparu, l'enfeuillage permet aussi de conserver des minima beaucoup plus élevés (figure 17) que ceux relevés sur les autres parcelles.

Enfin, les températures minimales du sol en surface et celles à -10 cm, enregistrées sur les parcelles de neige encroûtée et de neige naturelle (figures 12 et13), montrent un abaissement des températures de 4°C à 5°C le 6 janvier (température minimale de l'air -13°C) et le 15 janvier 2000 (température minimale de l'air -25,5°C), alors qu'on ne rencontre que 10 cm de neige au sol. Durant la même période, la parcelle enneigée est recouverte de 31 cm de neige et n'enregistre qu'un faible écart de température (0,15°C).

CONCLUSION

Les résultats préliminaires nous permettent de penser que l'enneigement artificiel est une méthode de protection efficace contre les grands froids hivernaux. Le seul fait de maintenir les sarments de la vigne, et ce à l'intérieur de la zone où les bourgeons sont les plus productifs, à des températures minimales de beaucoup supérieures au seuil de cryotolérance (-20°C à -30°C) du Seyval, nous permet d'envisager sérieusement l'enneigement artificiel comme méthode de protection pour augmenter l'efficacité de la protection naturelle de la neige.

Néanmoins, plusieurs questions demeurent encore en suspens. Par exemple, l'épaisseur anormalement élevée du couvert nival de la saison froide 1999-2000, de même que l'absence de redoux en janvier ne nous ont pas permis d'apprécier pleinement l'enneigement artificiel comme méthode de protection de la vigne, car l'enneigement artificiel doit non seulement protéger les ceps le plus tôt possible à l'automne, mais aussi maintenir le couvert nival aux environs de 50 cm afin de minimiser l'impact des redoux hivernaux.

De plus, contrairement aux méthodes traditionnelles de protection, comme le buttage ou l'enfeuillage, qui retardent le débourrement des bourgeons au printemps, la neige naturelle et artificielle, par sa fonte hâtive au centre des rangs, laisse la vigne sans protection. La fonte du couvert nival livre alors les parties aériennes de la vigne aux aléas des températures de l'air et pourrait favoriser, dès l'apparition de températures plus élevées, le débourrement soudain des bourgeons. Il va sans dire qu'un développement précoce des bourgeons latents pourrait alors les exposer, surtout pendant le stade pointe verte (BAILLOD et BAGGIOLINI, 1993), aux gels parfois tardifs du printemps.

Le système d'enneigement artificiel nous a permis de débuter la fabrication de neige qu'à des températures variant de -7°C à -9°C. Certaines améliorations du système d'enneigement, comme la régularisation du débit d'air à la sortie de la buse et peut-être même l'utilisation de noyaux de nucléation, devraient nous permettre d'optimiser le rendement du système d'enneigement et de provoquer la cristallisation des gouttelettes d'eau à des températures à près de -5°C. Cette optimisation du système d'enneigement permettrait, d'une part, de protéger la vigne tôt à l'automne et, d'autre part, de diminuer les coûts énergétiques liés à la fabrication de neige. Étant donné le débit d'eau assez important employé pour la fabrication de neige, plus le système sera performant et plus grandes seront les économies en eau et en énergie. Par ailleurs, la vigne se développant plutôt mal sur un terrain à mauvais drainage, l'ajout d'eau au sol par le système d'enneigement devrait parfois être corrigé par un drainage adéquat du sol.

Compte tenu des résultats positifs obtenus à la suite de l'utilisation de la neige artificielle comme méthode de protection de la vigne, une autre année d'expérimentation (hiver 2000-2001) permettra de valider les données que nous avons déjà recueillies. D'autres résultats portant, par exemple, sur l'influence de l'enneigement *versus* le taux de mortalité des bourgeons et le rendement des ceps à l'automne, devraient nous permettre d'évaluer les impacts de l'enneigement sur la productivité et sur la qualité de la production.

Enfin, l'enneigement artificiel a l'indéniable avantage d'utiliser le froid lui-même afin de se protéger de ses propres effets néfastes ou, du moins, d'en atténuer les répercussions les plus désastreuses. L'application de la neige artificielle à plus grande échelle, par exemple sur plusieurs hectares, reste à développer en fonction d'équipements plus lourds. Nous verrons peut-être, dans le futur, la mise en place de systèmes d'enneigement artificiel montés en réseau adapté à l'industrie viticole qui, s'il est joint aux systèmes d'aspersion déjà existants sur plusieurs des vignobles, minimiserait les investissements de départ à l'implantation d'un tel système de protection. Finalement, l'enneigement artificiel permettra peut-être la progression de la viticulture sous des climats limites.

Ce projet s'inscrit dans une démarche plus globale sur les méthodes de protection de la vigne contre le gel hivernal au Québec. En effet, dans JOLIVET *et al.* (1998), nous avions mentionné que seulement 10 cm de neige suffit à protéger les parties aériennes sensibles de la vigne alors que maintenant nous pouvons affirmer que 15 à 20 cm de neige isole complètement ces parties sensibles.

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

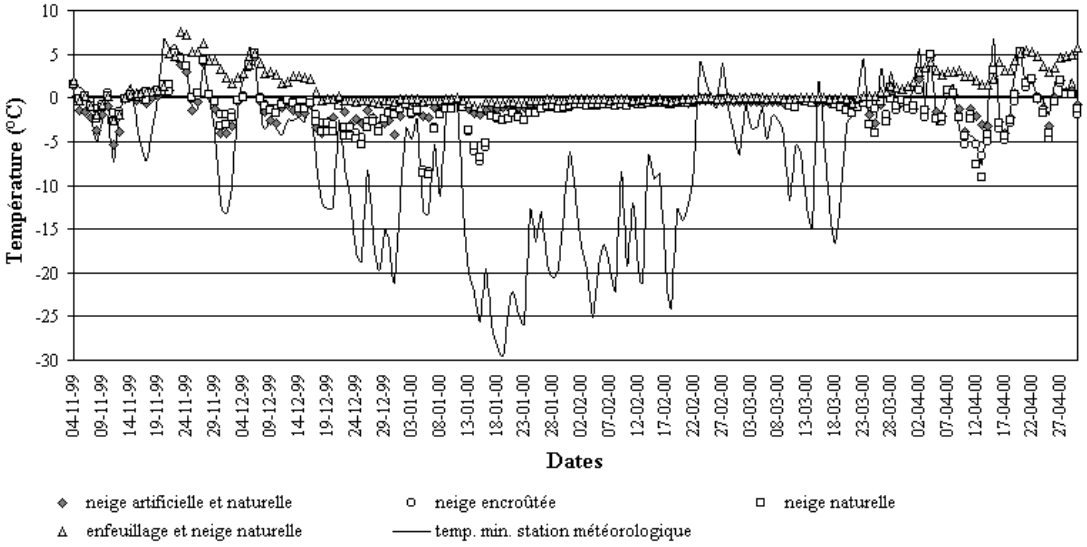


Fig. 13 - Températures minimales atteintes à 0 cm à l'intérieur du sol sur les quatre parcelles expérimentales entre le 4 novembre 1999 et le 28 avril 2000

Fig. 13 - Minimum temperatures reached at 0 cm within the ground over the four experimental plots between November 4, 1999, and April 28, 2000

TABLEAU III
Températures moyennes minimales du sol enregistrées sur les quatre parcelles expérimentales du 4 novembre 1999 au 30 avril 2000

Table III - Minimum average ground temperatures recorded over the four experimental plots from November 4, 1999, to April 30, 2000

Parcelles expérimentales	Profondeurs des thermocouples		
	0 cm	-10 cm	-60 cm
Neige artificielle et neige naturelle	-0,78°C	0,72°C	2,75°C
Neige naturelle croûtée	-1,00°C	0,39°C	2,50°C
Neige naturelle	-1,08°C	0,47°C	2,81°C
Enfeuillage et neige naturelle	1,00°C	1,54°C	3,10°C

L'épaisseur de neige nécessaire est en fonction de la nature de la neige (densité, structure, etc.). ce qui fera l'objet d'un article subséquent. De plus, dans JOLIVET *et al.* (1999), nous rapportions une expérience par laquelle nous concluions que la toile géotextile simple n'était pas un moyen de protection efficace à cause d'une perte de chaleur par rayonnement thermique vers le haut de l'abri ainsi formé, ce qui a été confirmé par THERRIEN et DUBOIS (2000). D'autre part, nous avions aussi essayé le cône de polystyrène (JOLIVET *et al.*, 1999 ; THERRIEN et DUBOIS, 2000), qui s'est avoué très efficace, mais que nous ne pouvons retenir pour les grandes exploitations à causes des nombreuses adaptations et manipulations qu'il nécessite. Enfin, dans JOLIVET et DUBOIS (2000), une étude préliminaire nous amenait à conclure que le buttage avec au moins 15 cm de terre était un moyen très efficace de protection. Cependant, à cause des coûts de main d'œuvre et des risques d'endommager tout au moins mécaniquement les ceps, nous cherchons une autre voie moins coûteuse et plus sécuritaire pour la santé des ceps, dont la neige.

Remerciements : Les auteurs remercient le CORPAQ (Conseil des recherches en pêche et en agroalimentaire du Québec) d'avoir financé le projet et M. Georges DUCHARME du vignoble Sous les Charmilles, de Rock Forest (Québec), pour sa participation et sa disponibilité lors de l'enneigement artificiel, de même que pour les relevés du couvert nival. Nous remercions aussi M. Patrick CLICHE, du Laboratoire de spectroradiométrie du Département de géographie et télédétection de l'Université de Sherbrooke, pour son aide au montage et à la programmation des instruments de

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

mesure, M. Hardy GRANBERG, pour son appui au projet de recherche, M. Paul GAGNON pour la traduction du résumé en anglais et M. Yves BOISVERT pour avoir procédé à une lecture critique de l'article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAILLOD M. et BAGGIOLINI M., 1993. Les stades repères de la vigne. *Rev. Suisse Vicult. Arboric. Hort.*, **25**, 1, 7-9.

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.

DEREUDDRE J., AUDRAN J.C., LEDDET C., AIT BARKA E. et BRUN O., 1993. Réponse de la vigne (*Vitis vinifera* L) aux températures inférieures à 0°C. III. Effets d'un refroidissement contrôlé sur des bourgeons au cours du débourrement. *Agronomie*, **13**, 509-514.

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

ENVIRONNEMENT CANADA, 1998. Normales climatiques au Canada 1961-1990, http :www.qc.ec.gc.ca/climate/normals/QUESO12.HTM.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1999. Résumé des conditions climatiques en 1999, http:www.ec.qc.gc.ca/atmos/climato/

ENVIRONNEMENT CANADA, 2000. Résumé des conditions climatiques hiver 1999-2000, http :www.ec.qc.gc.ca/atmos/climato/hiver9900/Bilan_hiv9900_1.htm

GALET P., 1993. *Précis de viticulture*. 6e éd., Déhan, Montpellier, 575 p.

GOODRICH L. E. 1982. The influence of snow cover on the ground thermal regime. *Canadian Geotechnical Journals*, **19**, p. 421-432.

HUGLIN P. et SCHNEIDER C., 1998. *Biologie et écologie de la vigne*. 2e éd., Technique et documentation, Paris, 370 p.

JACKSON D. et SHUSTER D., 1987. *The production of grapes & wine in cool climate*. Butterworths Horticultural Books, Wellington (New Zeland), 192 p.

JOLIVET Y. et DUBOIS J.-M. M., 2000. Évaluation de l'efficacité du buttage de la vigne comme méthode de protection contre le froid hivernal au Québec. *J. int. Sci. Vigne Vin*, **34**, 3, 83-92.

JOLIVET Y. et DUBOIS J.-M. M., 1999. Évaluation de l'efficacité du cône de polystyrène et de la toile géotextile comme méthode de protection de la vigne contre les gels tardifs printaniers au Québec pour les petites exploitations et les pépinières. *J. int. Sci. Vigne Vin*, **33**, 3, 99-104.

JOLIVET Y., DUBOIS J.-M. M. et GRANBERG H., 1998. Évaluation du régime thermique du cépage *Vitis vinifera* L. var. Melon durant la saison froide au Québec. *J. int. Sci. Vigne Vin*, **32**, 2, 51-58.

LANGHAM E. J., 1981. Physics and properties of snowcover, In D. M. Gray et D. H. Male (éd.), *Handbook of snow : Principles, processes, management & use*. Toronto: Pergamon Press Canada Ltd, 275-337.

LEDDET C., AUDRAN JC., DEREUDDRE J., AIT BARKA et BRUN O., 1993. Réponse de la vigne (*Vitis vinifera* L) aux températures inférieures à 0 °C ; II- Effets d'un refroidissement contrôlé sur des bourgeons latents avant le débourrement. *Agronomie*, **13**, 499-508.

NICHOLSON F. H., 1975. Permafrost spatial and temporal variations near Schefferville, Nouveau-Québec. *Géographie physique et quaternaire*, vol. 33, 3-4, 265-277.

OKE T.R., 1987. *Boundary layer climates*. 2nd edition,éd. Routledge, London et New York, 435 p.

STEPPUHN H., 1981. Snow and agriculture, Handbook of snow. *In* D. M. Gray et D. H. Male (éd.), *Handbook of snow : Principles, processes, management & use*. Toronto : Pergamon Press Canada Ltd, 60-125.

TELEBAK T., 2000. Évaluation des rendements en fonction de différents moyens de protection de la vigne contre le gel hivernal au Québec. *Mémoire de maîtrise*, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 103 p.

THERRIEN S. ET DUBOIS J.M.M., 2000. Comparaison préliminaire du régime thermique de la vigne en début d'hiver : différentes méthodes de phytoprotection contre le gel, vignoble Sous les Charmilles, Rock Forest (Québec). Département de géographie et de

Reçu le 17 juillet 2000
accepté pour publication le 17 novembre 2000

 ©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)