



GEL PRINTANIER

Aléas climatiques au vignoble : protection contre le gel printanier

Le gel est un aléa climatique récurrent et de plus en plus dévastateur, il est l'une des principales causes de la baisse de la production viticole en France.

Pendant la période du débourrement, les bourgeons sont particulièrement vulnérables aux gelées.

Quelles sont les pistes de prévention et d'adaptation face à cet aléa ? Quelles solutions ont déjà été testées en France pour limiter les dégâts ?

.....

SOMMAIRE

Diagnostic parcellaire : analyse de risques, quels paramètres prendre en compte ?

Le matériel végétal et son microclimat

Orientation, topographie et influence de l'environnement parcellaire

Etat hydrique des sols

Types de gel, prévisions et matériel de détection

Connaissance des types de gel printanier

Outils de prévisions et de détection

Seuils de déclenchement et de sensibilité de la vigne

Lutte passive

Entretien du sol et des couverts

Conserver un état hydrique des sols satisfaisant

Modes de conduite

Gestion des haies, lisières de bois et bosquets

Lutte active

Brassage de l'air

Chauffage

Aspersion

Systèmes de couverture et lutte physique

Synthèse

Outils de régulation des volumes et assurances

1

1

1

2

2

2

3

3

5

5

6

6

9

10

10

13

16

18

20

21

DIAGNOSTIC PARCELLAIRE

ANALYSE DE RISQUES, QUELS PARAMÈTRES PRENDRE EN COMPTE ?

La lutte passive contre le gel repose sur des méthodes efficaces, à condition qu'elles soient correctement mises en œuvre. L'idéal est qu'elle débute par une analyse fine du parcellaire, afin de repérer les zones prioritaires à protéger, selon :



1 Le matériel végétal et son microclimat

Cartographier les zones sensibles (dates de débourrement et zones historiquement gélives)

Les parcelles présentant un débourrement précoce (cépage, porte greffe et/ou contexte pédoclimatique favorable à la précocité) seront à protéger prioritairement dans le cas d'un risque de gel, en particulier si elles ont déjà connu un épisode de gel depuis 2017, année à partir de laquelle les épisodes se sont intensifiés.

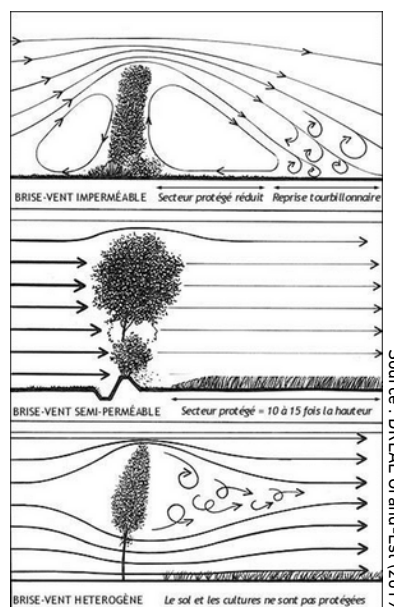
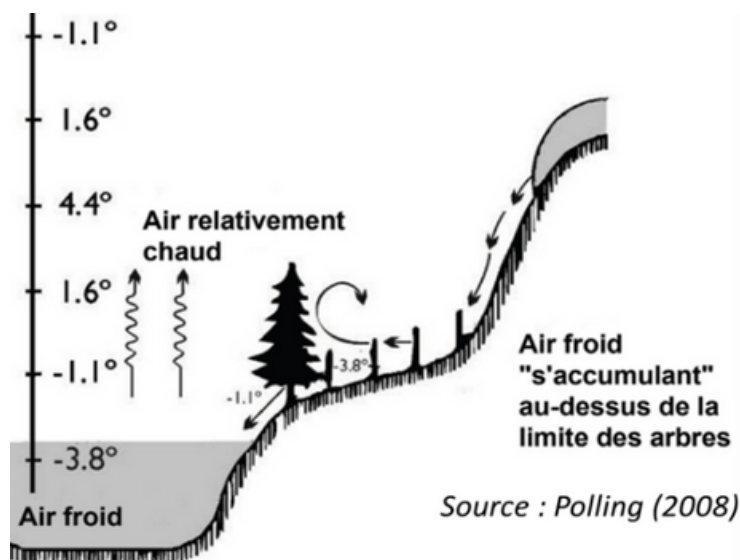
2 Orientation, topographie et influence de l'environnement parcellaire

Ces éléments sont à prendre en compte pour identifier les couloirs d'air froid provenant généralement du nord ou nord-est.

Dans le cas de parcelles avec une topographie diversifiée, comme le cas d'un secteur vallonné, le risque de gel sera différent. En cas de pente, l'air froid étant plus dense, il aura tendance à descendre vers les points les plus bas du terrain, s'accumulant dans les vallées ou au pied des coteaux, créant ainsi des couloirs d'air froid dans les parties de la parcelle les plus encaissées.

En fonction du type de gel et du positionnement des infrastructures agroécologiques (IAE), une atténuation ou une aggravation du risque de gel est susceptible de se produire. Le positionnement, la densité, la hauteur et la perméabilité des haies sont des facteurs influençant le risque de gel.

Les schémas ci-dessous indiquent différentes possibilités en rapport avec les types de haies et de bosquets :



Les zones humides ont également tendance à attirer l'air froid. On peut tirer parti de ce phénomène en mettant en place des mesures adaptées.

3 Etat hydrique des sols

Les derniers travaux de l'Association Climatologique de la Moyenne-Garonne et du Sud-Ouest (47) (ACMG) ont permis de mettre en évidence ce paramètre qui aurait un effet atténuant sur le gel.

Un sol humide (mais non détrempé) est plus conducteur de chaleur qu'un sol sec, limitant ainsi les baisses de températures. Les sols drainés sont donc plus sensibles au gel.

TYPES DE GEL, PRÉVISIONS ET MATÉRIEL DE DÉTECTION

CONNAISSANCE DES TYPES DE GEL PRINTANIER

1 Gelées radiatives

Caractérisées par la perte du stock de chaleur du sol accumulé pendant la journée par rayonnement solaire, couplé à la température négative à une dizaine de mètres en altitude causée par un ciel dégagé

Absence de vent

Création d'une inversion thermique en altitude avec un ciel dégagé qui ne permet pas d'intercepter les pertes par rayonnement

Les plus habituelles sont au printemps

Peuvent être définies comme blanches ou noires selon le taux d'humidité contenu dans l'air (point de rosée) :

- **Gelée radiative blanche** = taux d'humidité élevé (temps humide) : température du point de rosée supérieure à 2,2°C
- **Gelée radiative noire** = taux d'humidité faible (temps sec et parfois légèrement couvert) : température du point de rosée inférieure à 2,2°C

Ciel clair et dégagé durant la nuit, absence de vent, inversion thermique en altitude

Moyens de lutte active

2 Gelées advectives

Caractérisées par l'arrivée d'une grande masse d'air froid dont la T°C est inférieure à 0°C (système dépressionnaire, passage de fronts froids ou invasion d'air polaire)

Présence de vent à une vitesse minimale de 15 km/h avec de fortes rafales

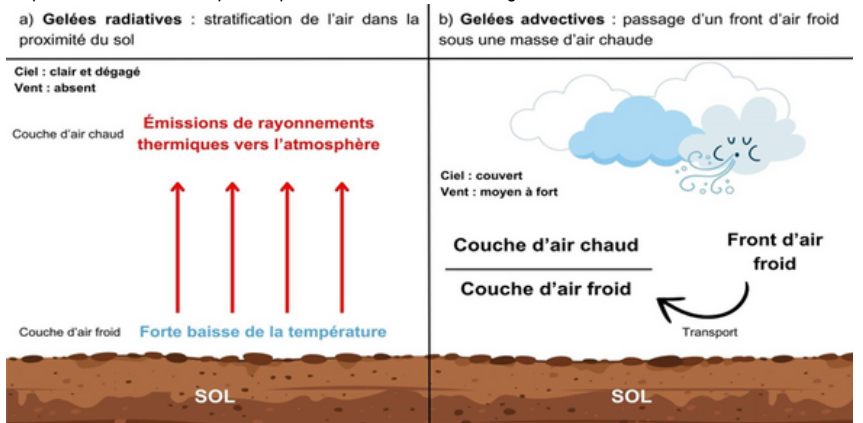
Aucune inversion de températures en altitude : le vent mélange les couches d'air

Mécanisme principal des gelées hivernales, plus rare au printemps

Ciel couvert ou non, vent fort, pas d'inversion thermique

Très peu, voire pas de moyens de lutte efficaces

Représentation schématique des processus de formation des gelées



Infographie : CA71 d'après Gavrilescu (2016)

OUTILS DE PRÉVISIONS ET DE DÉTECTION

Dans le cas d'un risque de gel, les sondes météo sont l'outil de déclenchement et de pilotage d'un matériel de lutte active. La température (sèche, humide), l'hygrométrie et la vitesse du vent sont des éléments majeurs à connaître et à enregistrer afin d'analyser les différentes situations et pouvoir les corrélérer avec les observations au vignoble. Ces indications permettent de mesurer la performance des matériels utilisés. L'ajout d'un modèle de prévision est nécessaire pour anticiper toute intervention.



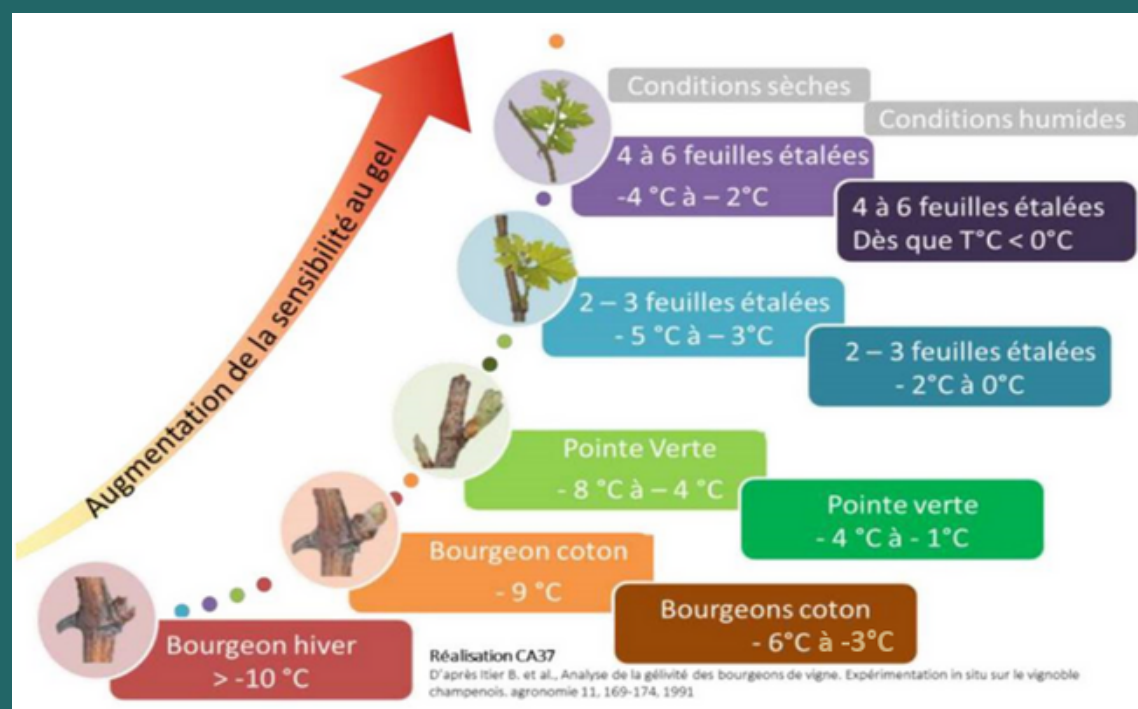
Ainsi, les stations connectées permettent :

- D'anticiper le risque de gel
- D'être alerté au moment où le gel survient, à partir d'un seuil défini de température et d'humidité

Elles sont à combiner aux OAD et bulletins météo selon les secteurs



SEUILS DE DÉCLENCHEMENT ET DE SENSIBILITÉ DE LA VIGNE



Analyse de la gélivité des bourgeons : Expérimentation in situ dans le vignoble champenois (CA37 d'après Itier (1991))

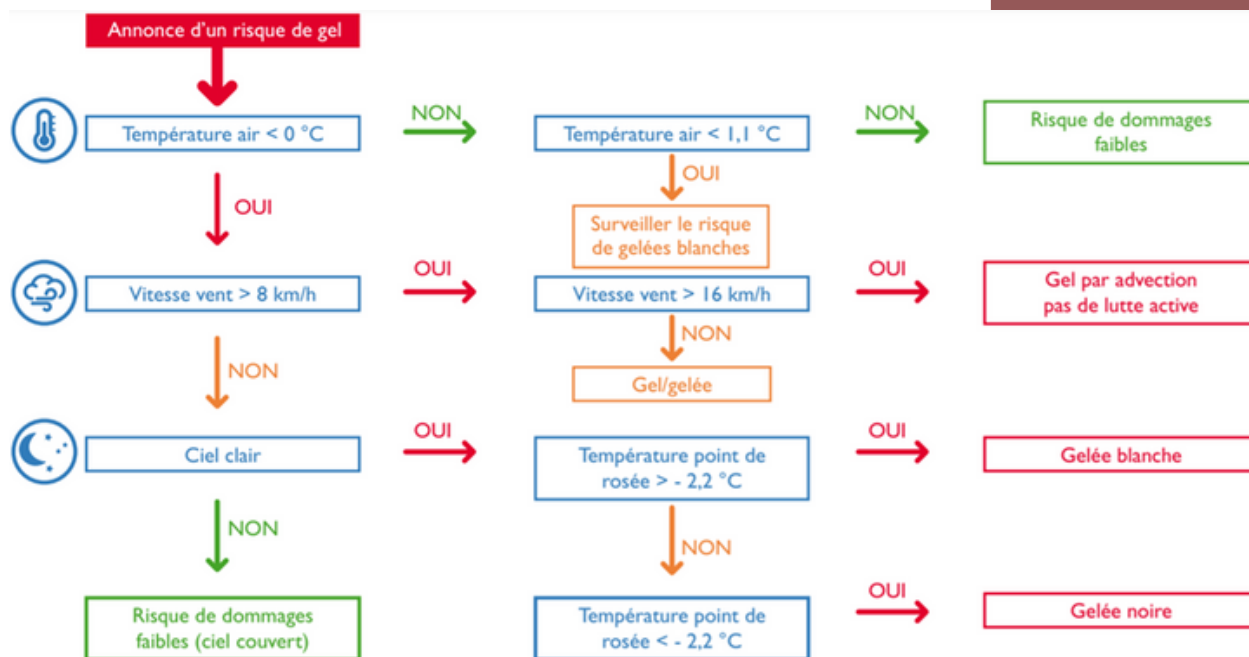
Le schéma précédent regroupe les différences de sensibilité selon les stades phénologiques et selon la situation rencontrée (sèche ou humide).

Les conditions décrites comme humides dans ce schéma se situent au-delà de 70% d'hygrométrie.

Les seuils sont précisés en températures sèches.

.....
La vigne est sensible au gel dès le débourrement et l'apparition des jeunes feuilles riches en eau.
.....

En fonction du type de gel annoncé et du stade de sensibilité de la vigne, les moyens de lutte existants présentent plus ou moins d'efficacité. Ce ne sont pas des solutions universelles, ils nécessitent une analyse précise des besoins techniques, économiques et environnementaux de chaque exploitation avant leur mise en place. Il est donc essentiel d'identifier la nature du gel avant de déployer une stratégie de protection, afin d'éviter des dépenses inutiles en énergie, en ressources et en argent. Une clé de diagnostic a été développée pour faciliter la prise de décision.



BIVB d'après Barclay Poling E. (octobre 2008).



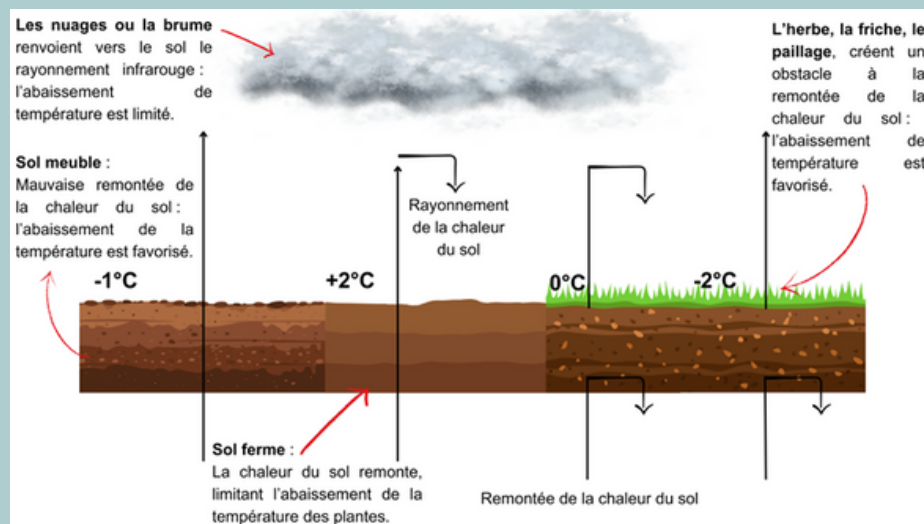
ATTENTION!

CERTAINS VIGNOBLES OBSERVENT NÉANMOINS DES NUANCES AU NIVEAU DU SEUIL INDIQUÉ DE TEMPÉRATURE DU POINT DE ROSÉE DANS LE CAS DE LA DÉTERMINATION DES GELÉES BLANCHES ET NOIRES.

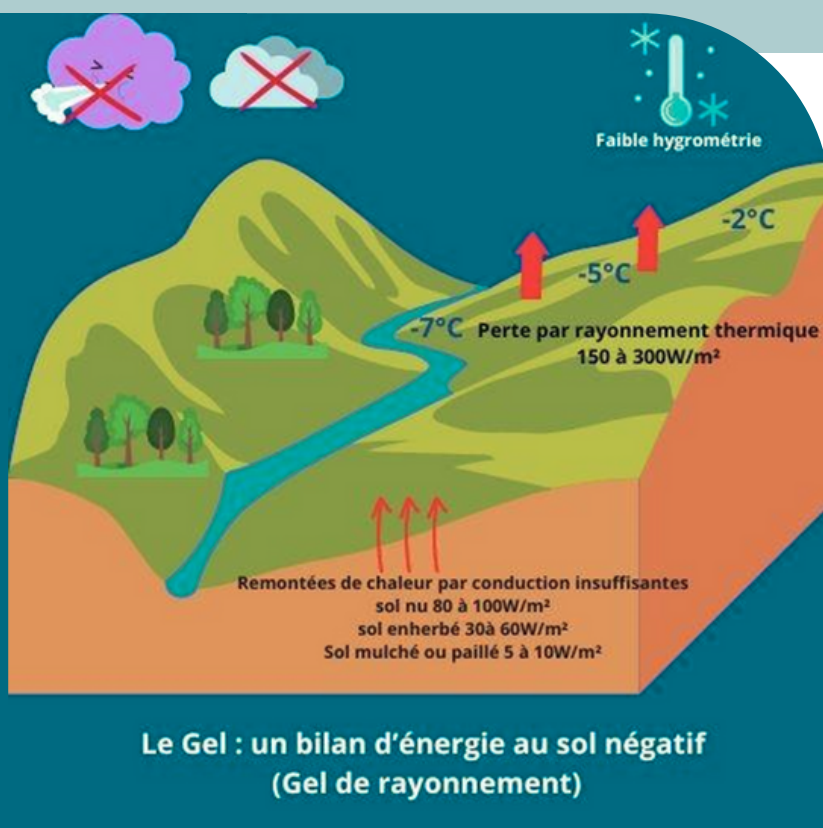
LUTTE PASSIVE

ENTRETIEN DU SOL ET DES COUVERTS

La manière d'entretenir le sol est prépondérante car la remontée de chaleur issue du rayonnement infrarouge diffère en fonction des pratiques. Les schémas ci-dessous (ACMG et Soltner) démontrent que le sol nu est moins sensible au gel contrairement au sol mulché (juste tondu ou roulé).



Influence de la couverture du sol sur la remontée de chaleur. Infographie : CA71 d'après Soltner (1995)



CA33 d'après ACMG

Le risque d'observer des dégâts de gel peut être accentué ou atténué en fonction de l'itinéraire technique choisi.

CAS DU TRAVAIL DU SOL

- Si les sols sont habituellement travaillés, il est important de passer les entretenir avant la période critique printanière afin de limiter la repousse dans un premier temps. Si un risque de gel est prévu, le travail peut être poursuivi juste en surface ou par une intervention légère avec des lames.
- A partir de J-7, surtout en conditions humides, suspendez les travaux sous le rang et entre les rangs pour éviter les dégâts (résultats d'essais de l'IFV d'Amboise).
- Aucun dégât suite au travail de l'inter-rang en condition sèche mais bascule à J-4 en conditions humides.



CAS DE L'ENHERBEMENT OU D'IMPLANTATION DE COUVERTS VÉGÉTAUX

- En cas de risque de gel, si les sols n'ont pas pu être travaillés et que l'enherbement est dense, il est préférable de privilégier les opérations de tonte au moins 5 jours avant, pour dégrossir et préparer un travail du sol plus tard, pour réduire l'accumulation d'eau (rosées) pouvant accentuer le risque de gelées.
- En revanche, dans les zones gélives, il est vivement déconseillé de tondre dans les 3 jours précédents le gel, risquant d'accentuer l'effet gel, via l'effet isolant de la tonte.
- Pour les couverts végétaux, privilégier des semis précoces (fin d'été/début octobre) et des variétés terminant leur cycle de développement au plus tard courant mars. Dans les zones gélives, les couverts végétaux devront être détruits avant la période de risque de gel, ou roulés si le risque de gel est annoncé tardivement. Ils limitent en effet l'écoulement d'air froid en plus de capter le rayonnement solaire.



Les engrais verts dépassant la hauteur des bourgeons n'auraient pas d'effet protecteur. Ils sont susceptibles d'apporter un certain pourcentage d'humidité, même si la hauteur de pousse reste aléatoire en fonction de la réussite du semis (source IFV, site d'Amboise). Si dans certains cas il a été observé un effet positif de cette pratique, les raisons n'en sont pas encore connues ni maîtrisées.

CONSERVER UN ÉTAT HYDRIQUE DES SOLS SATISFAISANT

À la suite des derniers travaux de l'ACMG, les sols humides auraient un effet atténuant sur le gel, par une meilleure conductivité de la chaleur reçue en cours de journée. La pratique du vitipastoralisme est un bon exemple pour comprendre le mécanisme et observer les différences de températures (via des caméras thermiques entre parcelles pâturées et non pâturées). Le pâturage peut en effet influencer la structure du sol, la matière organique et donc la rétention en eau.

Pour aller plus loin... ++



Vidéo



vitipastoralisme

Fiche technique



brebis dans la vigne

Charte des



bonnes pratiques

MODES DE CONDUITE HAUTEUR DU FIL DE PALISSAGE

Plus on se situe près du sol, plus les températures sont faibles. Des essais réalisés par l'ATV49 ont montré un gain de 0,3° à 0,4°C lorsque le fil passe de 60 cm à 110 cm.



TAILLE TARDIVE

La pratique



Il y a deux objectifs possibles :

- Décaler le débourrement pour limiter les risques de gel de printemps
- Décaler les stades phénologiques dont la date de vendange !

Intéressons-nous au décalage de la date de débourrement afin de diminuer la sensibilité au gel et ainsi réduire les risques de gelées tardives (El-Zeftawi et Weste, 1970).

Méthode de taille tardive

Période de taille

Le fait de retarder la taille des rameaux jusqu'à ce que les bourgeons apicaux (généralement en bout de rameaux ou en haut d'une courbure) de la saison précédente aient débourré retarde le développement des bourgeons basaux. Le décalage obtenu peut varier de 2 à 30 jours en fonction des interactions cépages et environnement mais aussi de la période de taille. Plus la taille sera tardive, plus le débourrement sera retardé. Attention, cela peut-être au prix d'une baisse de rendement plus ou moins importante suivant les situations et d'un ralentissement de la vigueur. La bibliographie et les essais réalisés en Chambre d'Agriculture et à l'Institut Agro-Montpellier sur la taille tardive ont montré que :

- Une taille tardive réalisée depuis les pleurs de la vigne jusqu'aux premiers stades du débourrement (apex entre pointes vertes à 2-3 feuilles étalées) aura un moindre impact négatif sur la vigueur et le rendement.
- En contexte septentrional, il est préférable de ne pas dépasser le stade éclatement.



Le stade de déclenchement de taille tardive s'observe sur l'apex ou la courbure du rameau.

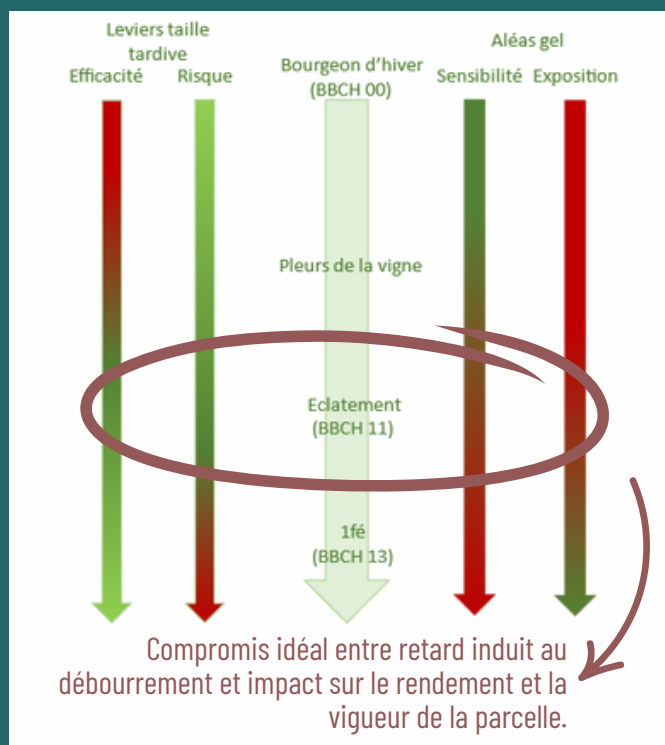


Le principe de la taille tardive repose sur les concepts d'acrotonie et du phyllochrone.

- **Acrotonie** : les bourgeons latents apicaux (situés au sommet du sarment) se développent en premier car ils sont alimentés prioritairement en sève et inhibent le développement des bourgeons sous-jacents.
- **Phyllochronie** : La croissance des feuilles commence après que la plante a accumulé un certain seuil de chaleur. Cette accumulation se mesure en degrés-jours qui déterminent l'apparition de nouvelles feuilles. La phyllochronie désigne le rythme d'apparition des feuilles sur un rameau.

Si la parcelle est :

- **Exposée au gel mais pas sensible** > intervenir avant les pleurs de la vigne.
- **Exposée au gel et sensible** > intervenir après les pleurs de la vigne.
- **Pas exposée au gel mais sensible** > intervenir avant les pleurs de la vigne ou si doute juste pendant les pleurs.



A gauche, plus l'efficacité tend vers le vert plus la taille sera tardive, plus le risque tend vers le rouge plus elle puisera dans les réserves d'amidon et autres sucres.

A droite, plus la sensibilité est rouge plus le végétal est sensible et plus l'exposition tend au vert moins l'occurrence d'un aléa « gel » est probable.

Méthode de taille tardive

Nombre de bourgeons

L'acrotonie varie sur le sarment en fonction du nombre de bourgeons présents. Plus il y a de bourgeons sur le rameau, plus elle sera forte.

Taille	Avec prétaille	Sans prétaille
Courte (coursions)	Laisser 8 bourgeons min	OK
Longue (baguette)	Laisser 10 bourgeons mini	Risque de casse baguettes

Une attention particulière au niveau des bourgeons sera à apporter lorsque l'on réalise le tirage des bois et le pliage (rabattement des bois). A partir du stade bourgeon dans le coton, ces travaux deviennent plus délicats.

Identifier la période de pleurs

Pour identifier le moment des pleurs, il est conseillé de réaliser une taille hivernale définitive sur 5-10 ceps dans une zone représentative de la parcelle qui servira de zone témoin.

RECOMMANDATION

Il est conseillé de rabattre la baguette en contexte humide



Points de sensibilité d'une parcelle

Pour prioriser les parcelles sur lesquelles agir, voici les principaux points de sensibilité à regarder :

1

Poids de la parcelle dans l'EBE*

2

L'**emplacement** de la parcelle, les **infrastructures** autour de la parcelle (voir partie I : Diagnostic parcellaire)

3

Parcelles à **débourrement précoce**

4

Un **sol** nu aéré ou avec des couverts végétaux non détruits

Points d'attention

- a) Eviter de réaliser une taille tardive post-débourrement sur des parcelles < 7 ans.
- b) Un retard excessif de la taille peut compromettre l'état des réserves d'amidon et de sucres.
- c) Eviter de dépasser le débourrement pour les parcelles ayant subi une sécheresse ou une mise en réserve automnale difficile.
- d) Le stade de taille à 1 feuille étalée pourra être avancé à éclatement dans les zones offrant moins d'énergie solaire lors des mises en réserves automnales (zones septentrionales, exposées au nord, ...).
- e) Une attention particulière est à avoir sur l'évolution de la vigueur lorsque cette pratique est répétée plusieurs années sur une même parcelle. Dès que les premiers signes de baisse de vigueur sont observés, cette pratique devra être suspendue.

Temps de travaux

Opération	Val de Loire (Guyot double, 5000 pieds/ha)	Bourgogne (Guyot simple, 10 000 pieds/ha)	Bordelais* (Guyot double, 4500 pieds/ha)
Taille hivernale	45 h/ha	80-120 h/ha	62h/ha
Taille + ébourgeonnage tardif			68h/ha
Taille tardive	+20h/ha en comparaison à la taille hivernale	+30 à 40% du temps en comparaison à la taille hivernale	66h/ha

*Les temps de travaux du Bordelais sont issus d'un rapport technique d'une exploitation faisant partie d'un GIEE et l'objet d'un rapport technique : [lien Etude Technique et Economique de la taille tardive au Château Puyfromage](#).

Autres bénéfices déjà observés de la taille tardive

- ✓ **Uniformisation** des rendements sur cépages irréguliers (Merlot, Grenache, Carignan, Malbec, ...)
- ✓ **Augmentation** possible du rendement
- ✓ **Diminution** des risques d'entrée des spores de maladies du bois
- ✓ **Décalage** des autres stades phénologiques pour :
 - Décaler la période de maturation du raisin vers des périodes saisonnières plus fraîches.
 - Décaler la date de vendange permettant d'avoir des moûts avec une concentration plus élevée en acidité, des pH plus bas, une meilleure qualité aromatique et une concentration en anthocyanes satisfaisante.

Bien que rares, deux anormalités peuvent arriver (sans explication reconnue)

- Une absence d'expression de l'acrotonie avec par exemple, un débourrement de l'ensemble des bourgeons en même temps
- Une absence de pleurs

Conclusion Taille Tardive

La taille tardive peut être un outil efficace pour retarder les premiers stades phénologiques et donc limiter les risques de gel. Elle peut également permettre d'améliorer la composition phénologique des baies et du vin. Cependant, elle doit être utilisée avec prudence pour éviter des impacts négatifs sur le rendement et la vigueur, surtout dans des conditions climatiques défavorables impliquant une recharge hydrique hivernale ou une mise en réserve dans les bois insuffisante.

GESTION DES HAIES, LISIÈRES DE BOIS ET BOSQUETS

Avant toute plantation, vérifier le sens d'écoulement de l'air froid et opter pour des haies perméables et non perpendiculaires au sens de la pente. Pour celles déjà en places et ayant un effet aggravant, prévoir une discontinuité pour laisser des passages d'air.

Dans le cas de lisières de bois, prévoir un nettoyage sous les arbres pour favoriser les écoulements d'air.

Dans le cas de zones humides, privilégier des couloirs pour diriger l'air froid vers ces zones.



Les matériels de lutte contre le gel visent à protéger la vigne contre les accidents de gel des bourgeons entre fin mars et début mai, période printanière. Ils se déclinent sous différentes actions : brassage de l'air, chauffage, aspersion, protection physique... Dans tous les cas, il est vivement conseillé de se munir de sondes météo pour déclencher le système choisi au moment opportun et ainsi optimiser le fonctionnement du matériel.

BRASSAGE DE L'AIR

Ce type de moyen de lutte est représenté par les tours antigel, qui consistent à rabattre l'air plus chaud présent en altitude vers le sol.

TOURS ANTIGEL FIXES



TAG fixe (CA71)

Les tours antigel fixes fonctionnent en mélangeant la couche d'air plus chaude au-dessus de l'inversion thermique et la couche d'air près des bourgeons de la vigne pour limiter la baisse de température, diminuer l'humidité relative dans cette zone, ce qui peut empêcher la formation de givre. Elles sont équipées de grandes hélices (2 à 5 pales) qui aspirent cet air plus chaud pour le mélanger à l'air froid. Ce mécanisme empêche le phénomène de stratification de l'air par gradient de densité dans le cas du gel radiatif. L'efficacité des tours dépend de la différence de température entre les niveaux situés de 2 à 20 mètres au-dessus du sol (force de l'inversion thermique). En règle générale, elles augmentent la température de l'air jusqu'à 50% de la différence de température mesurée dans l'inversion thermique.

La rotation à 360° du rotor dure près de 4 minutes, ce qui correspond au temps de re-stratification de l'air froid dans la zone des bourgeons. L'allumage de la tour permet aussi d'assécher l'environnement de la parcelle et notamment les bourgeons (jusqu'à 20 points en moins concernant l'humidité relative, essai CA PDL 2022), les rendant plus résistants aux températures négatives.

- **Position élevée** : Installée sur un mât d'environ 10 à 12 mètres de hauteur, la tour capte les couches d'air plus chaud situées en altitude (phénomène d'inversion thermique).
- **Ventilation** : À l'aide de ses pales, elle redistribue cet air chaud vers les couches d'air plus froides, près du sol, augmentant ainsi la température au niveau des vignes et limitant la formation du gel autour des bourgeons jusqu'à une distance de 120 m.
- **Rotation et couverture** : La tête de la tour peut pivoter à 360°, ce qui permet de couvrir une grande surface (environ 3,5 à 4,5 hectares en conditions réelles de gel agronomique, selon les modèles et les conditions spécifiques du vignoble, comme le relief ou les vents dominants).
- **Activation ciblée** : De nombreux producteurs allument les tours à environ 0°C, ce qui est approprié pour de nombreuses situations de gel radiatif. Cependant, si les prévisions annoncent des températures bien en dessous des températures critiques et/ou accompagnées de points de rosée bas (par exemple, < -7 °C), il est conseillé d'allumer les tours à +2 °C / +3 °C pour commencer à déplacer l'air plus chaud à travers le vignoble, même en cas de faibles inversions. Ce procédé compense partiellement les pertes de chaleur radiatives tout en éliminant les couches d'air froid au niveau des bourgeons. Ces derniers, ainsi que les autres tissus sensibles, restent relativement plus chauds sur une durée prolongée, grâce à une réserve de chaleur plus importante à dissiper.

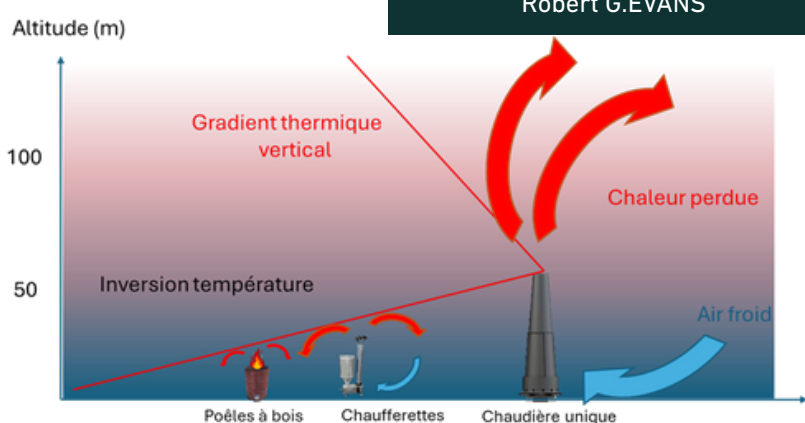
- **Efficacité et consommation** : L'efficacité des tours est satisfaisante jusqu'à -4°C . Au-delà, il est nécessaire de compléter par des points de chauffe. Perte d'efficacité et risque de casse en cas de vent $> 10-15\text{ km/h}$ selon les modèles. Consommation de 2 à 5 kW pendant son fonctionnement.
- **Bruit** : 70 à 100 dB à 300 m[1]. Les hélices multiples sont moins bruyantes.

Cette technologie est particulièrement adaptée pour les **gels radiatifs**, où l'air froid stagne près du sol et peut être mélangé efficacement à l'air plus chaud. Elle est cependant inefficace pour les gels advectionnels.

La couverture peut néanmoins varier en fonction de la capacité de l'éolienne à mélanger l'air chaud et l'air froid de manière efficace. L'installation nécessite évidemment une étude préalable pour maximiser son efficacité en fonction du microclimat et de la topographie du site. Pour toute installation d'une tour antigel fixe, une demande préalable pour le coulage de la dalle béton est à réaliser auprès de la mairie concernée.

Complément thermique : Une ou plusieurs sources de chaleur peuvent éventuellement être intégrées pour augmenter la performance de lutte. L'OMAFRA déconseille les points chauds uniques au pied de la tour (voir schéma ci-contre) de même qu'Evans (2000) dit :

« Les températures élevées (750°C) de la chaleur ajoutée ont fait monter rapidement le panache d'air ascendant au-dessus des vignes et le mélange avec l'air plus froid du vignoble était ainsi diminué. La chaleur ajoutée fait en réalité monter rapidement le jet au-dessus des cimes des arbres et diminue considérablement le rayon de la zone protégée par la TAG en raison de l'augmentation de la flottabilité du panache d'air. Ces problèmes pourraient être contournés si de grandes quantités de chaleur pouvaient être introduites/mélangées à basse température (par exemple, 3°C au-dessus de la température ambiante) dans un rayon de 30 m de l'éolienne ».



Comparaison entre petites chauffeuses et gros réchaud (OMAFRA, 2012). Réalisation de vulgarisation graphique : CA Pays de la Loire

Investissement : Entre 35 000 et 75 000 € (HT) par unité en fonction des options choisies et de la capacité éventuelle à chauffer l'air.

TOURS ANTIGEL MOBILES

Les tours mobiles utilisent le même principe que les éoliennes fixes, avec quelques spécificités et souvent moins de puissance :

PORTABILITÉ :

- Facilement déplaçables, elles permettent de protéger différentes parcelles en fonction des conditions météorologiques.
- Leur flexibilité est un atout pour les vignobles disposant de zones sensibles au gel dispersées.

EFFICACITÉ ET UTILISATION :

- Elles couvrent une surface plus restreinte qu'une éolienne fixe, généralement de 0,5 à 2 hectares maximum, à cause de leur position moins élevée, et protègent les bourgeons jusqu'à -3°C . Perte d'efficacité et risque de casse en cas de vent $> 8\text{ km/h}$.
- Leur emplacement est ajusté pour maximiser leur efficacité sur les microclimats du vignoble.
- **Bruit** : 45 à 50 dB à 300 m.

Les tours mobiles sont particulièrement adaptées pour des exploitations de taille modérée ou pour compléter d'autres systèmes de protection contre le gel.

TAG mobile (CA71)



Investissement :

Entre 25 000 et 50 000 € (HT) par unité.

Elles peuvent également être couplées à des dispositifs chauffants, ce qui augmente leur efficacité mais aussi le coût d'exploitation.

HÉLICOPTÈRES

L'utilisation d'hélicoptères est une technique plutôt difficile à mettre en œuvre. Ils volent à basse altitude au-dessus des parcelles, rabâtant l'air chaud des couches supérieures dans les plaines et vidant les bas-fonds de l'air froid accumulé la nuit. Un hélicoptère peut protéger entre 20 et 30 hectares en passant toutes les 20 minutes, et permet de gagner entre 1 et 3°C au niveau des bourgeons.



Charnay-les-Mâcon - gel 2021 (Photo JSL /Laurent BOLLET)

QUELQUES LIMITES :

- **Coût élevé par intervention** : Il faut compter environ 350 à 400€ HT par hectare et par intervention pour mobiliser un hélicoptère et 300 à 1 200€ de carburant par nuit. Cela peut devenir coûteux en cas de gelées répétées. De plus, en cas de températures très négatives tôt dans la nuit, les dégâts peuvent déjà avoir eu lieu que le vol n'est pas encore effectué.
- **Dépendance aux conditions climatiques** : Méthode inefficace en cas de vent ou d'absence d'air chaud en altitude. Vol qui ne peut commencer que 30 min maximum avant le lever du soleil, donc méthode qui peut être inefficace dans certains cas où le gel débute plus tôt.
- **Impact sonore et environnemental** : Les interventions d'hélicoptères peuvent être gênantes pour les riverains (100 dB à 300 m) et présentent une empreinte carbone significative.



BIEN VIVRE ENSEMBLE AUTOUR DU BRASSAGE DE L'AIR

L'installation d'éoliennes pour protéger les vignobles contre le gel peut susciter des préoccupations chez les riverains en raison du bruit ou de l'impact visuel. Il est alors important de favoriser une bonne cohabitation, en amenant une meilleure compréhension pour réduire les tensions et renforcer l'intégration des tours dans les paysages ruraux.

Opter pour une communication transparente

- ✓ **Informez les riverains** : Expliquer le rôle des éoliennes dans la préservation des vignobles et des récoltes, notamment leur activation limitée aux nuits froides, à travers des réunions ou des messages passés par les mairies ou associations via des affiches ou les réseaux sociaux.
- ✓ **Partage des plannings** : Fournir un calendrier des périodes à risque de gel pour prévenir les activations nocturnes.
- ✓ **Réunions** : Organiser des discussions entre viticulteurs et riverains pour recueillir les retours et ajuster les pratiques.

Réduire les nuisances

- ✓ **Technologies modernes** : Les tours équipées de plus de 3 pales seront moins bruyantes que celles à 2 pales. Il est possible de les remplacer sur le rotor.
- ✓ **Emplacement stratégique** : Installer les tours le plus à distance des habitations.



Flyer grand public



Flyer viticulteurs



CHAUFFAGE



FILS CHAUFFANTS

Les fils chauffants, ou câbles chauffants, fonctionnent comme des résistances électriques. Installés sur les fils porteurs des rangs de vigne, ils produisent de la chaleur lorsqu'ils sont activés, augmentant localement la température pour protéger les bourgeons sensibles. Dans cette situation, une sonde de température doit être placée dans la parcelle pour détecter le risque de gel. L'information est envoyée à une armoire électrique, qui active automatiquement le système. Cela évite une surveillance constante de nuit.

Environ **80 kW** sont nécessaires pour couvrir un hectare, avec une consommation moyenne de 12 -15 W par mètre linéaire. Le coût de l'installation est variable selon les modèles, entre **30 000 et 50 000€/ha**, selon la densité de plantation et les équipements spécifiques. Équiper une parcelle nécessite donc un investissement de 5 à 12€ le mètre linéaire de fil chauffant selon les options et la complexité de la parcelle. L'installation demande un aménagement préalable des parcelles, notamment pour l'enfouissement des câbles d'alimentation, ce qui peut être long et coûteux.

Mais une fois en place, le coût d'utilisation de la solution est relativement faible, estimé à environ 50€/ha pour 10 heures de fonctionnement.

L'utilisation d'un groupe électrogène est possible si l'alimentation électrique est insuffisante, mais cela peut augmenter les coûts.

QUELQUES AVANTAGES :

- **Efficacité** : Les fils chauffants peuvent augmenter la température au contact du fil de 8 °C, assurant une protection contre des gelées modérées à sévères (jusqu'à -5°C).
- **Environnement** : Ils ne génèrent pas de bruit ni de nuisances visuelles. Compatibles avec l'agriculture biologique et les normes HVE (Haute Valeur Environnementale), ils sont adaptés aux exploitations soucieuses de leur empreinte écologique.

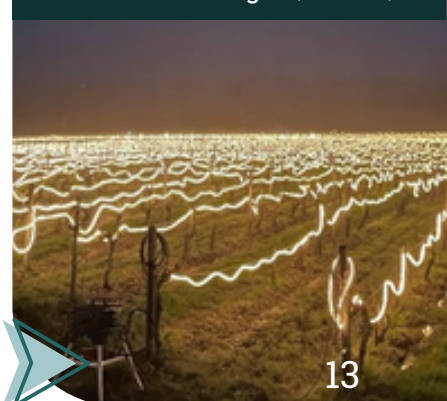
Les fils chauffants sont particulièrement adaptés pour les domaines qui souhaitent une solution fiable et automatisée, mais qui sont également prêts à investir.

Un dispositif décliné existe, on parle ici de câbles chauffants avec fonctionnement à Led infrarouge, par Frolight Systems. Les tubes émettent une lumière infrarouge qui est dirigée vers les bourgeons de la plante, le rayonnement permet donc également de chauffer cette zone sensible. L'idéal est de paramétrer l'équipement pour qu'il se déclenche lorsque la température passe sous 2°C.

POINTS DE VIGILANCE :

- **Maintenance régulière** : Les câbles nécessitent une mise en place avant le gel et une dépose avant la saison car ils présentent peu de résistance aux UV et aux produits phytosanitaires.
- **Topographie** : Ce système est plus adapté aux parcelles planes, en haute ou basse densités. Sur des terrains complexes ou irréguliers, l'installation et la performance peuvent être compromises.

Câbles IR Frolight (ATV 49)



BOUGIES

Les bougies, généralement en paraffine ou cire biodégradable, sont placées dans les rangs de vignes et une fois allumées, elles produisent de la chaleur qui augmente la température au sol et dans la zone des bourgeons. Elles peuvent fonctionner jusqu'à 8-10 heures en continu, en fonction de leur volume.

La densité de leur installation dépend de l'intensité du risque de gel annoncé : environ 200 bougies/ha pour -2 °C et jusqu'à 450 bougies/ha pour des températures proches de -5 °C.

Ce dispositif nécessite une planification rigoureuse pour un allumage et une extinction adaptée aux conditions météorologiques.



Avantages

- Technologie simple et sans dépendance à l'électricité.
- Adaptée à des parcelles où d'autres dispositifs ne sont pas installables.
- Permet une intervention ciblée et localisée en cas de gelées ponctuelles.

Limites

- Coût élevé : environ 10 à 15€ TTC par bougie, avec une consommation moyenne de plusieurs centaines de bougies par hectare en cas de gel intense.
- Impact environnemental le plus élevé de l'ensemble des moyens de protection lié à l'émission de CO₂ et aux particules fines.
- Forte exigence en main-d'œuvre pour l'allumage et la gestion logistique.

Cette technique est souvent combinée à d'autres dispositifs (comme des tours à vent ou des fils chauffants) pour maximiser la protection, mais reste coûteuse pour une utilisation sur de grandes surfaces.

CHAUFFERETTES

Les chaufferettes, aussi appelées brûleurs, sont une solution efficace et localisée pour protéger les vignes contre le gel. Leur fonctionnement repose sur la combustion de pellets, générant de la chaleur pour réchauffer l'air autour des bourgeons sensibles. Elles peuvent fonctionner de manière fixe ou mobile selon les besoins des parcelles.



Avantages

- **Efficacité thermique** : Elles permettent d'élever la température autour des ceps de plusieurs degrés, offrant une protection efficace jusqu'à environ -5 °C en conditions sèches.
- **Ciblage précis** : Ces dispositifs sont adaptés pour des parcelles complexes où d'autres solutions (comme les tours) ne sont pas efficaces.
- **Automatisation possible** : Certaines versions peuvent être équipées d'un allumage électronique pour faciliter leur activation.
- **Flexibilité** : Les chaufferettes sont polyvalentes et peuvent être déployées là où le gel est le plus critique.

Limites

- **Coût** : Leur installation représente un investissement important, estimé à 38 000€ HT /ha pour 200 chaufferettes par hectare. Il faut ajouter à ce coût le temps d'amortissement (10 ans) et le temps de main d'œuvre.
- **Consommation** : Elles nécessitent des granulés, engendrant des coûts opérationnels et un impact environnemental.
- **Maintenance et main-d'œuvre** : Leur mise en place et leur activation nécessitent une surveillance humaine, surtout dans des nuits où le risque de gel est fluctuant.
- La protection par points de chauffe peut occasionner, sur la zone de bordure en limite de protection, des dégâts (carte thermique CVSE). Ceci démontre l'intérêt de la lutte collective pour optimiser la synergie des différentes méthodes de lutte.

Les chaufferettes sont idéales pour des situations ponctuelles et des parcelles où d'autres solutions ne peuvent être mises en œuvre. Elles s'intègrent souvent dans une stratégie combinée avec d'autres dispositifs comme les tours ou l'aspersion, selon la typologie des vignobles et les ressources disponibles.



SYSTÈME ÉMETTEUR D'AIR CHAUD ASSOCIÉ À UN VENTILATEUR

Toujours en développement...

- Ces systèmes antigel créent un flux d'air visant à réchauffer l'air ambiant.
- Ces systèmes ont une couverture prévue de 1 à 2 hectares et protègent des gelées jusqu'à -2 à -4°C (conditions optimales).
- Les données industrielles sont à nuancer car nous n'avons pas de résultats expérimentaux sur ces systèmes.
- Ce type de système vaut entre 24 000 et 30 000€, mais le prix exact dépend du modèle et des options choisies.



La lutte par aspersion est l'une des techniques actives de protection les plus efficaces (jusqu'à -7°C environ) et contre tous les types de gel. Cela étant, elle est également de loin la plus complexe et ne laisse pas de place à l'erreur.

Le principe est simple :

L'eau déposée sur le végétal se transforme en glace. Le passage de l'état liquide à l'état solide provoque une libération d'énergie de l'ordre de 80 kcal/litre. Avec cette énergie apportée régulièrement, les bourgeons ou jeunes pousses sont maintenus à une température de 0°C , qui n'est donc pas létale.

Une simple règle de trois permet de calculer les besoins en eau pour lutter contre une gelée radiative. Pour rappel, ces dernières provoquent une perte de l'ordre de 950 000 kcal/h/ha. A partir de là, on sait qu'il faut apporter 11 m³/h/ha pour compenser cette déperdition.

Cependant, d'autres facteurs entrent en compte, notamment la vitesse du vent et l'humidité. Ces facteurs sont extrêmement importants à prendre en compte car si le débit est trop faible, l'apport de calories ne sera pas assez important et le résultat sera la perte totale de végétation du fait d'une humidité très importante et de températures trop faibles.

● **Humidité** : Si elle est déjà à saturation (100% d'humidité relative), le calcul précédent est applicable mais cette situation reste rare. Lorsque l'air est plus sec, les premiers mètres cubes d'eau servent à saturer l'atmosphère ambiante. Donc non seulement l'eau consommée ne libère pas d'énergie, mais elle en consomme pour passer de l'état liquide à l'état gazeux faisant baisser la température.

● **Vent** : Même s'il est faible, il contribue à apporter une masse d'air plus sèche indésirable sur la parcelle à protéger. Pour chaque "nouveau" m³ d'air qui arrive, une saturation et un réchauffement sont nécessaires. Ce sont donc autant de calories, donc de mètres cubes d'eau supplémentaires, à ajouter au calcul de base.

En conjuguant ces deux facteurs il apparaît, hors installations de micro-aspersion, qu'en conditions de gelées classiques, il n'est plus question de 11 m³ mais de 40 à 50 m³ à apporter par heure et par hectare (rare au-delà de 42 m³ mais possible en cas de vent).

Au-delà de ces considérations de volumes d'eau nécessaires, il est indispensable que l'installation soit irréprochable pour éviter tout arrêt d'aspersion, au risque de perdre l'effet protecteur et donc de sacrifier tout ou partie de la parcelle protégée. Les arroseurs et les moteurs de pompes sont notamment les pièces maîtresses d'une installation mais sont aussi les plus sensibles. Il est indispensable que les moteurs soient révisés et entretenus régulièrement afin d'assurer leur fiabilité. Les arroseurs eux doivent être testés avant la période gélive et surveillés durant l'intégralité de leur utilisation afin d'éviter tout dysfonctionnement. Les joints de canalisations aériennes sont également un point à surveiller avant la mise en route pendant la période de gelées.

Une maîtrise totale est indispensable pour l'aspersion, l'erreur n'a pas sa place dans cette technique et notamment lors du point le plus délicat : le déclenchement.

Un déclenchement trop précoce, en cas de réserve d'eau limitée, peut entraîner un arrêt du système avant la fin de l'épisode de gel, ce qui serait désastreux pour la plante. À l'inverse, un déclenchement trop tardif entraîne une évaporation initiale des premiers mètres cubes d'eau pour saturer l'air ambiant, provoquant une baisse brutale de 2 à 3°C , suffisante pour causer des dommages irréversibles aux bourgeons. 16

Une mesure extrêmement précise de la température, à la fois humide mais également sèche, (la température humide tendant à devenir imprécise lorsque l'on se rapproche de 0°C) est importante. Le Comité Champagne propose des abaques de déclenchement en fonction de la température actinothermique (mesurée à l'air libre et non sous abri) sèche lue à 50 cm (hauteur des bourgeons) et de l'humidité relative de l'air.

		Température lue sur le thermomètre sec à 50 cm											
		0°	0°5	1°	1°5	2°	2°5	3°	3°5	4°	4°5	5°	
Humidité de l'air lue en % sur l'hygromètre	20 %	5°8	5°7	5°6	5°6	5°5	5°4	5°3	5°2	5°2	5°1	5°0	
	25 %	5°3	5°2	5°1	5°0	4°9	4°8	4°7	4°6	4°5	4°4	4°3	
	30 %	4°8				4°4	4°3	4°2	4°0	3°9	3°8	3°7	
	35 %	4°4	Trop tard pour intervenir !										
	40 %	3°9											
	45 %	3°4	3°3	2°6	3°0	2°8	2°6	2°4	2°3	2°1	1°9	1°7	
	50 %	3°0	2°8	2°1	2°5	2°3	2°1	1°9	1°7	1°5	1°2	1°0	
	55 %	2°5	2°3	1°6	1°9	1°7	1°5	1°3	1°1	0°8	0°6	0°3	
	60 %	2°1	1°9	1°6	1°4	1°2	1°0	0°7	0°5	0°2	0°0	-0°3	
	65 %	1°6	1°4	1°1	0°9	0°7	0°4	0°1	-0°1	-0°4	-0°7		
	70 %	1°1	0°9	0°6	0°4	0°1	-0°1	-0°4	-0°7				
	75 %	0°7	0°4	0°1	-0°1	-0°4	-0°7						
	80 %	0°2	-0°1	-0°4	-0°6	-0°9							
	85 %	-0°3	-0°6	-0°9					Dans tous les cas, intervenir à t°C sèche = - 1°C				
	90 %	-0°7											
	95 %												
	100 %												

Abaques de déclenchement de l'aspersion (Comité Champagne)

L'aspersion est donc une technique efficace mais qui demande une grande technicité. De plus, il est indispensable d'avoir à disposition de grandes quantités d'eau compte tenu des volumes nécessaires. Une installation doit donc être réfléchie bien à l'avance afin d'obtenir toutes les autorisations nécessaires et de préférence, une formation auprès de personnes pratiquant déjà cette technique est préférable afin d'éviter toute erreur lors du jour J.

DONNÉES ÉCONOMIQUES ASPERSION (18X18 M)

Investissement :

Entre 14 000 et 24 000€ HT/ha

Frais de fonctionnement :

600€/ha

Amortissement + Frais Financiers :

2 000€/ha

Coût :

0,5€/l (pour 50 hl/ha)

DONNÉES ÉCONOMIQUES MICRO-ASPERSION

Investissement :

Entre 11 200 et 12 600€ HT/ha

POINT DE VIGILANCE

Complications possibles et augmentation des coûts si besoin de création d'un bassin, sans compter les demandes nécessaires auprès des DDT qui peuvent être très longues.

Pour tout projet, contactez au préalable votre conseiller Chambre d'Agriculture.



Vigne équipée du matériel d'aspersion : pompe, tubage, raccords, sprinklers (Photo : exploitation dans le Libournais).



VOILES D'HIVERNAGE

Ce type de protection permet de protéger d'un gel radiatif et de résister au vent via le système d'accroche du textile protecteur. Le voile offre une barrière physique contre le gel, aidant à conserver une température légèrement plus élevée dessous. Il protège les bourgeons lors de gelées pouvant atteindre -2 à -4°C , selon sa qualité et son épaisseur. Il est amortissable pour une durée de 3 ans pour le voile en polypropylène non tissé et 10 ans pour le voile tricoté. Il est utilisable uniquement sur parcelles hors AOC ou dans les AOC qui ont validé ce procédé dans leur cahier des charges.

FONCTIONNEMENT ET AVANTAGES :

- **Protection thermique** : Ils limitent la perte de chaleur par rayonnement et maintiennent une température sous le voile supérieure à l'air ambiant. Par exemple, lors d'un épisode de gel à -4°C , la température sous le voile peut atteindre $+1,3$ à $+1,7^{\circ}\text{C}$, suffisant pour protéger les bourgeons sensibles.
- **Respect de l'environnement** : Contrairement à d'autres solutions, les voiles ne nécessitent ni carburant, ni eau, ni électricité (sauf carburant du tracteur pour la pose mécanique).
- **Polyvalence** : Ils peuvent également protéger contre la grêle ou limiter l'exposition au vent.

Concernant l'installation, les voiles sont déployés manuellement ou à l'aide de systèmes mécaniques sur les rangs de vignes, souvent accrochés au palissage. Un hectare nécessite environ une journée de travail pour quatre personnes en manuel. Avec une dérouleuse, trois personnes peuvent équiper environ deux hectares en une journée. Ils sont posés avant une alerte gel et restent en place pendant plusieurs jours ou semaines, selon les conditions climatiques. L'investissement est situé en fonction du type de voile entre 11 000 et 15 000€/ha pour le voile et le matériel associé, hors pose.

LIMITES :

- **Main-d'œuvre** : A la main, leur installation et retrait demandent du temps et de la coordination. Il existe une enrouleuse-dérouleuse permettant de déployer 2 ha/jour à 3 personnes.
- **Fragilité** : Les voiles intissés type P60 peuvent être endommagés par des vents > 70 km/h ou un usage de plus de 3 ans. Les voiles tissés ou tricoté résistent au-delà de 70 km/h. En cas de gel advectif, les voiles ne sont donc pas déployés.
- **Effet de serre temporaire** : Une légère accélération du développement de la végétation peut être observée sous les voiles, mais cette précocité ne se retrouve pas nécessairement au niveau des autres stades phénologiques.



Voiles tricotés (ATV 49)

STIMULATEURS FOLIAIRES



COÛT

70€ POUR UNE
DOSE DE 0,1L/HA

Les engrais foliaires à but de protection contre le gel sont des produits à base d'extraits naturels qui visent à renforcer la résistance des vignes face aux gels printaniers en stimulant ses défenses naturelles.

Les produits sont censés agir en augmentant la résistance de la vigne aux baisses de température, améliorant sa tolérance de 1 à 2 °C par rapport à des conditions normales.

Ces produits sont pulvérisés directement sur les parties végétatives de la vigne, généralement entre 12 et 48 heures avant une période dite à risque. L'objectif est de minimiser l'impact environnemental des solutions et de s'intégrer dans des approches durables et/ou biologiques.

Il est cependant très important de vérifier les conditions d'emploi. Ces produits ne peuvent être utilisés qu'après un débourrement effectif, au minimum éclatement du bourgeon. L'effet bénéfique est annoncé pour des gelées situées seulement entre -2 et -3,5 °C, avec un apport au minimum 12 heures avant, et avec une persistance durant trois nuits de suite. A -4 °C, ces produits sont inefficaces. Le principe de ces produits foliaires est de stimuler la plante pour qu'elle produise des "molécules antigél" afin d'éviter à l'eau des cellules du bourgeon de cristalliser, et donc de faire geler.

L'efficacité de ce dispositif utilisé seul est très variable et souvent faible, l'intervalle de températures étant assez limité. Il est plutôt employé comme complément à d'autres moyens de lutte active.

Attention à la reprise de la végétation :

La précocité des stades peut se retrouver jusqu'à maturité.



Webinaire



S'adapter au gel

SYNTHÈSE

MÉTHODE	SYSTÈME	EFFICACITÉ	PROTECTION	SURFACE	COÛT	ENERGIE
Brassage d'air*	Tours fixes	Gelée blanche : +++ Gelée noire : ++	Jusqu'à -4°C	3,5 à 4,5 ha	35 000 à 75 000€ HT l'unité	Electrique : 2 à 5 kW
	Tours mobiles	Gelée blanche : +++ Gelée noire : +	Jusqu'à -3°C	3 ha maximum	25 000 à 50 000€ HT l'unité	Electrique : 2 à 3 kW
	Hélicoptères	Gelée blanche : +++ Gelée noire : ++	Jusqu'à -3°C	20 à 30 ha	300 à 400€ HT/ha pour mobilisation du matériel + 300 à 1 200€ de carburant par nuit	Carburant : 200 à 600 l par intervention
Chauffage	Fils chauffants/IR	Gelée blanche : +++ Gelée noire : ++ Gelée advective : + à /	Jusqu'à -5°C	Adaptable	30 000 à 50 000€/ha puis 50€ pour 10h de fonctionnement	12 W par mètre linéaire : environ 80 kW/ha
	Bougies	Gelée blanche : +++ Gelée noire : ++ Gelée advective : +	Jusqu'à -4/-5°C	De 200 à 450 bougies/ha	10 à 15€ TTC l'unité	Paraffine ou biocombustible
	Chaufferettes	Gelée blanche : +++ Gelée noire : ++ Gelée advective : +	Jusqu'à -5°C	200 chauffe-rettes/ha	38 000€ HT /ha	Combustion de granulés
	Canons	Gelée blanche : + Gelée noire : + Gelée advective : + à /	Jusqu'à -2°C	25 à 60 ares	10 000 à 30 000€ TTC l'unité	Variable (fioul, gaz, électricité)
	Système émetteur d'air chaud	Gelée blanche : ++ Gelée noire : +	Jusqu'à -2/-4°C	1 à 2 ha	30 000€ TTC l'unité	Fioul
Aspersion	Aspersion	Gelée blanche : +++ Gelée noire : +++ Gelée advective : +++	Jusqu'à -7°C	Adaptable	14 000 à 24 000€ HT/ha pour l'équipement	Electricité : 1 à 2 kWh/ha, eau : 40 à 50 m³/h/ha
Couverture / Lutte physique	Voiles d'hivernage	Gelée blanche : +++ Gelée noire : +++ Gelée advective : +	Jusqu'à -2/-4°C	Adaptable	11 000 à 15 000€	Uniquement carburant si pose mécanique
	Stimulateurs	Gelée blanche : ++ Gelée noire : + Gelée advective : /	Entre -2 et -3,5°C	Adaptable	70€/ha	/

*Inefficace sur les gels advectifs et allumage dangereux en cas de vent au-delà de 16 km/h.
+++ = très efficace ; ++ = efficacité modérée ; + = efficacité faible ; / = efficacité nulle

Que faire après le gel ?



D'après la CA34

Que faire après le gel ?



D'après le PNVD

Evaluation environnementale



Des solutions de lutte

Plus d'infos



Sur le matériel

OUTILS DE RÉGULATION DES VOLUMES ET ASSURANCES



Il est indispensable de rappeler qu'il existe également des outils de régulation des volumes permettant d'anticiper ou d'amortir les conséquences des aléas type gel et grêle.

- La réserve interprofessionnelle
- Le Volume Complémentaire Individuel (VCI)
- Le Volume Substituable Individuel (VSI)

Guide VCI 2024



Plaquette lutte contre le gel BIVB



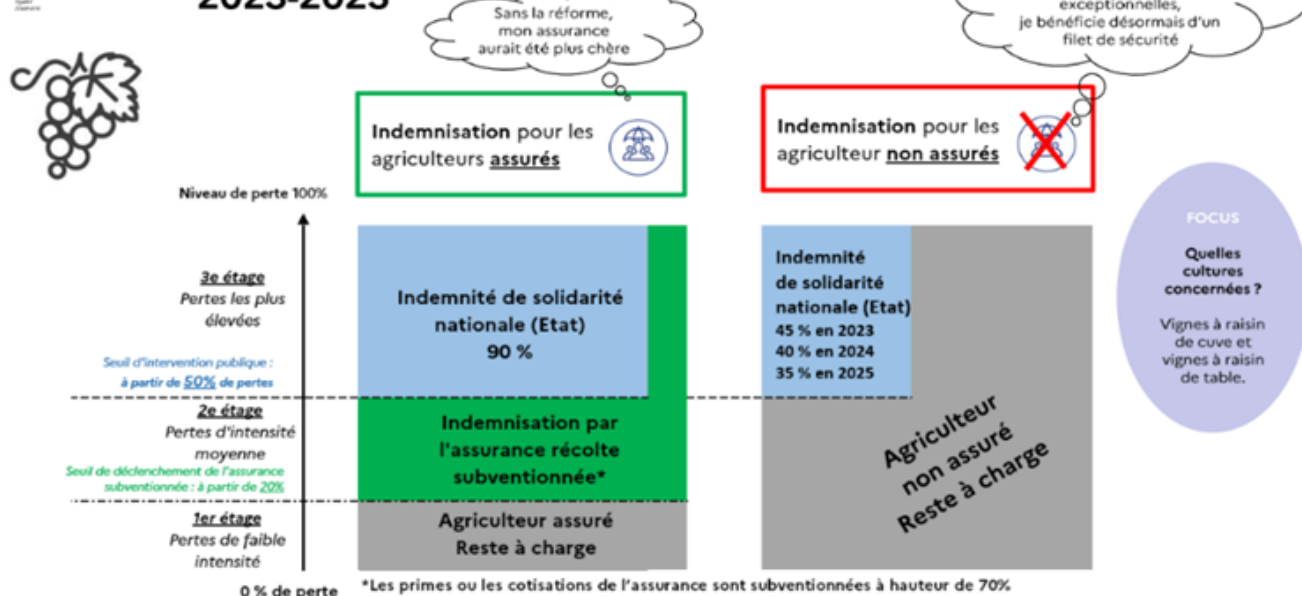
Aussi, l'assurance grêle et autres risques climatiques reste une option fondamentale pour couvrir les pertes de rendement liées aux aléas climatiques (grêle/sécheresse).

La principale couverture assurantielle du gel en viticulture repose sur l'assurance multi-risques climatique.

Applicable depuis le 1er janvier 2023, la loi du 2 mars 2022 instaure en effet de nouvelles modalités d'indemnisation des pertes de récoltes résultant d'aléas climatiques, applicables à toutes les cultures, et reposant sur le partage du risque entre l'État, les agriculteurs et les entreprises d'assurances.



Dispositif réformé pour la Viticulture 2023-2025



RÉDACTEURS ET PARTENAIRES

- **Prérequis, types de gel et prévisions** : Thomas CHASSAING (CA et ATV49), Annabel GARCON (CA33), Thomas GOUROUX (CA21), Jouanel POULMARCH (CA34) et Marie SPETEBROOT (CA71)
- **Lutte passive, entretien et gestion du sol et des couverts** : Thomas CHASSAING (CA et ATV49), Annabel GARCON (CA33), Thomas GOUROUX (CA21) et Jouanel POULMARCH (CA34)
- **Lutte passive, vitipastoralisme** : Thomas CHASSAING (CA et ATV49) et Annabel GARCON (CA33)
- **Modes de conduite** : Thomas CHASSAING (CA et ATV49), Thomas GOUROUX (CA21) et Jouanel POULMARCH (CA34)
- **Lutte active, brassage de l'air** : Thomas CHASSAING (CA et ATV49), Annabel GARCON (CA33) et Marie SPETEBROOT (CA71)
- **Lutte active, fils chauffants et IR** : Thomas CHASSAING (CA et ATV49), Thomas GOUROUX (CA21) et Marie SPETEBROOT (CA71)
- **Lutte active, bougies, chauffeuses et systèmes émetteurs d'air chaud** : Thomas CHASSAING (CA et ATV49), Annabel GARCON (CA33), Basile PAUTHIER (CIVC) et Marie SPETEBROOT (CA71)
- **Lutte active, aspersion** : Basile PAUTHIER (CIVC), Thomas CHASSAING (CA et ATV49), Annabel GARCON (CA33)
- **Lutte active, voiles d'hivernage** : Thomas CHASSAING (CA et ATV49) et Marie SPETEBROOT (CA71)

Relecture générale de Jean-François Berthoumieu (Agralis et ACMG)

