

## **Mille et une recettes de lutte contre le gel printanier**

*Yvon Jolivet, M. Sc. Géographie, professionnel de recherche en climatologie et microclimatologie.*

Le gel est un ennemi des cultures. Lorsque les températures atteignent un seuil limite auquel les tissus des végétaux se désorganisent, des lésions se créent et des dommages parfois irréversibles apparaissent. Selon le type de culture, la variété végétale et le stade de développement des végétaux, le gel causera plus ou moins de dommages au champs. De toutes les périodes de l'année, le gel de printemps est le plus redouté, car les bourgeons sont parfois débouffés et les jeunes feuilles et les jeunes rameaux portant des fleurs ne peuvent pas supporter des températures inférieures à - 2 °C.

### **Une petite histoire de gel au sol**

Le soleil se lève sur une plantation quelconque dans le sud du Québec. Le vent a soufflé fort une bonne partie de la nuit et les températures se sont abaissées considérablement. En fait, un système dépressionnaire lié à un front froid a traversé la région augmentant considérablement la force des vents. La journée qui s'annonce sera belle car un système de haute pression quasi stationnaire couvre maintenant l'ensemble du territoire méridional québécois.

Les températures au sol s'élèvent rapidement à l'arrivée des premiers rayons de soleil au champs. Surtout dans l'entre rang où l'absorption du rayonnement est maximum étant donné que cette surface est sur terre battue et que sa couleur foncée facilite l'absorption du rayonnement direct. La chaleur à la surface du sol sera conduit lentement vers les profondeurs du sol. Par contre au même moment, les surfaces localisées à l'ombre conservent une température plus fraîche et un taux d'humidité plus élevée que les entre rangs. Dès lors, ce déséquilibre entre ces deux surfaces à proximité l'une de l'autre met en action de petits systèmes convectifs et advectifs qui tendent à rétablir équilibre énergétique. L'air plus froid sous les rangs est pompé vers les entre rangs et convectés en altitude. Les échanges énergétiques en début de matinée sont lents, mais avec l'intensification du rayonnement le processus de transfert s'accélère jusqu'en début d'après-midi. Durant toute la période diurne le jeu des échanges d'énergie se perpétuera par les quatre

processus fondamentaux de régulation des températures soit : la convection, la conduction, le rayonnement et l'évaporation des surfaces.

Lentement la machine thermique diminue d'intensité jusqu'en fin d'après-midi, au fur et à mesure que le rayonnement solaire s'incline, celui-ci émet de moins en moins d'énergie par unité de surface. Bientôt le soleil se couche et l'apport important d'énergie solaire n'est plus. Seul le rayonnement thermique reste.

La surface du sol se refroidit rapidement et les cellules convectives cessent de distribuer la chaleur. Dans les quelques heures qui suivent, la température de l'air à un mètre du sol aura perdu entre 5 °C et 10 °C. Les mécanismes qui régulent les températures de surface sont maintenant inversés. Les surfaces se refroidissent par émission de rayonnement thermique. Le ciel dégagé de nuage, qui caractérise souvent les hautes pressions, ne permet pas d'intercepter et de réémettre une partie de ce rayonnement vers le sol. De plus, l'absence de vent ne permet pas de détruire l'empilement d'air froid qui s'installe au sol.

Sur un terrain plat, l'air froid s'empile par gravité et l'inversion température se développe. L'air chaud, moins dense que l'air froid, se retrouve prisonnier en altitude. À ce stade, seul un terrain en pente permet le drainage naturel de l'air froid. En fait, le seul apport de chaleur que peut bénéficier le sol et les végétaux vient de la condensation de la vapeur d'eau sur les surfaces. Dans ce contexte, plus vite le point de rosée est atteint, moins rapide sera la chute des températures. En situation où l'air à proximité du sol contient peu de vapeur d'eau, les températures descendront jusqu'à tôt le matin.

Durant cette période nocturne, plusieurs degrés Celsius auront été perdus. La température de surface du sol dans l'entre rang aura passé de 30 °C au zénith à environ - 3° vers 4h00 le jour suivant. Le feuillage des végétaux, moins massif que le sol, aura aussi atteint des températures élevées durant la journée et des températures encore plus basses que le sol durant la nuit. Contrairement à la surface d'un sol sec, la plante bien irriguée peut conserver des températures viables durant la journée en faisant passer son eau de l'état solide à l'état gazeux par évapotranspiration. De plus, sa cuticule plus ou moins cireuse et translucide laisse passer une

fraction du rayonnement solaire vers les strates inférieures. Cette énergie non captée le sera par d'autres feuilles et servira à des activités métaboliques où simplement à l'évaporation ou à l'augmentation des températures des strates inférieures. La nuit, les température du feuillage descend drastiquement sous les températures de l'air et sol. Alors que l'air à un mètre du sol est de -2 °C au même moment la température du feuillage peut être aux alentours de -4 °C.

Ce scénario de fiction microclimatique se joue tous les jours quelque part dans le monde. Les inversions de température au sol sont courantes et cause parfois bien des dégâts si elles atteignent des seuils limites de tolérance où les tissus des organes végétaux sont déstructurés par le gel des liquides extra ou intracellulaires. Les lignes qui suivent décrivent de certaines méthodes de protection contre ce type de gel applicables au Québec pour contrer ce phénomène.

## **Le concept général des méthodes de protection contre le gel**

Les gels au sol sont classés en deux catégories, soit : le gel advectif ou radiatif. Dans le premier cas, ce type de gel est lié au passage d'un front froid sur une région. Il est souvent accompagné de vent fort dont le gradient vertical de la température à partir du sol jusqu'à 30 m est très faible.

Bien qu'il soit très difficile de mettre en pratique des méthodes de lutte contre le gel de type advectif, à moins d'abriter complètement les cultures, il en est tout autrement pour les gels radiatifs. Dans ce dernier cas, différentes approches de lutte contre le gel peuvent être préconisées. D'une façon générale, il faut envisager trois approches de lutte active contre les gels radiatifs, soit de:

- 1) limiter la perte de chaleur du sol sous forme de rayonnement thermique et réduire ainsi l'inversion de la température au sol;
- 2) homogénéiser les températures en mélangeant la couche d'air chaude en altitude et la couche d'air froide au sol;
- 3) injecter une nouvelle source d'énergie à l'intérieur du système sol-atmosphère afin d'augmenter les températures au sol.

## Classification des méthodes de protection

Les méthodes de protection contre le gel peuvent être classées en deux grandes catégories, selon que nos actions s'inscrivent comme préventives à long terme (lutte passive ou indirecte) ou qu'elles nécessitent une demande d'énergie plus ou moins importante durant un laps de temps très court (lutte active ou direct). Les tableaux I et II montrent une classification des méthodes de protection.

**Tableau I**

Catégorie	Sous-catégories	Méthodes de protection
<b>Passive</b>	<b>Biologique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Induction de la résistance sans modification génétique</li><li>- Traitement des semis avec des produits chimiques</li><li>- Sélection génétique des plantes sur la base de leur rusticité au gel</li><li>- Sélection des plantes selon leur croissance (date à laquelle un certain stade phénologique est atteint)</li><li>- Sélection de la date de mise en culture selon les probabilités de gel au sol</li><li>- Utilisation de régulateurs de croissance et autres substances chimiques</li></ul>
	<b>Écologique (géographique)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sélection du site de mise en culture</li><li>- Modification du microclimat et du relief</li><li>- Modification de l'aménagement du sol (drainage de l'air froid)</li><li>- Pratiques culturales (taillages, treillis, aménagement des rangs, etc.)</li></ul>

**Tableau II**

Catégorie	Sous-catégories	Méthodes de protection
<b>Active</b>	<b>Recouvrement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matériel organique (enfeuillage, paillis, etc.)</li> <li>- Matériel minéral (buttage)</li> <li>- Tissus synthétique ou naturel (avec ou sans support)</li> </ul>
	<b>Eau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspersion par la base</li> <li>- Aspersion au-dessus des végétaux</li> <li>- Irrigation des surfaces</li> <li>- Création de brouillard de gouttelettes d'eau</li> </ul>
	<b>Brûleur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustion de liquide</li> <li>- Combustion de solide</li> <li>- Combustion de propane</li> </ul>
	<b>Machine à vent</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- À pale horizontale</li> <li>- À pale verticale</li> <li>- Hélicoptère</li> </ul>
	<b>Les combinaisons</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brûleur et machine à vent</li> <li>- Système d'aspersion et machine à vent</li> </ul>

**Le choix de la méthode à utiliser**

À la question, qu'elle est la meilleure méthode de protection? La réponse n'est pas aisée. Il va sans dire que l'implantation des méthodes préventives (passives) devraient être la première étape à toute entreprise qui a le désir de s'implanter sur un territoire. Pour celles déjà implantées et en opération, un aménagement favorisant l'absorption de la chaleur du sol par le désherbage ou l'aspersion du sol avant l'arrivée d'un gel radiatif peut s'avérer efficace.

De toutes les méthodes actives, il semblerait que les méthodes qui utilisent l'eau comme apport énergétique (toutes les méthodes d'aspersion sauf celle qui utilise le brouillard de gouttelettes, tableau II) soient plus efficaces parce qu'elles permettent d'atteindre toutes les parties aériennes de la plante.

Le choix de la méthode de protection est aussi en fonction de la superficie à protéger et de considérations économiques de rentabilité de l'entreprise. Combien vous en coûte-t-il en pertes sur une période de cinq ans et combien vous en coûtera-t-il pour utiliser ou développer un système de protection efficace? Chacun doit être en mesure de répondre à cette question économique de base.

### **Les méthodes de limitation des pertes de chaleur au sol**

La perte de chaleur du sol par rayonnement est la cause du refroidissement de l'air au contact du sol et de la végétation qui s'empile par gravité et stagne près des plantes. L'approche de lutte qui préconise de limiter la perte par rayonnement thermique englobe toutes les méthodes qui mettent un écran entre le sol (et les plantes) et l'atmosphère. Par ce procédé, on cherche ici simplement à créer un effet de serre artificiel en bloquant le rayonnement thermique émis au sol. Ces approches incluent les brouillards de fumée fabriqués à partir de foyer de combustion, les systèmes d'aspersion d'eau en fine gouttelettes qui absorbent le rayonnement et les treillis suspendus au-dessus des cultures.

Dans le cas des brouillards de gouttelettes d'eau, des systèmes efficaces ne semblent pas avoir été développés. La difficulté semble résider à créer une gouttelette de bonne dimension capable de se maintenir en suspension et de résister à l'évaporation dans l'air qui, plus souvent qu'autrement, est sec. De plus, leur évaporation éventuelle risque de créer une chute de température et abaissera d'autant plus la température que le contenu en humidité de l'air est faible.

## **L'utilisation de l'aspersion comme méthode de protection**

L'utilisation de l'aspersion d'eau comme méthode de protection contre les gels radiatifs semble la plus satisfaisante. Elle peut être appliquée sur de grandes superficies. Il faut néanmoins être prudent lors de son utilisation. Certaines règles de base doivent être respectées : 1) lorsque le système est mis en marche, il doit être maintenu jusqu'à ce que tout danger de gel soit écarté. Si l'apport en eau devait être interrompu pour une raison ou pour une autre, alors que le risque de gel est encore présent, l'évaporation de l'eau liquide et de l'eau gelé provoquerait une chute de température importante qui pourrait être désastreuse pour les végétaux. 2) si les végétaux à protéger ne peuvent supporter le poids de la glace, cette méthode ne doit pas être utilisée. 3) Avoir un accès à un débit d'eau assez important pour pouvoir fournir une aspersion uniforme de 320-350 litres/min./acre.

## **Les brûleurs**

L'apport d'énergie thermique par la combustion d'huile, d'essence, de propane ou simplement par la combustion de bois ou autre matériel inflammable a été utilisé depuis bien longtemps dans plusieurs pays. Concrètement, une grande partie de l'énergie dégagée par la combustion (entre 75 % et 85 %) est perdue en altitude par convection de l'air chaud et par rayonnement thermique vers la haute atmosphère. Cette énergie est alors très difficile à re-capturer et ramener au niveau du sol. Une certaine partie de la chaleur radiante (environ 10 % pour les brûleurs à l'huile et propane et 40 % dans le cas de la combustion du bois) peut être bénéfique pour les plantes qui sont à proximité des foyers de combustion mais, en réalité, l'effet réel sur le rehaussement des températures semble souvent négligeable.

Une des façons de rentabiliser ce système est d'utiliser des machines à vent (ventilateur) afin de ramener la chaleur perdue en altitude vers le sol. L'utilisation de deux méthodes de protection en conjonction doit être aussi considéré en fonction des moyens financiers de chacun. Mais l'utilisation des ventilateurs réduirait de 90 % la consommation d'énergie et de 50 % le nombre de brûleurs par acre, passant d'environ 40 à 20 par acre. Disons aussi qu'il vaut mieux utiliser plusieurs petits 'réchauds' qu'un grand. Un brûleur de grande puissance, dont la température au foyer de combustion peut s'élever entre 600 °C et 1000 °C, engendrerait une forte cellule de



convection qui pourrait traverser le plafond de l'inversion de température et permettent ainsi à la chaleur de s'échapper dans l'atmosphère.

### **La fumée utilisée comme écran thermique**

Selon plusieurs chercheurs, il apparaît que la fumée de combustion n'a jamais été un avantage réel en situation de gel au sol. La dimension des poussières de fumée en suspension étant de l'ordre de l'ordre de 1 micron (1 millionième de mètre), représente plutôt un obstacle à la vue (0,4 à 0,7 micron) qu'un véritable barrage au rayonnement thermique de grande longueur d'onde en provenance du sol. De dimension trop petite, les particules de fumée laissent passer le rayonnement du sol sans les absorber. De plus, l'utilisation de la fumée de combustion représente une source de pollution non négligeable pour toute entreprise soucieuse de la qualité de sa production.

### **Conclusions**

Il serait bien prétentieux de croire, qu'en ces quelques lignes, nous pourrions couvrir l'ensemble de ce sujet. Une approche quantitative des énergies en cause dans l'étude du déficit radiatif nocturne devrait être présentée dans le détail afin de comprendre l'ensemble des enjeux dans la sélection d'une méthode de protection efficace.

Bien que la diminution des températures soit modélisable et prédictible jusqu'à un certain point, la teneur en vapeur d'eau de la couche limite de l'air à proximité du sol dépend beaucoup du site. Pour ces raisons, toutes les méthodes de protection devraient être accompagnées d'un système d'acquisition de données climatiques et microclimatiques sur le terrain.

Conférence présentée dans le cadre des journées Agri-Vision le 25 janvier 2006