

INNOVATIONS IN FROST PROTECTION

Innovations dans la protection antigel

by *Eliad Sasoni, Senior Agronomist, Naandanjain Irrigation Ltd.*

The world around us is changing. Change has always been a part of this planet, but recently the rate at which change occurs has been accelerating. Extreme weather phenomena, such as tsunamis, earthquakes and floods are becoming more and more common. Many researchers are focusing on climate change and its effects. Scientists now know how to explain these phenomena, at least in part, but we are still unable to fully predict events such as heat waves and heavy rains. It seems as if nature itself is changing. And although we, the human race, probably have a hand in this, we find ourselves helpless against the outcome. However, despite the fact that the world is becoming a more extreme place and change of life is upon us, the basic laws of nature haven't changed and probably never will. These essential laws of nature - physics, chemistry and thermodynamics – together with our ability to understand them and use them, provide us with the chance we need to meet this great global challenge.

Le monde, autour de nous, est changeant. Les changements ont toujours été une des caractéristiques de cette planète, mais depuis quelques temps, la façon dont ils se font s'accélère. Des phénomènes climatiques extrêmes, tels que les tsunamis, les tremblements de terre et les inondations deviennent de plus en plus fréquents. De nombreux chercheurs s'intéressent au changement climatique et à ses effets. Les scientifiques savent maintenant comment expliquer ces phénomènes, du moins pour la plupart, mais nous sommes encore incapables de prédire avec précision des événements tels que des vagues de chaleur ou des pluies violentes. Il semble que la nature elle-même soit en train de changer. Et bien que nous, la race humaine, ayons une responsabilité dans cela, nous sommes impuissants contre ces conséquences. Cependant, bien que dans le monde actuel apparaissent des événements extrêmes et que notre vie en est modifiée, les lois de base de la nature n'ont pas changé et probablement ne changeront jamais. Les lois fondamentales de la nature, les lois physiques, chimiques et thermodynamiques, associées à notre capacité de les comprendre et de les mettre en œuvre nous permettent de relever ce défi mondial.

The natural and agricultural environment is highly affected by climate change. The leafing out, blooming, flowering, ripening of fruits, water balance and so on are all very susceptible to stress and severe damage as a result of the extreme weather.

One of these extreme weather events is the drop of temperatures below 0c, namely frost. When these drops in temperature occur out of season, the plants are ill-equipped to cope with it on the physiological level, and they suffer severe damage as a result.

L'environnement, qu'il soit naturel ou agricole, est fortement impacté par le changement climatique. La croissance du feuillage, la floraison, la nouaison, la maturation des fruits, le bilan hydrique et bien d'autres fonctions sont susceptibles d'être modifiées et de subir de sévères dommages résultant de conditions climatiques extrêmes.

L'un de ces événements climatiques extrêmes est la chute des températures en dessous de 0°C; le gel. Lorsque ces chutes de température apparaissent hors saison, les plantes, compte tenu de leur stade végétatif, sont incapables de les supporter et subissent de sévères dégâts.



When these drops in temperature occur out of season, the plants suffer severe damage as a result
 Lorsque ces chutes de température apparaissent hors saison, les plantes subissent de sévères dégâts

There are two kinds of frost:

- **Advection Frost (Windy Frost or Black Frost)** occurs when a cold air mass (cold front) moves into an area, bringing freezing temperatures. Wind speed is usually above 8 km/h. Possible protection against this kind of frost is very limited.

- **Radiation Frost** occurs when, with a clear sky and calm winds, the temperature near the surface of the earth drops to below freezing point. As temperatures drop, the cold air flows downward to lower topographic areas. That is where most of the damage is seen. Efforts have been made to come up with a solution for this kind of frost; a way to alleviate the damage caused by the low temperatures. In order to do so, we utilize the same basic laws of nature that play an important role in creating the frost itself.

LATENT HEAT

When water freezes, it actually changes phase from liquid to solid, thus sustaining a lower energy level. The excess energy is released to the immediate environment. To be precise, each gram of water that freezes releases 80 calories. Therefore, the actual process of freezing is in fact heating the surface on which it takes place. This is one of those laws of nature we have managed to utilize to our advantage.

Many methods have been used to protect fields and plantations from frost, including smokers, wind machines, helicopters, the burning of tires and the use of sprinklers. Some methods have been more successful than others.

Il existe deux types de gel :

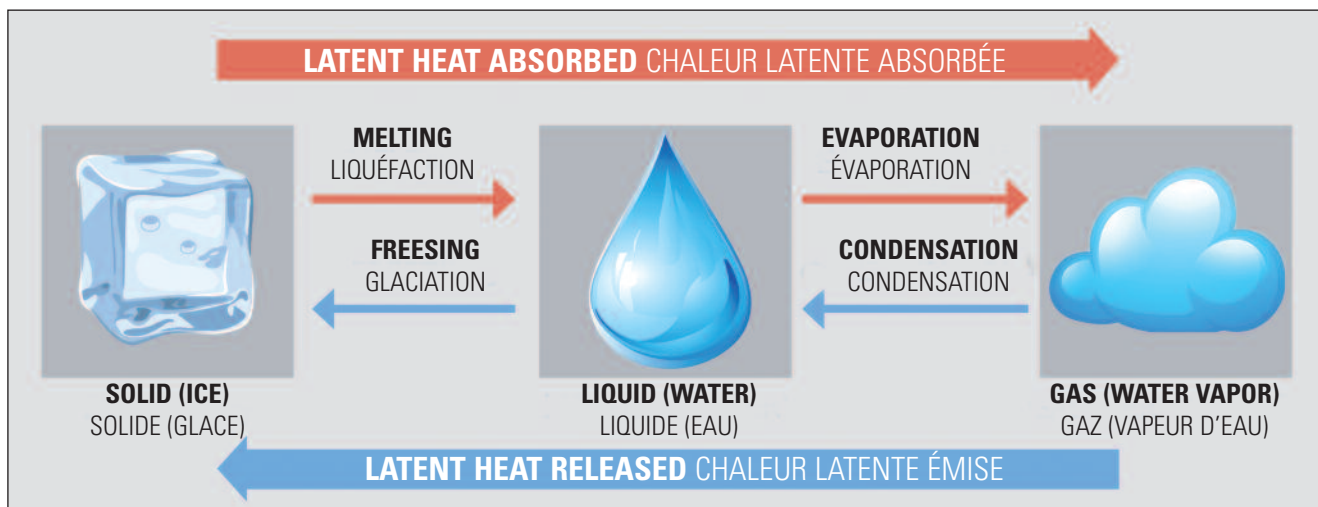
- **Le gel par advection (gel en conditions ventées ou gelée noire)** apparaît lorsqu'une masse d'air froid (front froid) envahit une surface entraînant des chutes importantes de température. La vitesse du vent est généralement supérieure à 8 km/h. Les possibilités de lutte contre ce type de gelées sont très limitées.

- **Le gel par rayonnement** apparaît lorsque, avec un ciel clair et des vents faibles, la température de la zone située au voisinage du sol descend en dessous du point de congélation. Comme la température chute, les flux d'air froid se rassemblent dans les parties les plus basses de la zone concernée. C'est là que l'on rencontre les dommages les plus importants. Des efforts ont été faits pour trouver des solutions pour ce genre de gelée ; une façon de diminuer les dommages causés par des températures basses. Pour cela, nous utilisons les mêmes lois de base de la nature que celles qui jouent un rôle important dans la création des gelées.

CHALEUR LATENTE

En gelant, l'eau passe de l'état liquide à l'état solide en dégageant une très faible énergie. Cet excédent d'énergie est relâché dans l'environnement immédiat. Plus précisément, en gelant, un gramme d'eau libère 80 calories. Ainsi, le processus réel de formation de glace entraîne un réchauffement de la surface où il a lieu. Ceci est l'une de ces lois de la nature que nous utilisons à notre avantage.

Différentes méthodes ont été utilisées pour protéger du gel les cultures et les plantations ; chaufferettes, brasseurs d'air, hélicoptères, brûlage de pneus et arrosage par aspersion. Certaines méthodes sont plus efficaces que d'autres.



Let's compare the efficiency of some of these methods: Burning one liter of diesel oil in a heater releases 9,321 kcal into the air. Alternatively, it is possible to use the same single liter of diesel oil to operate a pump that will deliver water to the designated area. It is estimated that 14 cubic meters of water can be received by one liter of diesel oil. There is about 1,120,000 kcal of energy in 14,000 liters of water. The implication is 9,321 kcal compared with 1,120,000 kcal. This is 120 times better, providing the water with an advantage in energy, when compared with burning fuel.

FROST PROTECTION BY SPRINKLER

We can therefore conclude that frost protection by irrigation, and by using the latent heat released during the freezing process, is the most effective approach in most cases. There are different ways to use sprinklers for frost protection, taking many factors into consideration. However, the same thermodynamic principles apply to all methods of irrigation: A minimum of **3.0 mm/h** is required. This is enough to provide protection in temperatures as low as **-3 °C**. Another **0.5 mm/h** is required for every **additional degree**, i.e. if the temperature is **-4.0 °C**, the minimum application rate will be **3.5 mm/h** (35 m³/ha/hour).

METHODS OF WATER APPLICATION

- **Overhead Full Cover.** Overhead sprinkler irrigation is a very common practice in frost protection. Overhead irrigation provides excellent frost protection in temperatures of **-7 °C** and lower if the application rates are sufficient and the application is uniform. Drawbacks of this method are that severe damage can occur if the sprinkler system fails; the method requires extensive water consumption; ice loading can cause branch damage; and root disease can be

Comparons l'efficacité de quelques-unes de ces méthodes : brûler un litre de gas-oil dans une chaufferette libère 9321 Kcal dans l'air. D'autre part, il est possible d'utiliser ce litre de gas-oil pour faire fonctionner une pompe pour arroser la surface concernée. On estime à 14 m³ la quantité d'eau qui pourrait ainsi être pompée. 14 000 litres d'eau représentent environ une énergie de 1 120 000 Kcal. On a donc 9321 Kcal à comparer avec 1 120 000 Kcal. La production en énergie est 120 fois plus importante en utilisant l'eau qu'en brûlant du gas-oil.

PROTECTION ANTIGEL PAR ASPERSION

Nous pouvons donc déduire de ce qui précède que la protection contre le gel par aspersion, en utilisant la chaleur latente libérée lors du processus de formation de glace, est dans la plupart des cas le moyen le plus efficace. Il existe différentes façons d'utiliser les asperseurs pour lutter contre le gel en tenant compte de plusieurs facteurs. Cependant, les mêmes principes de thermodynamique sont appliqués aux différentes méthodes d'irrigation. Une pluviométrie minimale de **3 mm** est nécessaire. Ceci est suffisant pour offrir une protection avec des températures de l'ordre de **-3°C**. **0,5 mm/h** supplémentaires sont nécessaires pour chaque **degré additionnel**. Par exemple, si la température est de **-4°C**, la pluviométrie minimale sera de **3,5 mm/h** (35 m³/ha/h).

LES MÉTHODES UTILISÉES POUR APPORTER L'EAU

- **Couverture intégrale sur frondaison.** L'irrigation par aspersion sur frondaison est une pratique très utilisée pour la lutte antigel. L'irrigation sur frondaison offre une excellente protection contre le gel pour des températures descendant jusqu'à **-7°C** et même inférieures si la pluviométrie est suffisante et uniforme. Les inconvénients de cette méthode sont l'apparition de dommages importants si le système d'aspersion tombe en panne, une consommation importante d'eau, le poids de la glace qui peut endommager les branches et l'apparition de maladies sur les racines pouvant



**ONLY THE PLANTS NEED TO BE PROTECTED; NOT THE ROADS OR THE SPACES BETWEEN TREES.
Seules les plantes ont besoin d'être protégées
mais pas les chemins ou les espaces entre les arbres.**

a problem in poorly drained soils. Water logging and soil erosion may also be a problem due to the large amount of water needed for overhead full cover frost protection.

Application rate requirements for overhead sprinklers differ for conventional rotating, variable rate, or low-volume targeted sprinklers. As long as there is a liquid-ice mixture on the plants, with water dripping off the icicles, the coated parts of the plant will be protected. However, if an inadequate precipitation rate is used, or if the rotation rate of the sprinklers is too slow, all the water can freeze and the temperature of the ice-coated plants can fall to subzero temperatures.

Conventional overhead sprinkler systems use standard impact sprinklers to completely wet the plants and soil. Sprinkler distribution uniformity is important to prevent inadequate coverage, which might result in damage. In most cases, the sprinkler heads should be mounted at 30 cm or higher above the top of the plant canopy to prevent the plants from blocking the spray. For frost protection, specially designed sprays are often used, which are

causer des problèmes sur les sols mal drainés. L'engorgement et l'érosion des sols peuvent également être la cause de problèmes dus à l'importante quantité d'eau nécessaire à la lutte antigel par couverture intégrale sur frondaison. Les besoins pluviométriques pour une aspersion sur frondaison diffèrent entre les asperseurs rotatifs conventionnels, l'irrigation à dose variable ou les asperseurs à faible volume pour l'irrigation localisée. Aussi longtemps qu'il y a un mélange eau-glace sur les plantes, avec l'eau tombant en gouttes sur la glace déjà formée, la partie de la plante qui est recouverte sera protégée. Cependant, si on utilise une pluviométrie inappropriée, ou si la vitesse de rotation des asperseurs est trop lente, toute l'eau peut geler et la température des plants recouverts de glace peut atteindre des valeurs très basses.

Les systèmes d'aspersion sur frondaison conventionnels utilisent des asperseurs à battant classiques et arrosent les arbres et le sol en totalité. Une bonne uniformité de la pluviométrie est importante car une mauvaise répartition de l'eau peut créer des dommages. Dans la plupart des cas, les asperseurs sont placés à 30 cm, ou plus haut, au-dessus de la canopée de la plante, pour éviter que les jets ne soient bloqués.

protected by an “enclosure” to prevent the icing of the heads. In short, the conventional overhead full cover method, when applicable, provides excellent protection and is the most common and safest frost protection solution.

• **Under-tree Sprinkler Irrigation.** For under-tree micro-sprinklers, which apply less water than conventional sprinklers, the goal is to maintain a temperature of about 0 °C only on the ground under the trees. This is in order to concentrate and enhance radiation and sensible heat transfer upwards into the plants. In some places there is a tendency to avoid wetting the foliage of the trees. In this case, under-tree sprinkler irrigation is adequate. However, this application can only protect the trees to a limited extent. It is customary to use under-tree frost protection only when the expected minimum temperature is higher than -2 °C. Furthermore, even at temperatures of -2 °C, when using under-tree sprinkler irrigation, there is a risk of exposing the upper parts of the tree to frost damage.

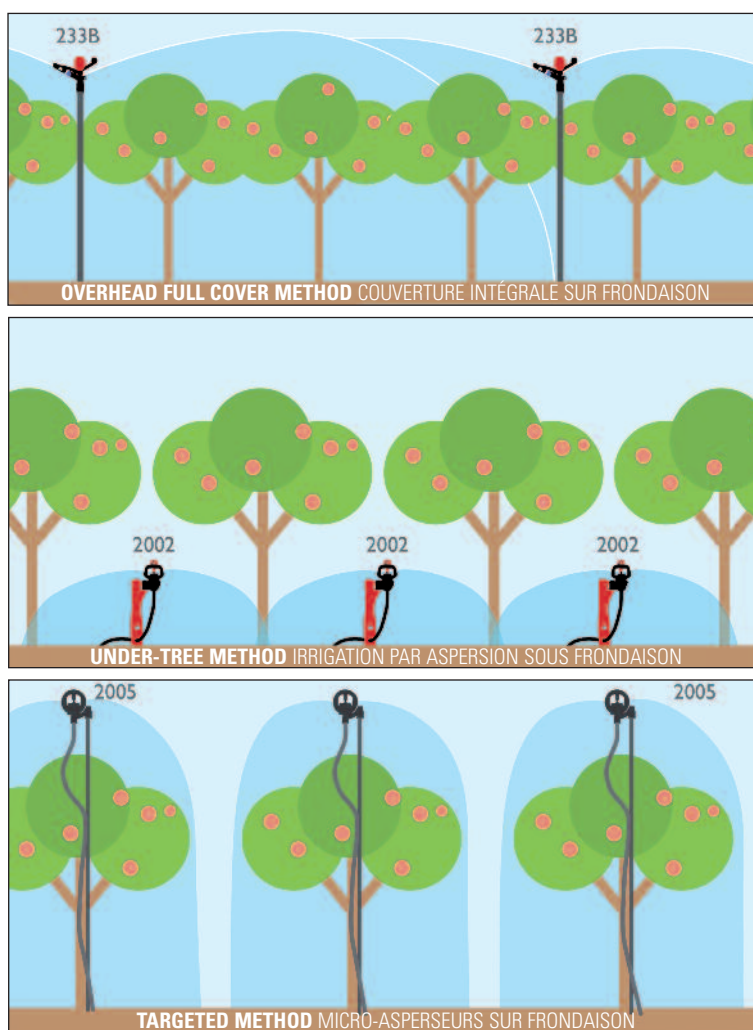
• **Targeted Sprinklers.** Targeted sprinklers spray the water directly onto the plants, with smaller amounts of water falling between plant rows. Usually a single micro-sprinkler is positioned above a single tree. A big advantage of using targeted sprinklers is that conventional sprinklers often have very high flow rates, whereas targeted sprinklers commonly have much lower flow rates. Needless to say, this saves large amounts of water and consequently mitigates the disadvantages of the conventional impact sprinklers and saves money. One of the advantages of targeted micro-sprinklers is their ability to protect larger areas with a given amount of water. On the other hand, one of the limiting factors of this kind of

Pour la lutte anti-gel, on utilise souvent des asperseurs conçus spécifiquement pour cette utilisation et dont le mécanisme est protégé par un capuchon pour éviter qu’ils soient bloqués par la formation de glace. En conclusion, la couverture intégrale conventionnelle par aspersion sur frondaïson, lorsqu’elle est applicable, offre une excellente protection et correspond à la méthode de protection anti-gel la plus utilisée et la plus sûre.

• **Irrigation par aspersion sous frondaïson.** Avec les micro-asperseurs placés sous frondaïson qui apportent moins d’eau que les asperseurs classiques, le but est de maintenir une température de l’ordre de 0°C au niveau du sol, sous les arbres. Ceci afin de concentrer et d’améliorer le rayonnement et le transfert de chaleur sensible vers le haut dans la plante. Parfois, on veut éviter de mouiller le feuillage des arbres. Dans ce cas, l’irrigation par aspersion sous frondaïson convient très bien. Cependant, cette méthode protège les arbres de façon limitée. Habituellement, on utilise la protection anti-gel sous frondaïson lorsque la température minimale attendue est supérieure à -2°C. En outre, même si la température est de -2°C, en utilisant cette technique, il y a le risque que la partie supérieure du végétal subisse des dommages dus au gel.

• **Micro-asperseurs sur frondaïson.** Les micro-asperseurs sur frondaïson projettent l’eau directement au-dessus des plantes et de petites quantités d’eau seulement tombent entre les rangs de culture. Générale-

ment, on place un seul micro-asperseur au-dessus de l’arbre. Un des gros avantages d’utiliser cette méthode est que souvent, les asperseurs conventionnels ont un débit très important alors que celui des micro-asperseurs est beaucoup plus faible. Inutile de dire que ceci économise des quantités importantes d’eau et par là même atténue les inconvénients d’une aspersion classique avec des asperseurs à battreur. L’un des avantages des micro-asperseurs sur frondaïson est de protéger une plus grande surface avec la quantité d’eau disponible. D’un autre côté, l’un des facteurs limitants de cette



frost protection is the possibility of water freezing inside the narrow tubes leading up to the emitters. The flow velocity will determine the point of freezing. When planning a frost protection system using the targeted method, this should be taken into account and a sufficient flow velocity should be ensured. The same principle applies to the “Strip” method presented below.

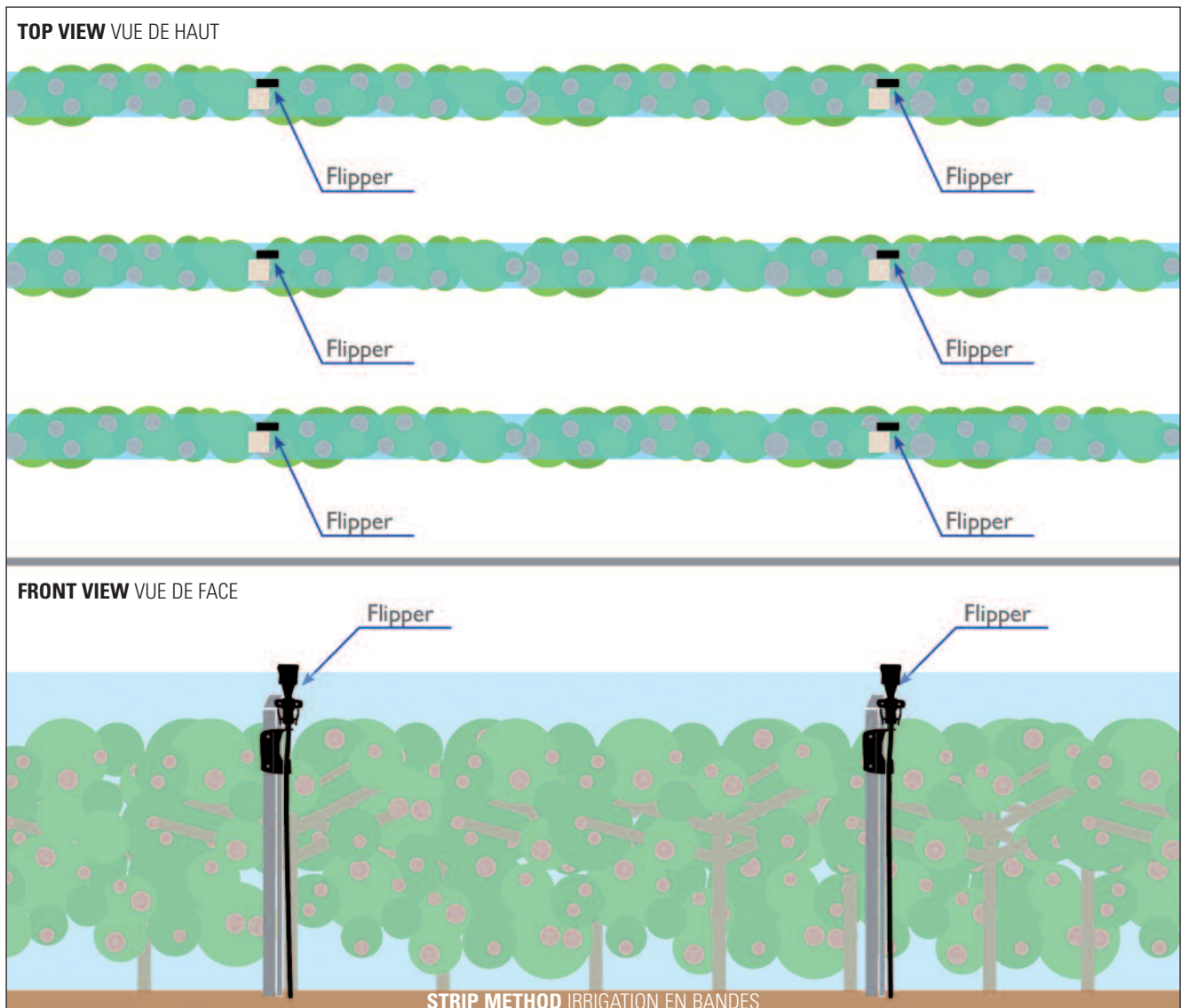
• **Strip.** The latest, most adaptive frost protection solution is **strip Application**. As mentioned previously, in order to provide efficient frost protection, the precipitation rate should be a minimum of **3.0 mm/h** to protect at temperatures as low as **-3 °C**. Another **0.5 mm/h** is required for every **additional degree**.

For example: To provide frost protection at the expected temperature of **-7 °C**, we would have to apply **5 mm/h** of water. Using the overhead full cover method, we could reach a discharge rate of **50 mm** per hectare in 1 hour. This requires a huge amount of water. The system requirements in this case are very high, and using such a high flow rate may not supply enough water to provide protection for the whole area.

méthode de protection antigel est que l’eau gèle à l’intérieur des tuyaux fins qui alimentent les distributeurs. C’est la vitesse de l’eau qui détermine le point de congélation. Lorsque l’on calcule une installation de lutte antigel utilisant cette méthode, ceci doit être pris en compte et il faut s’assurer d’avoir un débit avec une vitesse suffisante. Cette recommandation est également valable pour la méthode en bande présentée ci-après.

• **Irrigation en bandes.** La dernière méthode, la mieux adaptée, est l’irrigation en bande. Comme mentionné auparavant, pour que la lutte antigel soit efficace à des températures de **-3 °C**, la pluviométrie doit être au moins de **3,0 mm/h**. **0,5 mm/h** supplémentaires sont nécessaires par **degrés supplémentaires**.

Par exemple: Pour avoir une protection antigel lorsque la température atteint **-7°C**, il est nécessaire d’avoir une pluviométrie de **5 mm/h**. En utilisant la couverture intégrale sur frondaison, nous avons besoin d’un débit de **50 m³** par ha et par heure. Ceci nécessite des quantités d’eau disponibles très importantes. Dans ce cas, les besoins de l’installation sont très importants et en utilisant un débit élevé, il n’est pas possible de disposer de suffisamment d’eau pour couvrir la totalité de la surface.



We offer a new approach. In many cases, especially in apple orchards, there is a 3-meter gap between the rows of trees, and the rows themselves are very narrow, creating a “fruit wall” configuration. Other crops, such as berries, grapevines, or vines in general, are also grown in narrow rows. If we could just irrigate only the row itself, without applying water to the spaces between rows, we would be able to save huge amounts of water, making it possible to protect a much larger area at the same time. We would save money on the irrigation system requirements and we would prevent damage caused by applying 50 mm/hectare each hour for the duration of the night.

The bottom line is precision. Only the plants need to be protected; not the roads or the spaces between trees.

Going back to the example above: To provide frost protection at the expected temperature of -7 C°, we would have to apply 5 mm/h of water. As opposed to 50 mm per hectare in 1 hour, we would actually use only 16 mm per hectare in 1 hour using the **strip irrigation** method, while providing the same exact precipitation rate and the exact same protection.

Nous proposons une nouvelle approche. Dans de nombreux cas, spécialement dans les vergers de pommiers, la distance entre deux rangs de culture est de 3 m et les arbres eux-mêmes sur le rang sont très près les uns des autres créant ainsi un « mur fruitier ». Dans d’autres cas, comme les vignes par exemple, les ceps sont également plantés en rangs serrés. Si nous irriguons le rang lui-même sans apporter d’eau aux inter-rangs, nous pourrions alors économiser des quantités importantes d’eau tout en protégeant en même temps une surface plus importante. Nous ferons des économies sur les exigences du système d’irrigation et nous éviterons les problèmes créés par l’apport de 50 mm/h d’eau durant toute la nuit.

L’argument ultime est la précision. Seules les plantes ont besoin d’être protégées mais pas les chemins ou les espaces entre les arbres.

Revenons à l’exemple précédent: pour avoir une protection antigèle à une température de -7°C, nous devons avoir une pluviométrie de 5 mm/h. Par rapport au 50 m³/h/ha, nous apporterions seulement 16 m³/h/ha en utilisant la **méthode d’irrigation en bande** tout en ayant la même pluviométrie et la même protection.

EFFECTIVE PRECIPITATION PLUVIOMÉTRIE EFFECTIVE					
System Système	Sprinkler Asperseur	Spacing (m) Espace(m)	Flow rate (l/h) Débit (l/h)	Rate (mm/h) Pluviométrie (mm/h)	Discharge (m³/ha/h) Débit (m³/ha/h)
Full coverage Couverture intégrale	Impact A batteur	12 x 15	900	5	50
Targeted Micro-asperseurs sur frondaison	2002	2 x 5	35	5	35
Strip Irrigation en bande	Flipper Flipper	7 x 3	35	5	16.6

This table shows the differences between the various frost protection methods. Clearly, it is possible to achieve the same protection, while saving substantial amounts of water and increasing efficiency.

It is clear that conditions are changing. It is also clear that new approaches and technologies are already here. It is important for us to be able to see more than one step ahead because many resources are limited.

Fresh water is a resource we all depend on. It is becoming scarce and we must learn how to use it more carefully. Adopting new and better ways to achieve our goals, which conserve our planet’s resources, is beneficial not only to ourselves, but to the environment in general. ■

Ce tableau montre les différences entre les différentes méthodes de protection antigèle. Il apparaît clairement qu’il est possible d’obtenir la même protection antigèle tout en économisant des quantités importantes d’eau et en augmentant l’efficacité.

Il est clair que les conditions ont changé. Il est clair aussi que de nouvelles approches et que de nouvelles technologies sont déjà là. Il est important pour nous de voir au-delà du futur immédiat car de nombreuses ressources sont maintenant limitées. L’eau est une ressource de laquelle nous dépendons tous. Comme elle se raréfie, nous devons apprendre à l’utiliser avec précaution. L’adoption de nouvelles méthodes plus performantes pour atteindre nos objectifs, méthodes qui protègent les ressources de notre planète, sera bénéfique non seulement à nous-même mais à l’environnement dans sa globalité. ■