

Les gelées de printemps : un problème toujours actuel

FICHE **QUESTIONS SUR...** n° 01.05.Q02

Mots clés : gelée printemps - indice actinothermique

Les gelées d'avril 2021 ont occasionné beaucoup de dégâts dans les vignes et les vergers. Les vignerons et arboriculteurs ont pu constater que malgré l'augmentation de température liée au changement climatique, cet accident climatique était toujours d'actualité ! Pourquoi ?

Cette fiche a pour objectif d'expliquer d'abord pourquoi les gelées tardives ont une incidence négative sur la végétation alors que le gel d'hiver, bien plus intense, n'en a généralement pas. On abordera dans un deuxième temps les moyens pour en limiter l'impact.

Pourquoi parler des gelées de printemps alors qu'il fait plus froid en hiver ?

En hiver, la température est certes plus basse, mais la végétation de nos régions est adaptée au rythme des saisons. Elle attend que ça passe pour repartir : elle s'est endurcie à l'automne et peut supporter les températures négatives d'une gelée d'hiver.

Il en va différemment au printemps : une gelée de printemps est produite (localement) par le bilan radiatif nocturne, et affecte des organes fragiles de plantes alors en début de végétation active.

Les bourgeons apparaissent progressivement et, au fur et à mesure qu'ils se développent, deviennent de plus en plus sensibles au froid. Si par une nuit de ciel clair leur température descend en dessous d'un seuil critique (dépendant de leur stade, grosso modo -5°C au stade bouton vert, -3°C en début de floraison), beaucoup mourront et la récolte de l'année sera compromise. L'important est donc l'interaction entre la température ressentie et le développement des plantes : une même gelée provoque d'autant plus de dégâts qu'il a fait chaud auparavant, car la végétation étant plus avancée, le seuil critique sera plus élevé ! C'est parce que la végétation était très en avance que les gelées de début avril 2021 en Europe ont eu des effets très importants.

Pour étudier les gelées de printemps, il faut donc croiser le refroidissement nocturne avec la gélivité des organes. On pourra ensuite aborder la question de la lutte contre le gel et de son intérêt économique.

Refroidissement nocturne : moteur et freins

Si le ciel est clair, la surface du sol se refroidit en perdant – par rayonnement infrarouge thermique – beaucoup plus d'énergie qu'elle n'en reçoit de la voûte céleste (déficit de l'ordre de -100 W/m^2). La basse atmosphère étant stable (air froid, plus lourd, en bas), les échanges sol-air sont faibles, sauf si le vent se lève. Le sol ne pouvant compenser par conduction de chaleur depuis les couches plus profondes qu'une fraction faible de la perte radiative (20 % sur sol humide, 5 % sur sol sec ou enherbé), la température continue à baisser fortement, sauf si l'air est humide ; en effet, dans ce cas, la formation de rosée et/ou de givre apporte de la chaleur latente de condensation (de sublimation inverse pour le givre) qui réduit fortement la chute de température.

Il y aura donc de forts risques de gelées de printemps si l'atmosphère est déjà froide au coucher du soleil (moins de 5°C), le ciel est clair, le vent faible et l'air sec. La topographie joue aussi un rôle : beaucoup de vignobles et de vergers sont plantés sur des versants ; or l'air froid qui se forme par contact avec la surface du sol étant plus lourd, il s'écoule et s'accumule vers le bas du coteau, rendant ce dernier plus gélif que les parties hautes. Aussi en vignobles de coteau, les bas de vallées sont réservés aux céréales.

Par ailleurs, les organes des plantes rayonnent eux aussi dans l'infrarouge et sont, de ce fait, toujours plus froids de nuit que l'air environnant. Donc, ce qui compte ce n'est pas la température de l'air, mais celle des organes, que l'on évalue par la température d'un thermomètre de verre placé horizontalement hors abri, ce que l'on nomme *indice actinothermique*.

Géllivité des bourgeons et mécanisme de mort par le gel

La géllivité dépend des stades phénologiques qui, chez les fruitiers et la vigne, vont au printemps de "bourgeon dormant" à "fruits ou grappes séparées". Pour étudier les dégâts, on note pour chaque stade les températures où 10 % et 90 % des bourgeons ont gelé. Il est ainsi observé¹ que, chez le prunier, ces températures sont -4,4°C et -8,9°C pour le stade d'apparition des sépales, mais -2,8°C et -5°C en début de floraison. On peut dire que pour une même température minimale des bourgeons au cours de la nuit, il y aura d'autant plus de dégâts que ces deux températures critiques sont élevées en raison de l'avancement de la végétation ; ainsi une température de -5°C détruira à peine plus de 10 % des bourgeons lors de l'apparition des sépales mais 90 % en début de floraison. Cela permet de comprendre pourquoi une gelée fait d'autant plus de dégâts que les conditions météorologiques précédentes étaient favorables au développement des plantes.

Ce sont les caractéristiques tissulaires qui expliquent la plus grande sensibilité des bourgeons quand ils avancent en développement :

- Le suc cellulaire est une solution sucrée, d'autant plus concentrée que le stade du bourgeon est précoce. Or une solution sucrée ou salée abaisse d'autant plus son point de congélation qu'elle est concentrée, d'où les moindres dégâts sur des bourgeons moins avancés. On parle alors de surfusion, ce phénomène ayant bien sûr des limites, une température très basse finissant toujours par provoquer la rupture de cette surfusion (*Figure 1*).

- Les bourgeons sont constitués des cellules et des espaces intercellulaires ; ceux-ci occupant la plus grande partie du volume, c'est là que la cristallisation a lieu en premier. Non seulement ce gel dans les espaces intercellulaires n'est pas fatal, mais c'est même un mécanisme de défense naturel : en effet, si la baisse de température est suffisamment lente, la congélation intercellulaire partielle entraîne une augmentation de teneur en sucre de la solution non gelée, ce qui a pour conséquence une migration d'eau depuis les cellules afin de rééquilibrer les pressions osmotiques de l'ensemble non gelé. Cela a pour effet de concentrer le suc dans les cellules et donc de les préserver en abaissant leur point de congélation. Malheureusement, en cas de refroidissement rapide, la migration d'eau depuis les cellules est parfois insuffisante pour permettre cette surfusion.

La *Figure 1* indique l'évolution de la température de rupture de surfusion de bourgeons de vigne Chardonnay (*Vitis vinifera*) en fonction du stade phénologique d'Eichhorn-Lorenz², à Avize (Champagne), au cours de 3 années (1987, 1988 et 1989). La barre verticale indique à chaque stade l'intervalle moyenne \pm écart-type.

Ces résultats montrent que l'on a 66 % des dégâts entre -4°C et -9°C pour le stade 3 (*bourgeon dans le coton*), entre -5°C et -7°C pour le stade 5 (*pointe verte*) et entre -3°C et -5°C pour le stade 9 (*feuilles étalées*) ; ils recourent bien ceux, évoqués plus haut sur le prunier.

La nature a bien fait les choses, et accompagne le bourgeon principal d'un bourgeon secondaire qui a un retard phénologique ; ce retard peut amener ce dernier ne pas geler lorsque le premier gèle. Après la migration de l'eau vers les espaces intercellulaires, c'est la "deuxième cartouche" du végétal, qui a énormément servi en 2021. Si le bourgeon secondaire gèle aussi, il n'y aura pas de production de fruit sur cet ensemble et on pourra alors parler d'accident climatique sévère.

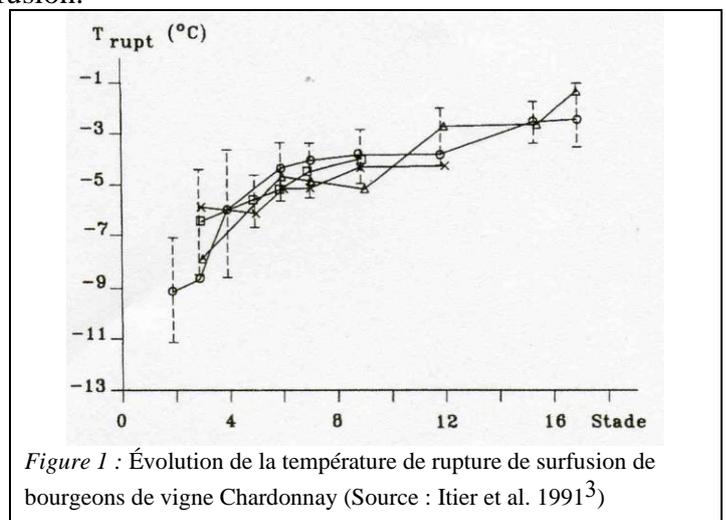


Figure 1 : Évolution de la température de rupture de surfusion de bourgeons de vigne Chardonnay (Source : Itier et al. 1991³)

¹ R. SAUNIER : *Sensibilité variétale aux gels chez les cerisiers, pruniers, pêchers et nectariniers. Lutte contre les gelées*, Invuflec, 1978

² K-W.EICHHORN, D-H. LORENZ : *Phänologisches Entwickulgstadien des Rebe. Nachrichtenbl. Dtsch. Pflanzenschutzdienstes* (Braunsch), 1977, 29 : 119-120

³ B. ITIER, D. FLURA, O. BRUN, J. LUISETTI, J-L. GAINARD, G. CHOISY, G; LEMOINE : *Analyse de la géllivité des bourgeons de vigne (expérimentation in situ sur le vignoble champenois)*, Agronomie, 1991

Que faire contre le gel de printemps ?

Le gel de printemps étant un accident, distinguons trois questions : comment le prévoir ? Comment l'esquiver ? Comment le contrer ?

Prévision du gel de printemps

Les considérations sur l'opportunité de la lutte (cf. ci-après) ont mis en sommeil le développement de modèles performants opérationnels, capables de prévoir précisément des températures localisées de fin de nuit.

Esquive du gel de printemps

On peut chercher à esquiver le gel de deux façons :

- En plantant en situation moins gélive de coteaux, solution déjà adoptée par beaucoup de vignobles.
- En plantant des variétés plus tardives ; ce pourrait être une solution pour les vergers si la concurrence internationale n'amenait les producteurs à privilégier les variétés précoces.

Lutte contre le gel de printemps

Les méthodes de lutte se classent en deux catégories :

- celles qui cherchent à diminuer la perte radiative, moteur du refroidissement ;
- celles qui cherchent à compenser la perte radiative par un autre apport énergétique : directement par apport de chaleur sensible ou indirectement par chaleur latente.

A/ Méthodes radiatives

Pour être efficace, une méthode radiative doit fortement réduire la perte de rayonnement dans le domaine de longueur d'onde 5 à 40 microns, ce qui exclut les fumées (par ailleurs polluantes) qui ne sont efficaces que dans le visible, ainsi que les brouillards artificiels qui n'ont pas l'épaisseur nécessaire ; ces brouillards ont toutefois un effet de chaleur latente (voir § B2).

La seule solution efficace serait la pose de bâches dès le soir. Ce serait une sorte d'esquive du gel via une serre provisoire qui, diminuant de moitié les pertes radiatives, diminuerait d'autant la baisse de température nocturne ! Malheureusement, ce n'est pas économiquement envisageable.

B1/ Méthodes par chaleur sensible

Deux méthodes :

- La combustion de fuel ou de bougies est un moyen de lutte reconnu. Deux problèmes se posent : la répartition des points chauffants (il faut protéger sans brûler) et la constance de l'apport de chaleur ; dans le cas du fuel, il faut refaire régulièrement le niveau, ou avoir un dispositif d'alimentation automatique⁴. Mais ceci pose la question du coût, sans parler de l'impact environnemental.
- Le brassage de l'air peut être localement une solution pour renvoyer vers le bas l'air moins froid bloqué en hauteur par la stabilité thermique nocturne. Ce ne peut cependant être qu'un moyen anecdotique, utilisé avec succès avec un hélicoptère pour des vignobles de prestige (coût élevé assumé), ou localement à partir d'une tour pour remédier à la gélivité élevée d'une cuvette⁵.

B2/ Méthodes par chaleur latente

Deux possibilités ont été envisagées :

- Le brouillard artificiel : c'est en effet par chaleur latente de sublimation qu'agit le brouillard artificiel⁵. Malheureusement, s'il est thermodynamiquement efficace, il est inutilisable pour des questions juridiques liées à la maîtrise de la nappe de brouillard.
- L'aspersion, qui est la méthode la plus efficace si elle est bien conduite. C'est un remède presque assuré contre le gel de printemps, car il maintient la température des bourgeons à 0°C, valeur toujours supérieure à leur point de congélation (même en mai, le point de congélation du bourgeon est inférieur à -1°C). Mais cette méthode ne fonctionne que si, et seulement si, l'utilisateur respecte deux conditions indispensables :
 - assurer le débit d'eau : il faut que les bourgeons soient toujours recouverts de glace mouillée, sinon leur température baissera en dessous de 0°C ;

⁴ Source : Association Viticole Champenoise (AVC), 1991

⁵ B. ITIER, L. HUBER, O. BRUN : *The influence of artificial fog on conditions prevailing during nights of radiative frost. Report of an experiment over a Champagne vineyard*, Agr. Forest. Meteor, 1987

- démarrer l'aspersion avant que l'indice actinothermique mouillé atteigne -2°C . (nota : la température de l'air est alors le plus souvent encore positive !!!).

Si ces conditions sont bien remplies, on aura la satisfaction de voir un vignoble sauvé en fin de matinée, avec seulement quelques bris de rameaux dus au poids des stalactites de glace⁵.

Le rapport coût/bénéfice de ces techniques dépend essentiellement du type de cultures, ce qui pose la question de l'opportunité de la lutte contre le gel.

Opportunité de la lutte contre le gel

Cette question dépend du contexte économique et législatif.

Pour les vergers, le seul système envisageable serait l'aspersion si elle était déjà installée pour l'irrigation estivale ; or les arboriculteurs sont massivement passés au goutte à goutte.

Pour le vignoble, même si à l'heure actuelle en France certains vignobles ont obtenu le droit d'irriguer la vigne, les installations d'irrigation dédiées correspondent aussi très généralement au goutte à goutte. L'aspersion ne peut donc être envisagée que pour un vignoble à haute valeur ajoutée.

Après les gelées de printemps de 2021, on n'a guère entendu parler que de compensation des pertes par l'État. La question de l'intérêt pour un moyen de lutte pour des vignobles comme le Bourgogne, le Bordeaux, voire le Cognac est une question ouverte. Les vignobles de Champagne et de Chablis, quant à eux, ont résolu le problème, car ils bénéficient d'une autorisation de report de moût leur permettant de compenser une année ayant subi des dégâts importants (mais probablement pas deux années consécutives).

Conclusion.

D'aucuns auraient pu croire que le changement climatique en cours renverrait aux oubliettes de l'Histoire la question des gelées de printemps. Il n'en est rien, et les gelées d'avril 2021 en Europe occidentale en sont une illustration. En effet, si l'augmentation de température en cours rend statistiquement moins probable une chute de température jusqu'à un seuil déterminé à une date donnée, deux éléments viennent contrarier cet espoir :

- Pour une même variété, la phénologie sera avancée ! Selon les travaux de Gate et Brisson⁶, il est prévu pour différentes variétés de vigne une avancée de la date du stade floraison de l'ordre de 15 jours en 50 ans. Ce qui importe, ce n'est pas le risque d'occurrence d'une température fatale à une date donnée, mais à un stade phénologique donné.

- Si le producteur opte pour une variété plus tardive, cette variété risque de retrouver demain, à des latitudes plus hautes, les mêmes risques de gel qu'aujourd'hui dans son aire de production. Pour sortir de ce dilemme, il faudrait que la vitesse de développement de ces plantes (principalement déterminée par la température) fasse davantage intervenir la durée du jour, laquelle ne changera pas. Joli programme en perspective pour les généticiens !

La question du gel de printemps a peut-être été enterrée trop vite à la fin du XX^e siècle !

Bernard ITIER, membre de l'Académie d'Agriculture de France

janvier 2022

Ce qu'il faut retenir :

Les gelées de printemps se produisent en fin de nuit lorsque le ciel est clair, l'air sec et le vent faible. Les bourgeons fruitiers sont d'autant plus sensibles au gel que leur développement est avancé. Les dégâts sont dus à la rupture de surfusion dans les cellules.

Le lien entre température de rupture de surfusion et stade de développement est probabiliste. Pour un même stade de développement, la probabilité de mort d'un bourgeon augmente quand la température décroît.

⁶ P. GATE, N. BRISSON : *Anticipation des stades phénologiques et raccourcissement des phases*. in : N., Brisson, Levraut, Livre vert de Climator. Ademe, 2010 <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=70992&p1=30&ref=12441>