



# UVBOOSTING

## LA PROTECTION DE LA VIGNE CONTRE LES GELEES DE PRINTEMPS PAR FLASH DE LUMIERE UV

Dr. François Sement  
Responsable R&D Biologie

La société UV Boosting a mis au point un procédé de **stimulation des défenses naturelles et de soin global des plantes par flash UV**. Ce procédé permet d'entraîner les plantes à réagir plus rapidement et plus efficacement contre les agressions et les changements de leur milieu.

Une des utilisations du procédé UV Boosting est la stimulation des plantes pour améliorer leur tolérance aux gelées de printemps. Les essais réalisés en conditions de production montrent qu'**une seule stimulation réalisée 48 heures avant l'épisode de gelée blanche apporte une protection de 20 à 50% contre les dégâts de gelée**. Cette protection a un effet direct sur la vigne et conduit à **une augmentation de 11 à 50% du nombre moyens d'inflorescence par cep** pour les gelées les plus importantes.

Ce rapport bibliographique fait le point sur les connaissances liées à la résistance des plantes aux gelées et explique le principe d'action de la stimulation UV Boosting pour aider les viticulteurs à minimiser leurs pertes face à ces événements climatiques.



## SOMMAIRE

I. Introduction .....	4
II. Comment sont provoqués les dégâts de gel ? .....	5
A. La vigne est une plante sensible au gel.....	5
B. La formation de cristaux de glace est à l'origine des dégâts de gel.....	5
III. Les plantes peuvent se défendre contre les dégâts dus aux gelées .....	5
A. Une voie métabolique pour la tolérance au froid est activée par la stimulation UV .....	5
B. Les plantes peuvent synthétiser des protéines antigel pour minimiser ou contrôler la formation des cristaux de glace.....	6
C. Une synthèse accrue de composés phénoliques explique la tolérance naturelle de certains cépages.....	7
D. L'application préventive d'acide salicylique réduit les dégâts de gel chez les plantes.....	7
IV. La stimulation UV Boosting est efficace pour prévenir les dégâts de gelées de printemps au vignoble .....	8
V. Conclusion.....	10
VI. Bibliographie .....	11



## I. INTRODUCTION

Du fait de leur ancrage dans le sol, les plantes sont obligées d'endurer les changements et les agressions de leur environnement. L'évolution de la vie végétale les a donc pourvues de grandes capacités d'adaptation et d'une résilience étonnante. Les plantes possèdent en elles la capacité de s'adapter à un grand nombre de situations et de minimiser l'impact de conditions défavorables et des attaques. Face au gel, toutes les plantes ne sont pas égales. Certaines plantes se sont naturellement adaptées aux températures basses et aux gels en accentuant certains de leurs traits au cours de leur évolution.

La plante perçoit les conditions défavorables et réagit en produisant un mélange d'hormones végétales et les niveaux relatifs de ces différentes hormones dictent les réponses des plantes. Parmi les hormones végétales, l'acide salicylique est un acteur clé de la réponse et de l'adaptation des plantes à l'environnement. Il est impliqué à la fois dans les réponses aux attaques pathogènes et aux changements défavorables des conditions environnementales. Sa concentration dans la plante influence le degré de la réponse à un stimulus.

La lumière UV est connue depuis plus de 30 ans comme un stimulus déclenchant la production d'acide salicylique et l'activation des défenses des plantes [1], [2]. Une production répétée d'acide salicylique par les plantes est accompagnée d'un phénomène de potentialisation de ses défenses. La potentialisation des défenses des plantes (ou « priming ») est un processus physiologique naturel par lequel la plante se prépare à répondre plus rapidement et/ou plus agressivement à un stress biotique ou abiotique futur. Au fur et à mesure des répétitions de la stimulation UV Boosting, les plantes deviennent plus rapides et plus efficaces dans l'activation de la production d'acide salicylique et des procédés biologiques que cette hormone déclenche.

Le froid et le gel déclenche naturellement la production d'acide salicylique. Lorsqu'un bulletin météorologique annonce un épisode de gel, il est possible d'utiliser la stimulation UV Boosting pour permettre à la plante de prendre de l'avance dans la mise en place de sa réponse et cette avance fait toute la différence au niveau de sa tolérance à cet évènement climatique.



## II. COMMENT SONT PROVOQUES LES DEGATS DE GEL ?

### A. LA VIGNE EST UNE PLANTE SENSIBLE AU GEL

Chez la vigne, les jeunes feuilles sont connues pour ne pas être particulièrement résistantes au gel et des températures inférieures à  $-2^{\circ}\text{C}$ , accompagnées d'humidité, peuvent provoquer d'importants dégâts. L'humidité relative est un facteur très important dans les dégâts de gel : une température de  $-1,5^{\circ}\text{C}$  accompagnée par temps humide causera plus de dégâts qu'une température de  $-2,5^{\circ}\text{C}$  par temps sec.

**Les dégâts de gel se présentent sous la forme de secteurs de feuille qui apparaissent plus sombres et saturés en eau et dans les cas les plus extrêmes, la totalité du jeune rameau est détruite.** On présume que ces sections plus sombres sont les secteurs des feuilles où les membranes cellulaires ont été endommagées et où les fluides cellulaires saturent les tissus. Après 4 jours, ces régions apparaissent sous la forme de lésions, indiquant l'incapacité de la plante à réparer les dégâts des zones touchées.

### B. LA FORMATION DE CRISTAUX DE GLACE EST À L'ORIGINE DES DÉGÂTS DE GEL

La nucléation, c'est-à-dire la première étape de la formation du cristal de glace, commence lorsque des molécules d'eau se joignent pour produire un noyau de cristal. A des températures légèrement inférieures à  $0^{\circ}\text{C}$ , la nucléation est catalysée par la présence de poussière, de sel, de molécules organiques ou de bactéries. **La formation d'un cristal de glace par des molécules d'eau à la surface d'une feuille entraîne une réaction en chaîne où les molécules d'eau voisines vont s'associer à ce cristal et la glace va ainsi pénétrer l'intérieur de la feuille** A l'intérieur de la plante, l'eau est trouvée généralement dans deux compartiments distincts : le symplasme qui comprend l'eau présente à l'intérieur de la cellule et l'apoplaste qui comprend l'eau présente à l'extérieur des cellules. L'apoplaste est le premier endroit où se forment des cristaux de glace. Lors d'une chute importante et extrêmement rapide de la température (gelée noire), des cristaux peuvent également se former dans le symplasme et causent des dommages irréversibles. Les lésions membranaires lors d'un gel sont dues au phénomène connu sous le nom de recristallisation de la glace, c'est-à-dire la formation de grands cristaux de glace dans l'apoplaste des tissus végétaux, le liquide présent entre les cellules. L'action de ces cristaux est probablement double. Tout d'abord, une action mécanique : ils possèdent des arrêtes coupantes capables de trancher les membranes. Deuxièmement, ils peuvent également avoir une action osmotique, c'est-à-dire que l'eau stockée sous forme solide n'est plus disponible ce qui entraîne un drainage de l'eau contenu dans les cellules pour compenser la perte d'eau liquide entre les cellules. Ces deux phénomènes peuvent aboutir à l'effondrement et la mort cellulaire.

## III. LES PLANTES PEUVENT SE DÉFENDRE CONTRE LES DÉGÂTS DUS AUX GELÉES

### A. UNE VOIE METABOLIQUE POUR LA TOLERANCE AU FROID EST ACTIVEE PAR LA STIMULATION UV

Les plantes possèdent en elles des armes pour minimiser l'impact des températures basses et le gel. L'une de ces armes est une voie métabolique de réponse sous le contrôle d'un activateur protéique connu sous le nom de DREB1A/CBF4. Cette protéine agit en activant l'expression de gènes en réponse au froid chez les plantes [11]. Des analyses réalisées par UV Boosting ont également montré une augmentation de l'expression de 92% du gène encodant cette protéine après une stimulation par flash UV et donc une activation de gènes de réponse au froid.

## B. LES PLANTES PEUVENT SYNTHÉTISER DES PROTÉINES ANTIGEL POUR MINIMISER OU CONTRÔLER LA FORMATION DES CRISTAUX DE GLACE

Les plantes, comme de nombreux êtres vivants, sont capables d'adapter leur métabolisme pour inhiber la formation de cristaux de glace. Les graines par exemple, éliminent l'eau, accumulent des sucres et des polyphénols pour réduire leur température de congélation. Les cellules des tissus verts quant à elles, peuvent synthétiser des protéines dites de liaison à la glace ou antigel. Ces protéines sont excrétées de l'intérieur de la cellule vers l'apoplaste et vont agir en abaissant la température de congélation et parfois, en inhibant la croissance des cristaux et/ou potentiellement en dirigeant la forme de ces cristaux, ce qui rend le tissu plus tolérant au gel.

Un grand nombre de protéines végétales antigel ont une homologie de séquences avec des protéines de défense contre les pathogènes, suggérant un rôle double de ces protéines. Quelques exemples sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Protéine	Plante d'origine	Similarité avec protéine de défense	Référence bibliographique
GLU-AFP, CHT-AFP, TLP-AFP	Seigle d'hiver ( <i>Secale cereale</i> )	Beta-1,3-endoglucanase (protéine antifongique), Endochitinase (protéine antifongique), Protéine "thaumatin-like" (protéine induite par les pathogènes)	[3]–[5]
dcAFP	Carotte ( <i>Daucus carota</i> )	Protéine d'inhibition poly-galacturonase	[6], [7]
TaIRI1-2	Blé d'hiver ( <i>Triticum aestivum</i> )	Protéine "thaumatin-like"	[8]
BiCHT-1	Brome inerme ( <i>Bromus inermis</i> )	Chitinase	[9]
PaAFP	Epinette norvégienne ( <i>Picea abies</i> )	Chitinase	[10]
PpAFP	Epinette bleue ( <i>Picea pungens</i> )	Chitinase	[10]
CpCHT-AFP	Chimonanthe odorante ( <i>Chimonanthus praecox</i> )	Endochitinase de classe I	[11]
HrCHT-1a/b	Argousier ( <i>Hippophae rhamnoides</i> )	Endochitinase de classe I	[12]

La vigne possède un nombre important de gènes codant pour des homologues potentiels des protéines décrites dans le tableau (15 « endochitinase », au moins 7 « chitinase », 6 « beta-1,3-endoglucanase », 14 « protéines thaumatin-like »). **Des analyses réalisées par UV Boosting ont permises de montrer qu'un grand nombre de ces gènes voient leur expression augmenter en réponse aux flashes UV-C.**

### C. UNE SYNTHÈSE ACCRUE DE COMPOSÉS PHÉNOLIQUES EXPLIQUE LA TOLÉRANCE NATURELLE DE CERTAINS CÉPAGES

Une étude américaine de 2018 [13] s'est intéressée aux différences de tolérance au froid et de résistance au gel qui existent entre les cépages. **L'étude de 5 cépages différents a mis en lumière la résistance naturelle au froid et au gel du cépage italien Sangiovese.**

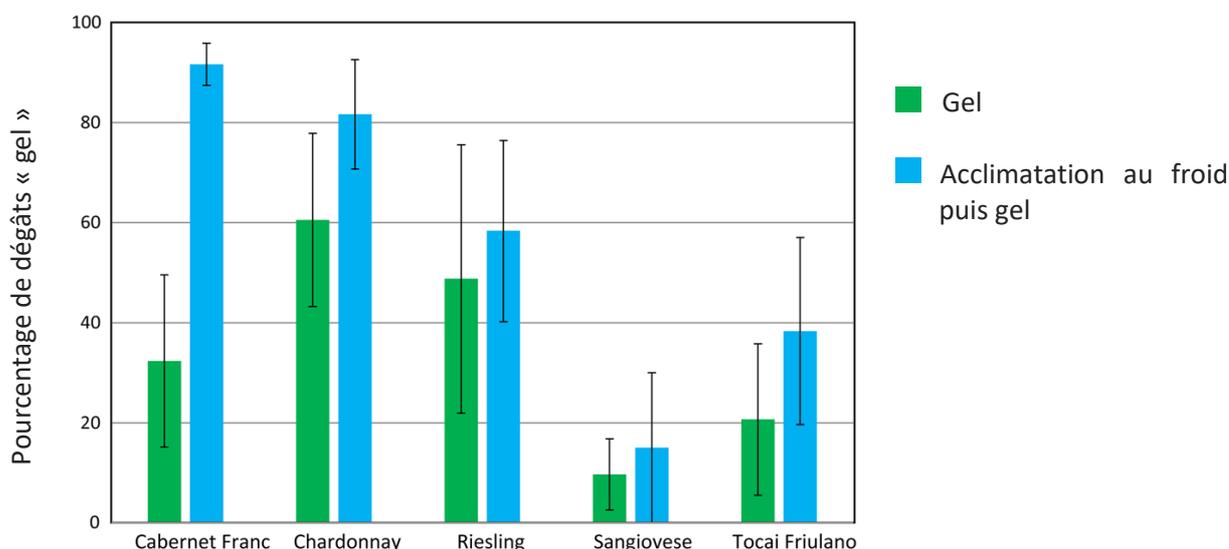


Figure 1 : Quantification des dégâts de gel dans différents cépages

Le pourcentage de dégâts sur des feuilles de vigne de différents cépages a été estimé dans le cadre de 6 expériences réalisées dans des conditions de cultures contrôlées. Des boutures de plants de vigne récupérées pendant l'hiver 2013 ont été gardées à 4°C pendant 42 jours puis transférées à 22°C pour débourrement. Une fois que les boutures ont atteintes le stade BBCH11 (une feuille étalée), elles ont été soumises à un gel à -3°C pendant 45 minutes (« Gel ») ou préalablement gardées pendant 48 heures à 4°C puis soumises à un gel à -3°C pendant 45 minutes (« Acclimatation puis gel »).

Figure adaptée de Londo, Kovalski and Lillis, 2018.

Pour mieux comprendre ces résultats, les auteurs de cette étude ont analysé toutes ces plantes pour comprendre ce qui différencie le Sangiovese des quatre autres cépages étudiés. La conclusion de ces analyses est que **le Sangiovese exprime fortement des gènes impliqués dans la synthèse de composés phénoliques en réponse au gel et notamment 24 gènes « stilbène synthase » sur les 42 gènes identifiés dans le génome de la vigne.**

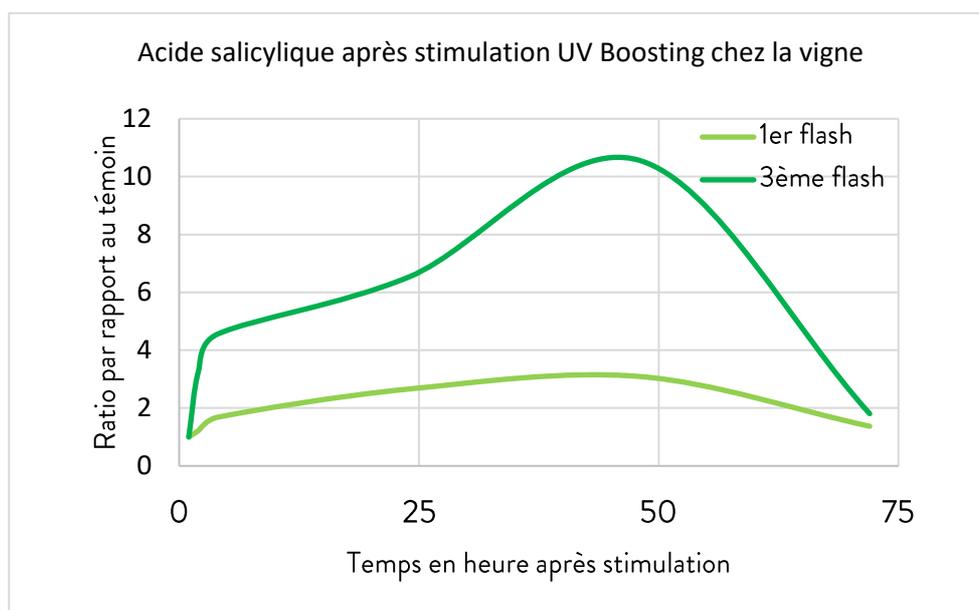
Les analyses réalisées par UV Boosting ont pu montrer une activation forte de tous les gènes de « stilbènes synthases » que nous avons pu analyser (36 gènes) en réponse aux flashes UV. Ces résultats expliquent comment les vignes stimulées par notre procédé possèdent une meilleure tolérance naturelle au gel.

### D. L'APPLICATION PREVENTIVE D'ACIDE SALICYLIQUE REDUIT LES DEGATS DE GEL CHEZ LES PLANTES

Bien que les mécanismes moléculaires précis de la prévention des dégâts de gel par les plantes soient encore mal caractérisés, les chercheurs s'accordent tous sur le fait que ces mécanismes dépendent largement de la présence d'acide salicylique. Ce rôle a été maintes fois confirmé par le fait qu'une **application foliaire ou racinaire préventive d'acide salicylique permet de réduire les dégâts de gel sur**

de nombreuses cultures[14]–[18]. La perception de l'acide salicylique par une plante déclenche sa production et lui permet d'activer toutes ses défenses contre le froid et le gel avant l'arrivée des conditions environnementales défavorables.

L'acide salicylique est au cœur de l'action de la stimulation UV Boosting. **Chaque stimulation UV provoque la synthèse temporaire d'acide salicylique dans les plantes** et une synthèse répétée de cette hormone entraîne la plante à réagir plus rapidement et plus efficacement lors d'une attaque de pathogène ou un changement de l'environnement. **Dans le cas de la lutte contre les gelées, la réponse immédiate de la plante au flash UV est utilisée pour qu'elle mette en place toutes ses protections contre le gel.** Une seule stimulation réalisée 48 heures avant l'épisode de gel, permet à la plante de commencer la synthèse de cette hormone avant l'arrivée du stress et donc d'assurer que la plante déploie l'ensemble de ses protections avant le gel.

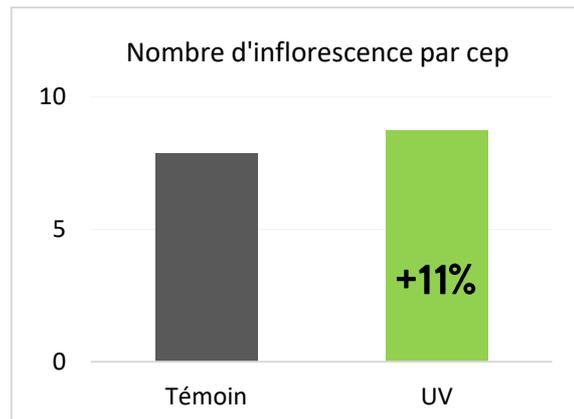
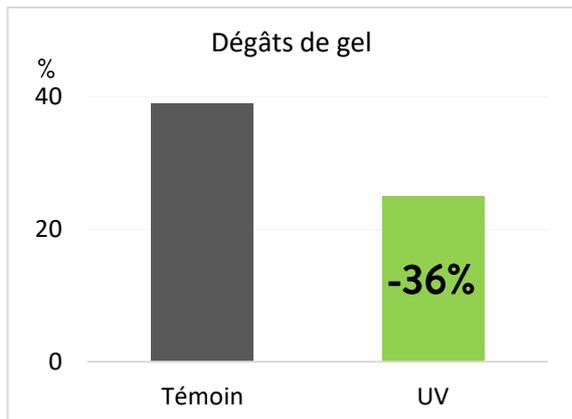


#### IV. LA STIMULATION UV BOOSTING EST EFFICACE POUR PREVENIR LES DEGATS DE GELEES DE PRINTEMPS AU VIGNOBLE

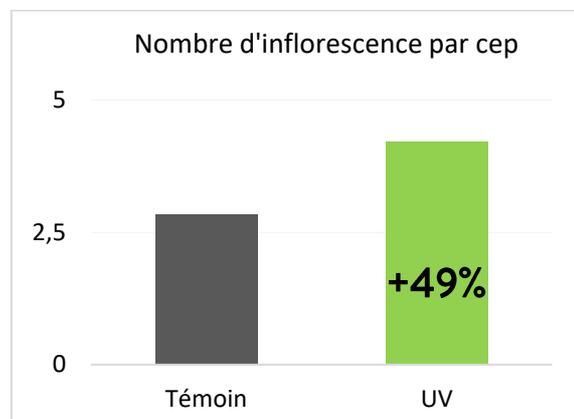
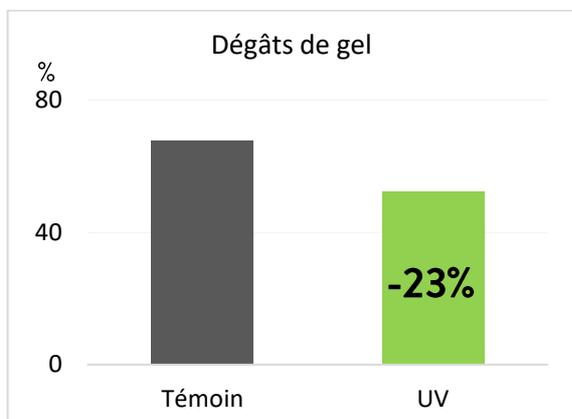
**Une seule stimulation UV Boosting 48 heures avant la gelée est suffisante pour réduire les dégâts de 20 à 50% comme le montre les différents essais que nous avons pu réaliser chez des producteurs** en 2021 et 2022 en Champagne et en Gironde et nous savons que réduire le temps entre l'application et la gelée réduit l'efficacité de la protection. Ces résultats, sont en parfaite adéquation avec la production d'acide salicylique après une stimulation UV décrite ci-dessus. Il est donc probable qu'il soit possible d'encore améliorer la protection contre le gel en réalisant plusieurs stimulations espacées d'au minimum 72 heures en fonction des bulletins d'alerte météorologique.

**Cette stimulation, en protégeant les bourgeons primaires, a un effet direct sur le potentiel fructifère de la vigne et mène à une augmentation de 11 à 50% du nombre d'inflorescence par cep de vigne** pour les épisodes de gelées les plus importants.

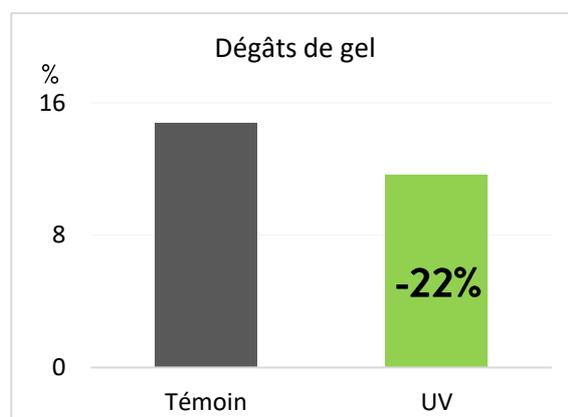
Ces résultats obtenus par des producteurs et notés par des experts indépendants sont présentés ci-dessous.



Essai 1 : Aube 2021 sur une parcelle de Pinot Noir. La modalité UV a été stimulée une fois 48 heures avant l'épisode de gel. Cet épisode a duré environ 2 heures à -2°C avec une humidité relative supérieure à 90%. Les dégâts de gel ont été notés par la CA10 et deux experts indépendants. Le nombre d'inflorescence par cep a été noté quelques semaines plus tard par un expert indépendant.



Essai 2 : Gironde 2022 sur une parcelle de Cabernet Franc. La modalité UV a été stimulée une fois 48 heures avant le premier épisode de gel. Le gel s'est déroulé sur 2 jours consécutifs. Les deux épisodes ont duré quelques heures à -2,5°C avec une humidité relative importante. Les dégâts de gel ont été notés par la CA33. Le nombre d'inflorescence par cep a été noté quelques semaines plus tard par la CA33.



Essai 3 : Gironde 2022 sur une parcelle de Merlot. La modalité UV a été stimulée une fois 48 heures avant l'épisode de gel qui a duré quelques heures à -2,5°C avec une humidité relative importante. Les dégâts de gel ont été notés par un expert indépendant.

## V. CONCLUSION

Les résultats des essais menés par UV Boosting chez les producteurs démontrent l'efficacité de notre procédé dans la réduction des dégâts liés aux gelées blanches. **Une seule stimulation 48h avant la gelée permet de réduire les dégâts de 20 à 50% et cette protection mène à une augmentation du nombre d'inflorescence par cep de 11 à 50%.** Les études scientifiques sur la résistance au gel expliquent comment la stimulation UV agit pour permettre aux plantes de minimiser ce type de dégâts. Cet effet protecteur peut être corrélé à la synthèse d'acide salicylique déclenchée par la stimulation UV et laisse donc encore une marge importante à l'amélioration de l'effet protecteur. **Notre procédé offre donc une alternative concrète aux producteurs pour la protection de leur vignoble contre les aléas climatiques, tout en respectant l'environnement.**



## VI. BIBLIOGRAPHIE

- [1] F. Th. Brederode, H. J. M. Linthorst, et J. F. Bol, « Differential induction of acquired resistance and PR gene expression in tobacco by virus infection, ethephon treatment, UV light and wounding », *Plant Mol. Biol.*, vol. 17, n° 6, p. 1117-1125, déc. 1991, doi: 10.1007/BF00028729.
- [2] N. Yalpani, Alexander J. Enyedi, J. León, et I. Raskin, « Ultraviolet light and ozone stimulate accumulation of salicylic acid, pathogenesis-related proteins and virus resistance in tobacco », *Planta*, vol. 193, n° 3, avr. 1994, doi: 10.1007/BF00201815.
- [3] W. C. Hon, M. Griffith, P. Chong, et D. Yang, « Extraction and Isolation of Antifreeze Proteins from Winter Rye (*Secale cereale* L.) Leaves », *Plant Physiol.*, vol. 104, n° 3, p. 971-980, mars 1994, doi: 10.1104/pp.104.3.971.
- [4] W. C. Hon, M. Griffith, A. Mlynarz, Y. C. Kwok, et D. Yang, « Antifreeze Proteins in Winter Rye Are Similar to Pathogenesis-Related Proteins », *Plant Physiol.*, vol. 109, n° 3, p. 879-889, nov. 1995, doi: 10.1104/pp.109.3.879.
- [5] S. Yeh *et al.*, « Chitinase Genes Responsive to Cold Encode Antifreeze Proteins in Winter Cereals », *Plant Physiol.*, vol. 124, n° 3, p. 1251-1264, nov. 2000, doi: 10.1104/pp.124.3.1251.
- [6] D. Worrall *et al.*, « A Carrot Leucine-Rich-Repeat Protein That Inhibits Ice Recrystallization », *Science*, vol. 282, n° 5386, p. 115-117, oct. 1998, doi: 10.1126/science.282.5386.115.
- [7] M. Smallwood *et al.*, « Isolation and characterization of a novel antifreeze protein from carrot (*Daucus carota*) », *Biochem. J.*, vol. 340, n° 2, p. 385-391, juin 1999, doi: 10.1042/bj3400385.
- [8] V. Kontogiorgos, A. Regand, R. Y. Yada, et H. D. Goff, « Isolation and Characterization of Ice Structuring Proteins from Cold-Acclimated Winter Wheat Grass Extract for Recrystallization Inhibition in Frozen Foods », *J. Food Biochem.*, vol. 31, n° 2, p. 139-160, 2007, doi: 10.1111/j.1745-4514.2007.00112.x.
- [9] T. Nakamura, M. Ishikawa, H. Nakatani, et A. Oda, « Characterization of cold-responsive extracellular chitinase in bromegrass cell cultures and its relationship to antifreeze activity », *Plant Physiol.*, vol. 147, n° 1, p. 391-401, mai 2008, doi: 10.1104/pp.106.081497.
- [10] M. Jarzabek, P. M. Pukacki, et K. Nuc, « Cold-regulated proteins with potent antifreeze and cryoprotective activities in spruces (*Picea* spp.) », *Cryobiology*, vol. 58, n° 3, p. 268-274, juin 2009, doi: 10.1016/j.cryobiol.2009.01.007.
- [11] S. Zhang *et al.*, « An apoplastic chitinase CpCMT1 isolated from the corolla of wintersweet exhibits both antifreeze and antifungal activities », *Biol. Plant.*, 2011, doi: 10.1007/s10535-011-0019-5.
- [12] R. Gupta et R. Deswal, « Low temperature stress modulated secretome analysis and purification of antifreeze protein from *Hippophae rhamnoides*, a Himalayan wonder plant », *J. Proteome Res.*, vol. 11, n° 5, p. 2684-2696, mai 2012, doi: 10.1021/pr200944z.
- [13] J. P. Londo, A. P. Kovaleski, et J. A. Lillis, « Divergence in the transcriptional landscape between low temperature and freeze shock in cultivated grapevine (*Vitis vinifera*) », *Hortic. Res.*, vol. 5, p. 10, 2018, doi: 10.1038/s41438-018-0020-7.
- [14] K. Min, « Salicylic acid-induced freezing tolerance and the effect of short-term versus prolonged freezing on freeze-thaw injury in spinach (*Spinacia oleracea* L.): Understanding the cellular mechanism through metabolite profiling », *Grad. Theses Diss.*, janv. 2019, [En ligne]. Disponible sur: <https://lib.dr.iastate.edu/etd/17747>
- [15] K. Min et R. Arora, « Pre-stress salicylic-acid treatment as an intervention strategy for freeze-protection in spinach: Foliar versus sub-irrigation application and duration of efficacy », *Cryobiology*, p. S0011-2240(22)00090-6, sept. 2022, doi: 10.1016/j.cryobiol.2022.08.004.
- [16] H. Shin, K. Min, et R. Arora, « Exogenous salicylic acid improves freezing tolerance of spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves », *Cryobiology*, vol. 81, p. 192-200, avr. 2018, doi: 10.1016/j.cryobiol.2017.10.006.
- [17] H. A. López-Delgado, R. Martínez-Gutiérrez, M. E. Mora-Herrera, et Y. Torres-Valdés, « Induction of Freezing Tolerance by the Application of Hydrogen Peroxide and Salicylic Acid as Tuber-Dip or

Canopy Spraying in *Solanum tuberosum* L. Plants », *Potato Res.*, vol. 61, n° 3, p. 195-206, sept. 2018, doi: 10.1007/s11540-018-9368-1.

- [18] B. B. Zhang, L. Guo, Z. Z. Song, M. L. Yu, et R. J. Ma, « Effect of salicylic acid on freezing injury in peach floral organs and the expressions of CBF genes », *Biol. Plant.*, vol. 61, n° 4, p. 622-630, déc. 2017, doi: 10.1007/s10535-017-0730-y.

