



INSTITUT FRANÇAIS
DE LA VIGNE ET DU VIN

ITINÉRAIRES
N° 27

ALÉAS CLIMATIQUES DE LA VIGNE

La grêle et le gel de printemps : comment s'en protéger ?

AVANT-PROPOS

L'évolution du climat, on peut même parler de dérèglement climatique, impacte très directement le travail des vignerons, et l'économie viticole. Orages de grêle violents et gel de printemps, liés souvent à un débourrement de plus en plus précoce, deviennent de plus en plus fréquents. Ces phénomènes climatiques occasionnent des dégâts significatifs et fragilisent fortement les entreprises sur le plan commercial et économique.

Cette situation mobilise les organisations professionnelles de la filière et les pouvoirs publics, pour l'émergence ou le renforcement de mesures adaptées, tels que, par exemple, des dispositifs assurantiels ou des mises en réserve climatiques. Dans ce contexte, l'enjeu porte également sur les moyens techniques de prévention et de lutte contre ces fléaux climatiques.

C'est l'objet de ce cahier technique. Il a pour objectif de présenter, de manière synthétique, d'une part les mécanismes de ces aléas climatiques, et d'autre part, les références techniques et économiques des équipements disponibles.

Que soient ici très sincèrement remerciés tous ceux qui ont contribué à la rédaction de ce document, collègues de chambres d'agriculture, de comités interprofessionnels, autour de collaborateurs de l'IFV, conformément au rôle de tête de réseau des acteurs de la R&D de notre institut national.

Face aux enjeux de plus en plus prégnants sur la filière de ces phénomènes climatiques, gageons que ce document est une première étape. Aller plus loin dans la connaissance scientifique et technique en matière de prévention et de protection du vignoble, de façon adaptée à la formidable diversité des régions viticoles françaises, reste un objectif collectif important.

Jean-Pierre Van-Ruyskensvelde
Directeur Général de l'IFV



Sommaire



Avant-propos	2
Sommaire	3
Introduction	4
Chapitre 1 : La grêle	6
Chapitre 2 : Le gel	14
Conclusion	31
Annexes	32
Remerciements	36

INTRODUCTION

Une grande partie du vignoble a été touchée par l'épisode de gel qui est intervenu sur plusieurs jours fin avril 2017 et a occasionné des dégâts pour de nombreuses régions françaises y compris méridionales (Figure n° 1), ainsi que d'autres pays de la zone Ouest de l'Europe (Angleterre, Allemagne, Italie, Suisse, etc.). Le gel, la grêle ainsi qu'une sécheresse très marquée dans les zones méridionales, ont abouti en France à une baisse d'environ 10 millions d'hectolitres par rapport à 2016, ce qui correspond par rapport à une moyenne décennale, à une diminution de l'ordre de 18 %. En 2018, un épisode orageux très violent a affecté plusieurs régions viticoles françaises et notamment le Bordelais et le Cognçais.

C'est dans ce contexte qu'a été développé le projet CLIMFROST, coordonné par l'Institut Français de la Vigne et du Vin et financé par FranceAgriMer. Il a pour objectif d'aider la profession viticole française à appréhender les risques de gel de printemps et de grêle dans leur contexte local.

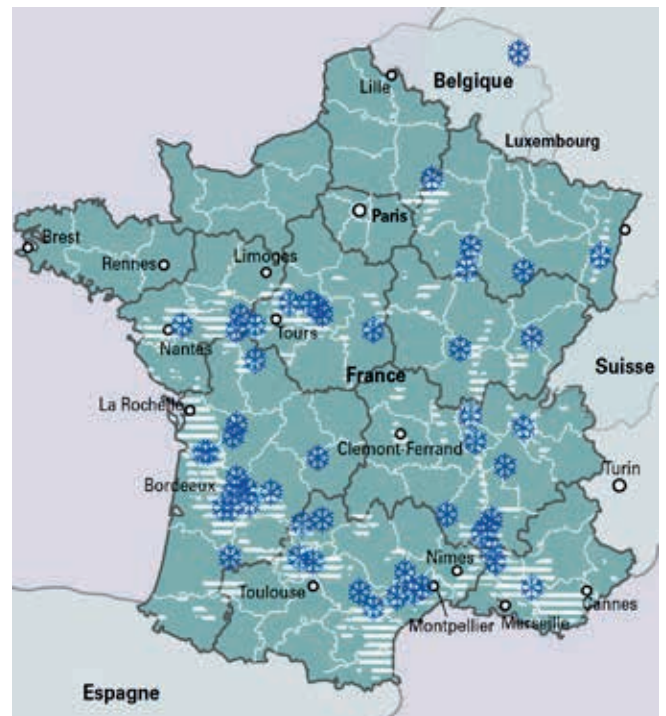


Figure n° 1 : cartes régions françaises touchées par le gel en 2017
(Source www.vitisphere.com, publiée dans *La Revue des Œnologues* n° 164, juillet 2017)



Dégâts de gel dans le Bordelais en 2018
(Source : www.avenir-aquitain.com)

Des mesures indirectes peuvent être envisagées pour réduire les aléas climatiques

Souscription d'une assurance récolte

Généralement, il est possible de choisir entre deux formules :

- **Couverture du risque grêle seul**
- **Couverture du risque grêle et des autres risques climatiques (gel, inondation, tempête, sécheresse, poids de la neige, givre...)**

Cette formule est subventionnée par la PAC à hauteur de 65 % (pour les garanties du « contrat socle »).

Le viticulteur détermine son rendement et son prix (avec un prix plafond fixé par un barème annuel pour le contrat socle), pour établir un capital garanti par appellation. L'indemnisation intervient sur ce capital

après application de la franchise et du seuil d'intervention et selon la valorisation du raisin (Tableau n° 1). A titre indicatif, le coût de cette assurance avant subvention varie généralement entre 50 € et 400 €/ha selon les appellations et le capital garanti.

A noter que le déficit de récolte peut conduire à un handicap commercial au cours des années suivantes, qui n'est généralement pas pris en compte par l'assurance.

	Assurance grêle	Assurance multirisque climatique	
		Contrat à la culture	Contrat à l'exploitation
Evènements garantis	Grêle (+ tempête obligatoire)	17 aléas dont le gel, la tempête, la grêle, l'inondation et la sécheresse. Possibilité de couvrir la perte de qualité par extension	
Obligation de couverture	Couvrir l'ensemble de la sole de la culture assurée	Assurer 70 % des cultures de vente et 100 % pour la vigne et les prairies	Assurer 80 % des cultures de vente et au moins deux natures de récoltes
Base indemnitaire	Décompte des pertes sur terrain	Décompte des pertes sur terrain	
Choix des rendements	Libre	Rendements historiques moyens (+15 % sur option)	
Déclaration de sinistre	OUI	OUI	
Expertise terrain	OUI	OUI pour tous les aléas	
Seuil de déclenchement	Fonction du choix de la franchise	30% (rachat possible)	
Franchise	Au choix (10 à 30 %) et souvent à la parcelle	30 % (rachat possible dont grêle à 10 % à la parcelle)	20 %
Gestion	Simple déclaration d'assolement	Lourdeur et obligations administratives	
Subvention	NON	OUI (deux niveaux de subvention selon les choix de garanties : 65 % et 45 %)	
Prime (taux)	1 à 3 % (en fonction de la culture et de la franchise)	1,5 à 12 % (avant subvention) et 1,5 à 8 % net de subvention selon les options choisies	1,5 à 10 % (avant subvention) et 1,5 à 5 % net de subvention selon les options choisies

Tableau 1 : synthèse des différents contrats d'assurance concernant les aléas climatiques agricoles, 2018 - Source www.pleinchamp.com

Dispositif de réserve climatique

Ce dispositif, alimenté au cours des bonnes années, permet de compenser le manque à gagner des années déficitaires notamment en lien avec des accidents météorologiques (gel, grêle, sécheresse, etc). La procédure de « réserve qualitative », initiée depuis longtemps en Champagne, se développe maintenant dans de nombreuses autres régions avec le dispositif de Volume Complémentaire Individuel (VCI). C'est un volume de vin produit au-delà du rendement annuel de l'appellation et mis en réserve, qui peut être utilisé ultérieurement, notamment à la suite d'aléas climatiques.

Conclusion

Parallèlement à ces mesures indirectes, la mise en place de dispositifs de protection peut être envisagée pour des régions avec une forte fréquence de risque.

Chapitre 1

La grêle

Mécanisme

Les dégâts sur vignes, provoqués par des grains de glace d'au moins 5 mm de diamètre et d'une densité proche de 0,9, (selon la définition officielle), peuvent être très importants: défoliation, destruction des futurs sarments et des bourgeons. Ils peuvent affecter la récolte sur plusieurs années (Tableau n° 2).

CLASSE	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Diamètre maximal des grêlons	<1	1-1.9	2-2.9	3-3.9	4-4.9	>=5
Terme usuel	grésil, petit pois	bille, grain de raisin, cerise	œufs de pigeon, pièce de 2 euros	noix, balle de ping-pong	œuf de poule, balle de Golf	pêche, pomme, orange, balle de tennis
Energie cinétique moyenne	10 J.m ²	50 J.m ²	200 J.m ²	500 J.m ²	800 J.m ²	
dommages types	accidents de la route, fleurs coupées	dommages aux vignes, vergers, tabac	dommages importants aux céréales, légumes, arbres	dommages à 100% sur toute culture, vitres cassées, voitures endommagées	Paysage d'hiver, animaux tués, personnes blessées, avions au sol endommagés	Évènement extrêmement dangereux, risque mortel
couverture moyenne du sol	0.1	0.15		0.35	0.35	

Tableau n° 2 : échelle de grêle - source ANELFA.

Avec de fortes différences de température entre l'air au-dessus du sol et le sommet de la troposphère (vers 12 km d'altitude), et lorsque les basses couches de l'atmosphère sont riches en humidité, des nuages de convection appelés cumulonimbus se développent pour transférer vers le haut le surplus d'énergie de la basse atmosphère. Au sein de ces nuages, des processus microphysiques vont provoquer la condensation de la vapeur d'eau en grêle. Avec peu de noyaux de congélation dans l'air, les cristaux de glace sont rares et les grêlons ascendants deviennent assez gros pour tomber à grande vitesse jusqu'au sol (Figure n° 2).

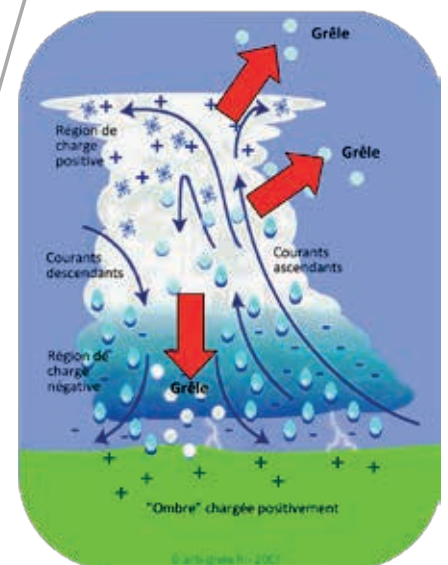


Figure n° 2 : schéma de la formation de la grêle, source www.antigrele.fr

Les facteurs favorables à la formation d'orages sont souvent présents l'été : air instable du sol jusqu'en altitude, humidité relativement élevée dans les bas niveaux, air sec en altitude, approche d'un front froid ainsi qu'un relief qui génère un courant d'air ascendant (collines, montagnes). Les cumulonimbus, caractérisés par leur forme d'enclume, génèrent les plus gros grêlons (Figure n° 3).

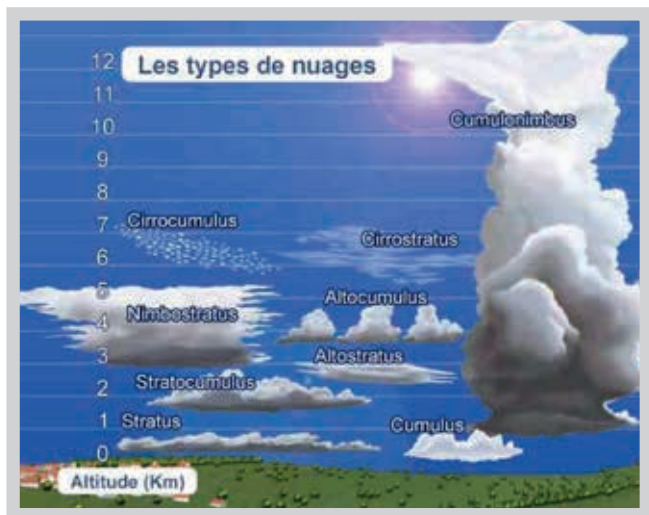


Figure n° 3 : altitude des différents nuages, schéma Mille et une production, www.pinterest.fr.

En France, le couloir de fréquence d'orages, avec un potentiel de grêle, remonte majoritairement du Sud-ouest au Nord-est en passant par le Massif Central et la Franche-Comté (Figure n° 4).

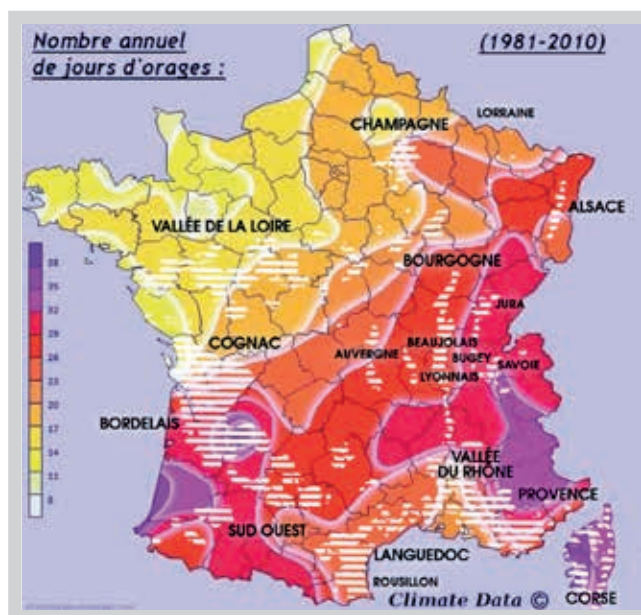


Figure n° 4 : fréquence de risque de grêle en France, extrait de l'ouvrage « le risque grêle en agriculture », F. VINET, éditions Technique et Documentation, 2000.

Comme le précise F. Vinet :

Pour qu'il y ait formation de grêlons, il faut une température inférieure à 0 °C (en réalité - 15°C) dans le nuage. En France, en été, l'isotherme 0 °C se trouve en moyenne à 3 000, voire 4 000 mètres d'altitude. Seuls les nuages à fort développement vertical sont capables de porter les gouttelettes d'eau à une telle altitude et de les y maintenir suffisamment longtemps pour que les grêlons aient le temps de se former ».



Chapitre 1

La grêle

Méthodes de détection d'un d'orage de grêle

Plusieurs méthodes peuvent être envisagées

- **Identification visuelle**

La grêle se forme généralement dans des nuages de type cumulonimbus reconnaissables à leur forme d'enclume, l'intensité de l'activité électrique, et un front nuageux de teinte légèrement « verte ». Une connaissance historique et empirique permettent d'appréhender le risque mais avec une fiabilité de prévision aléatoire.

- **Services d'alertes météorologiques**

Il existe de nombreux services publics ou privés ainsi que des sites Internet qui proposent différentes informations météorologiques, dont la prévision d'orages et de grêle. Généralement un système d'alerte local est transmis par e-mail ou SMS. Les radars météorologiques Doppler, utilisés pour ces informations, présentent une bonne fiabilité mais avec une faible précision (localisation, durée, heures).

Principe de fonctionnement d'un radar météorologique

Le radar météorologique

La mesure radar repose sur le principe de la réflexion des ondes électromagnétiques rétrodiffusées par un ensemble de gouttes de pluie. Les radars météorologiques ne mesurent pas l'intensité des précipitations (mm/h), mais déduisent de la mesure de la puissance rétrodiffusée, une réflectivité radar. Répartis sur l'ensemble du territoire, ils ont une portée d'environ 100 km pour mesurer la quantité de précipitations et d'environ 200 km pour détecter des phénomènes dangereux.

Outre l'intensité des précipitations, les radars météorologiques fournissent également, en exploitant l'effet Doppler, des informations sur le vent dans les zones précipitantes. Les radars les plus récents sont capables de faire la distinction entre les types de précipitations (pluie, neige, grêle...).

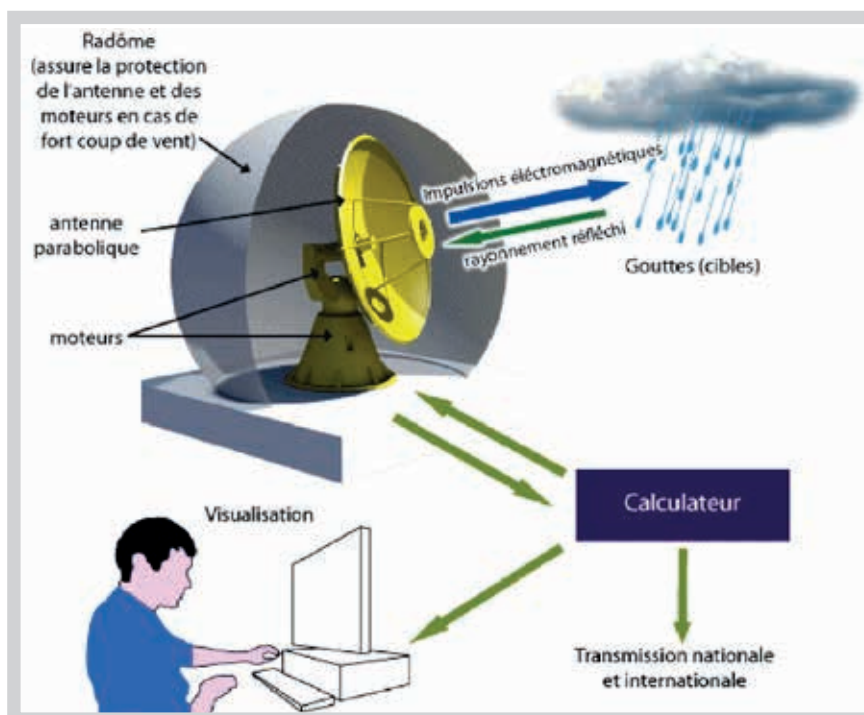


Figure n° 5 : principe de fonctionnement d'un radar météorologique (schéma : MétéoFrance)

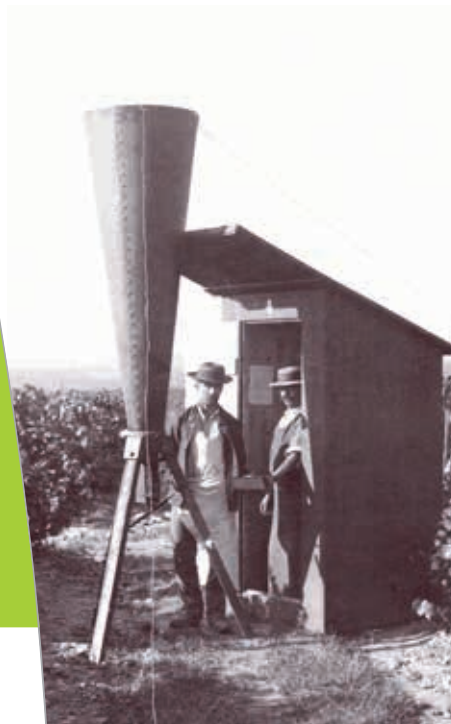
Détection et avertissements

Historique de la protection contre la grêle

De tout temps, l'homme a cherché à se protéger vis-à-vis des fléaux climatiques. Processions et prières furent parmi les premiers remèdes ! On tenta aussi de planter dans le sol des perches surmontées de signes magiques... Outre les cloches de l'église, dont le bruit était censé éloigner le risque, on eut aussi recours à l'artillerie...

À partir du XIX^e siècle, on utilisa des canons produisant des ondes de choc sonores, en faisant exploser un mélange propulsé vers le ciel par un grand entonnoir. Objectif : ébranler les couches d'air et modifier le champ électrique.

En 1900, on comptait jusqu'à 15 000 canons en Italie qui provoquèrent la mort de 7 personnes et en blessèrent 78. Ils furent finalement abandonnés pour manque d'efficacité.



Canons anti-grêle au début du siècle dans le Beaujolais, collection ville de Villefranche, publié dans l'ouvrage « protection des cultures et travail des hommes », édition le carrousel, 2001.

La France est maintenant dotée d'un réseau assez dense de radars, qui a permis au cours des dernières années de fiabiliser les prévisions météorologiques (Figure n° 6), qui peuvent être transmises par smartphone. Les cartes radar permettent également de comprendre les phénomènes extrêmes qui peuvent intervenir, à l'image des fortes précipitations et de l'épisode de grêle du 26 mai 2018 dans le Bordelais, qui a ensuite affecté la région de Cognac (Figure n° 7).



Avertissements météo, par smartphone
Source Météo France.

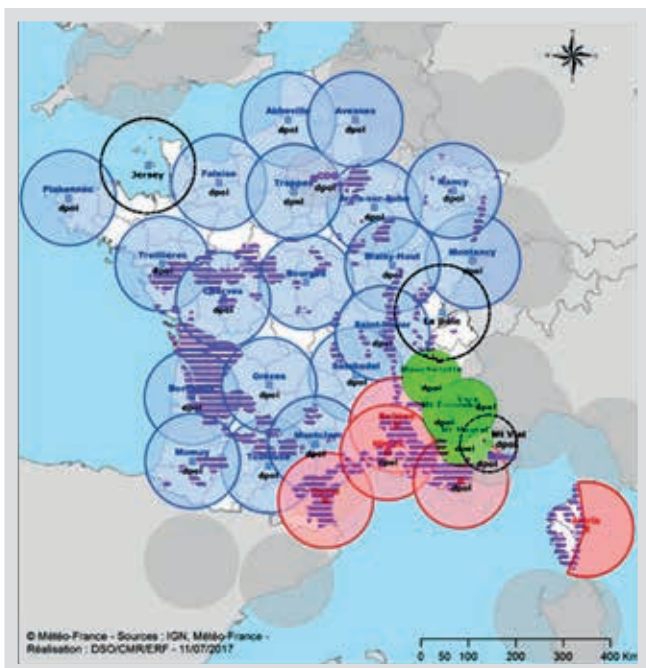


Figure n° 6 : réseau de radars de Météo-France (Juillet 2017)



Figure n° 7 : carte radar soulignant les fortes précipitations et l'épisode de grêle du 26 mai 2018 dans le Bordelais qui a ensuite affecté la région de Cognac - Source meteo60.fr

Chapitre 1

La grêle



INSTITUT NATIONAL
DE L'ORIGINE ET DE
LA QUALITÉ

Dispositifs de protection

Face à des événements épisodiques, hormis pour les filets, il est difficile de démontrer statistiquement l'efficacité des systèmes de limitation de l'impact de la grêle. Différents dispositifs, parfois développés notamment en arboriculture, tels que les canons acoustiques et fusées, sont assez peu développés en

viticulture, en raison des nuisances et/ou des contraintes réglementaires qui en résultent, ou encore parce que leur efficacité est remise en cause. Dans les régions viticoles, ce sont majoritairement les dispositifs par ensemencement d'iodure d'argent qui sont le plus souvent privilégiés.

Protection par filet

Le dispositif le plus efficace consiste à disposer le filet au-dessus des rangs, à plat, en « couverture totale ». Ce système est adapté aux vignes larges (à partir de 3 mètres), car les filets doivent pouvoir s'ouvrir pour déverser la grêle accumulée entre les rangs en cas de poids trop important. Ce système permet d'assurer les interventions manuelles et mécaniques dans la vigne, mais il nécessite une infrastructure lourde pour l'installation, avec un impact esthétique. L'investissement est important, de l'ordre de 20 à 25 000€ par hectare, pour un écartement de rang de 3 mètres. Ce dispositif, non autorisé en France pour les vins sous indication géographique, est généralement réservé aux raisins de table.

Pour les vignes dont l'écartement est inférieur à 3 mètres, les filets de type « monorang » ou « rang par rang » sont plus adaptés. Les filets anti-grêle comportent un maillage (mailles carrées de 5x5 mm ou 7x3 mm selon les modèles), destiné à empêcher les grêlons d'atteindre le feuillage et les grappes.

Fabriqués en polypropylène extrudé ou en polyéthylène tissé, éventuellement renforcés par des fils tressés, ils protègent la vigne pendant les tempêtes de grêle du printemps et de l'été, jusqu'à l'époque de la maturation.

Ils sont posés dès le début de la croissance de la vigne, et maintenus dans la partie supérieure du filet avec des fils en plastique au niveau du haut du palissage, et par d'autres en bas du filet, pour assurer une protection face au vent et une certaine rigidité. Les barres peuvent être relevées lors des travaux en vert, ou lors de la vendange. Certains dispositifs, dont le coût est plus élevé, sont équipés d'un support enrouleur permettant le remontage du filet avec une manivelle.

Le coût d'installation, main-d'œuvre y compris, varie généralement selon les modèles, entre 10 000 et 25 000€ par hectare.

Aspect réglementaire des AOC/AOP

Jusqu'à présent ce dispositif n'était pas autorisé pour les vignes en Appellations d'Origine Protégée. Néanmoins, suite aux conséquences des orages de grêle successifs, la Confédération des Appellations et des Vignerons de Bourgogne (CAVB), les Chambres d'Agriculture de Côte d'Or, de Saône-et-Loire et de l'Yonne ainsi que le BIVB, ont présenté à l'INAO en 2015, pour le compte de certains ODG, une demande d'expérimentation de filets anti-grêle, accompagnée d'un protocole pour une durée d'essai de 3 ans, sur une superficie d'environ 23 ha.

Ont été testés des filets de protection verticaux installés le long des rangs, de plusieurs couleurs et de mailles différentes :

- filet vertical simple Paligrêle (vert/maille 5x5 mm) et Provigne (vert/maille 5x5 mm) ;
- filet vertical (Filpack Whailexgris, maille 7x3 mm) avec remontée par manivelle (pause temporaire lors d'un risque de grêle) ou permanente (relevé pour les travaux de la vigne). Les paramètres suivis concernaient notamment les points suivants : maladies et aléas climatiques, évaluation de la qualité de la pulvérisation, suivi des températures et de l'humidité relative, du rayonnement lumineux et du rayonnement photosynthétique actif, croissance végétative et surface foliaire, stades phénologiques, maturité des raisins, vinifications et suivi œnologique et organoleptique.

A partir des résultats obtenus, le comité national de l'INAO du 20 juin 2018 :

- note que la présence de filets mono-rang verticaux n'a qu'une influence très limitée sur le mésoclimat de la vigne et ne modifie pas artificiellement et de façon substantielle les caractéristiques fondamentales du milieu naturel concerné ; ce type de matériel est donc compatible avec une production en AOC ;
- considère qu'il ne peut se prononcer sur l'impact de filets horizontaux en couverture au-dessus des rangs et considère en conséquence que ce type de matériel ne peut être autorisé pour une production en AOC ;
- attire l'attention des opérateurs sur le fait que la présence des filets doit être limitée dans le temps notamment afin de limiter l'effet d'ombrage ; à cette fin, il recommande aux fabricants de travailler sur des solutions permettant de retirer facilement et temporairement les filets, ou sur le maillage (interception du rayonnement lumineux).

L'INAO précise que l'expérimentation bourguignonne a été menée globalement avec une faible pression de maladies fongiques (botrytis, mildiou, oïdium, black-rot) et qu'une certaine vigilance doit porter sur un risque potentiel d'accentuation de ces maladies, en lien avec un "entassement" de la végétation. L'INAO souligne également d'autres risques potentiels liés à l'installation des filets :

- effet d'ombrage (variable selon notamment la couleur et le type de maille) avec un impact éventuel sur la photosynthèse et la maturité ;
- diminution possible de l'efficacité de la pulvérisation, notamment au niveau des grappes et de la face inférieure des feuilles.

Filet anti-grêle remonté à Morey-St-Denis en Bourgogne (photo: Christine Monamy)



Filet anti-grêle enroulable avec une manivelle (région de Franconie, Allemagne)



Protection par ensemencement des nuages

Le principe de la lutte contre la grêle consiste à introduire artificiellement dans les nuages des noyaux glaçogènes d'iode d'argent, de façon à augmenter le nombre de cristaux de glace et à réduire la dimension des grêlons. Ceux-ci tombent alors plus lentement et fondent en totalité ou en partie avant d'atteindre le sol (Figure n° 8).

L'ensemencement des orages à grêle, mis au point en France par l'ANELFA (Association Nationale d'Etude et de Lutte contre les Fléaux Atmosphériques), est assuré par des réseaux terrestres de générateurs à vortex qui dispersent les noyaux glaçogènes d'iode d'argent vers les racines des courants ascendants des futurs orages.

Diverses études permettent de comprendre qu'une action isolée et limitée ne pourra pas avoir d'effet sur un orage et que le dispositif de l'ANELFA sur une large zone, même s'il est plus difficile à mettre en place, répond mieux au schéma structurel des orages. La zone à ensemen- cer dépendant de la vitesse et de la direction de déplacement des orages, les générateurs sont installés sur l'ensemble d'un territoire avec un espacement d'environ 10 km, afin de couvrir le maximum de situations (Figure n° 9).

Diffuseur d'iode d'argent
Source ANELFA.

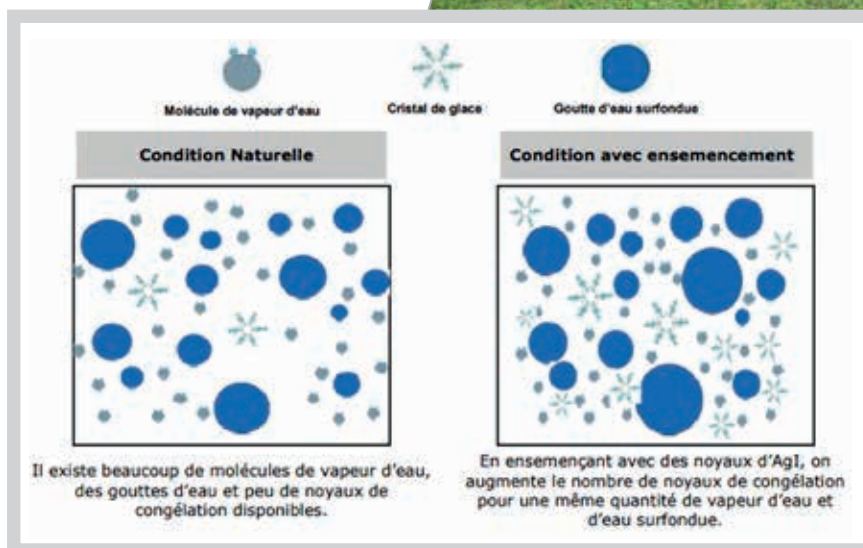


Figure n° 8 : principes de l'ensemencement anti-grêle - Source : www.anelfa.asso.fr

Nouveau dispositif

Un dispositif plus récent « Laïco », encore expérimental, associe un service de détection, en temps réel, du risque orageux et un nouveau système de diffusion : des ballons gonflés à l'hélium, sur lesquels sont embarquées des torches chargées de sels hygroscopiques.



Ballons gonflés à l'hélium LAÏCO

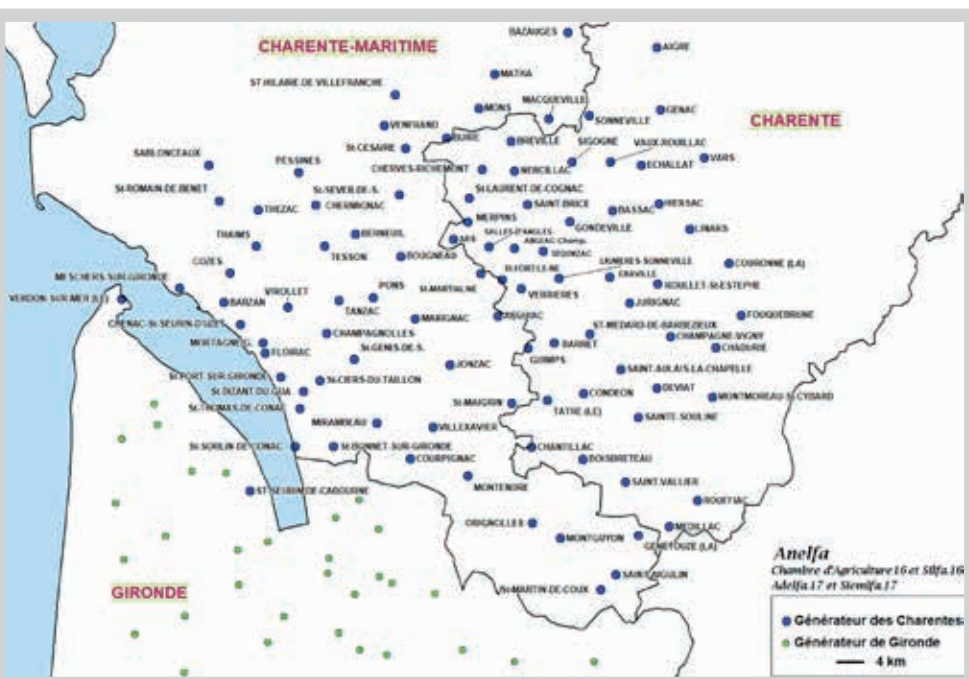


Figure n° 9 : un exemple de réseaux terrestres de générateurs à vortex d'iode d'argent dans la région de Cognac - Source ANELFA.

Chapitre 1

La grêle

Stratégie de taille éventuelle après la grêle

Dans quelles situations faut-il retailler la vigne après des dégâts de grêle précoce ? Source: www.vignevin-sudouest.com

Selon le regretté professeur Boubals de l'Ecole de Montpellier, dans les régions méridionales, il faut considérer la mi-juin (du 15 au 21 juin) comme date butoir pour retailler la vigne après des dégâts de grêle et permettre un aoûtement suffisant des rameaux de la nouvelle végétation.

Il est ainsi important de distinguer :

- **les chutes de grêle précoce** (avant le 15 juin).

Si tous les fruits sont détruits et que les rameaux sont éclatés et pelés jusqu'à leur base, la taille s'impose. L'objectif est de favoriser la repousse de sarments pouvant servir de support à la prochaine taille hivernale, et d'éviter les développements faibles et buissonnants sur l'ensemble des parties blessées de la souche. Si les rameaux herbacés ne sont ni éclatés ni pelés et qu'il reste des inflorescences intactes, il est inutile de retailler, le développement des entre-cœurs contribuera au renouvellement de la végétation.

Le CIVC considère qu'en situation septentrionale, il n'est pas nécessaire de retailler, ce qui est nettement moins coûteux. L'accent doit être majoritairement porté sur la protection phytosanitaire contre le mildiou, afin de permettre un bon aoûtement et une bonne mise en réserve.

- **les chutes de grêle tardives** (fin juin, juillet et août), où il faut laisser la vigne en état et ne jamais envisager la taille.

Le développement des entre-cœurs permettra, plus ou moins, de reconstituer une nouvelle végétation. Sur les jeunes vignes ou les ceps faibles aux réserves limitées, il faut soulager la souche en faisant tomber les grappes. Sur les vignes adultes, afin de ne pas épuiser les réserves, il est souhaitable, si le coût est supportable, d'éliminer les grappes atteintes.

Comment retailler la vigne après des dégâts de grêle précoce ?

L'objectif de cette taille est de maintenir 4 à 5 pousses vigoureuses par souche : dans le cas de vignes conduites en Cordon de Royat ou en gobelet, la taille est facilitée, puisqu'il suffit de sectionner au sécateur les rameaux à un demi-centimètre du bois du courson.

Il est également possible sur les coursons de rabattre au sécateur le bourgeon du haut du courson, de façon à faire démarrer le bourrillon. Après le nouveau débourrement, on veillera à surveiller le nombre de nouvelles pousses et à en supprimer si nécessaire sur les vignes taillées en Guyot simple ou double; il faut aussi rabattre les longs bois en laissant 2 à 3 bourgeons à leur base.

Les bourgeons verts mais pelés par la grêle sont rabattus au sécateur à un demi centimètre. C'est le cas notamment des pousses vertes pelées, portées par les coursons. Aucune fertilisation azotée n'est nécessaire, car l'azote apporté ne sera pas disponible au moment du redémarrage des yeux et pourra accentuer la casse (vent) et les risques de Botrytis.

Pour la même raison, il faut surveiller le développement de la végétation et la palisser le plus soigneusement possible.

Comment tailler les vignes fortement grêlées en été ?

Lors de la taille des vignes grêlées, qui doit être réalisée le plus tardivement possible, plusieurs précautions doivent être prises :

- **Sur les plantations de l'année :** l'aoûtement des sarments n'étant pas toujours satisfaisant, on peut éventuellement butter les jeunes plantations afin de les protéger du gel.

- **Sur les vignes âgées de 2 à 3 ans :** l'évaluation des dégâts se fait en enlevant les lambeaux d'écorce du jeune tronc. Si les lésions arrivent jusqu'au bois et que la nécrose est constatée, il ne faut pas hésiter à rabattre le tronc de 2 à 3 bourgeons au-dessus du sol pour reconstruire un nouveau tronc sur les vignes adultes : les dégâts concernant uniquement les sarments, ceci peut poser des problèmes à la taille. Les ébauches de fleurs se différenciant dans les bourgeons de juin à juillet, les grêles de fin juillet ou d'août auront peu de conséquences sur la fertilité de l'année suivante. On essaiera de conserver sur les tailles courtes les coursons peu ou pas blessés.

Pour les vignes taillées en Guyot, il est assez facile de trouver un long bois peu ou pas blessé par les grêlons. Il est également possible de passer en Cordon de Royat pour une année.



Chapitre 2

Le gel

Le gel de printemps

Mécanisme et impact

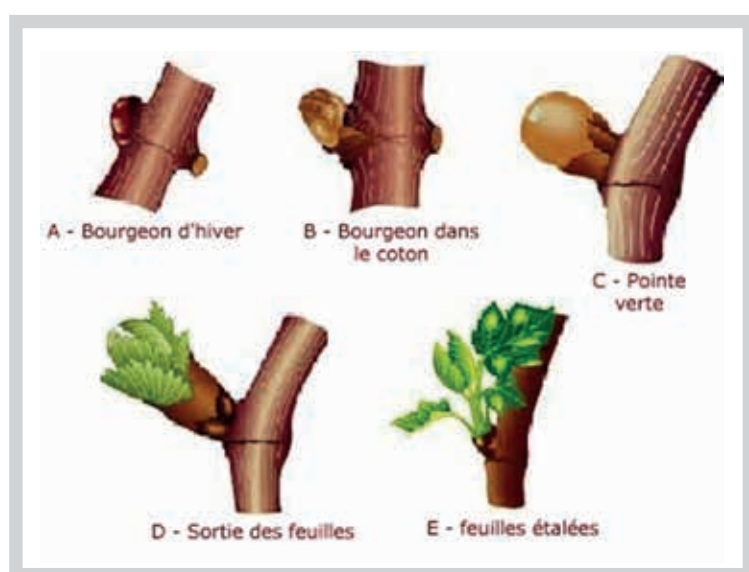


Figure n°10 : phénologie de la vigne au stade C (pointe verte) www.agro-montpellier.fr

Le débourrement de la vigne est caractérisé par une reprise d'activité du bourgeon latent. Une fois les besoins en froid satisfaits pour assurer la levée de dormance des bourgeons, c'est un cumul de températures chaudes qui gouverne leur développement. Lors de la croissance et du développement du futur rameau, celui-ci écarte la bourre et les écailles (deux éléments de protection des tissus endogènes et méristématiques du bourgeon). Ce sont les stades B et C de Baggioolini (Figure n° 10).

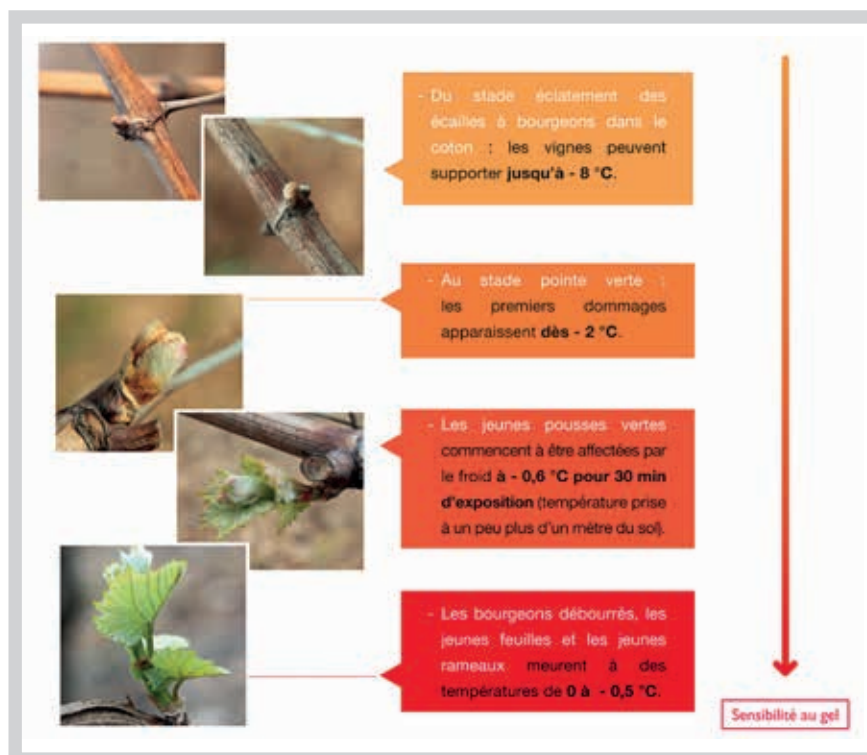


Figure n°11 : sensibilité des organes végétaux de la vigne au gel. Source : plaquette "les moyens de lutte contre le gel, BIVB, 2018".

La vigne est sensible dès l'apparition des jeunes feuilles qui sont riches en eau. En situation de forte humidité, les jeunes pousses peuvent geler à partir de -2 à -3°C, alors qu'en situation plus sèche (hygrométrie inférieure à 60 %), elles peuvent résister jusqu'à -4 voire -5°C (Figure n° 11). Les symptômes sont variables et dépendent du stade végétatif. Lors du débournement, les bourgeons et les rameaux mesurant

quelques centimètres brunissent et se dessèchent. Si la gelée est faible, seuls les feuilles hautes et l'apex sont affectés (Figure n° 12). Ces gelées n'entraînent jamais la mort de la vigne. Si la gelée est intense, il peut y avoir destruction totale de la végétation qui brunit après le dégel et prend un aspect de «*salade cuite*», avant de se dessécher, ce qui peut complexifier la taille de l'année suivante.



Les jeunes feuilles et l'apex de ce rameau ont pris une teinte noirâtre à brune.



Les jeunes feuilles et les inflorescences de ce rameau ont pris une teinte noirâtre à brune et certaines feuilles gelées donnent l'impression d'avoir été ébouillantées.



La totalité des jeunes pousses de ce cep de vigne est affectée par le gel. Ce sont surtout les apex et les plus jeunes feuilles qui sont le plus touchés.



Cette pousse a été totalement détruite par une forte gelée. Après le dégel, les tissus brunissent et se dessèchent.

Figure n° 12: Impact du gel de printemps sur la vigne. Photos: Jonathan Gaudin/ephytia.inra.fr

Le gel d'hiver

Les gelées d'hiver constituent un facteur limitant pour la culture de la vigne. En fonction des régions, il convient de cultiver des cépages plus ou moins résistants au froid. Notons que, si l'abaissement de la température est progressif, les valeurs négatives sont très bien supportées par la vigne, qui se met au fur et à mesure en repos végétatif. Cependant, une durée trop longue de froid intense peut provoquer la formation de gélivures, de fentes radiales pénétrant plus ou moins profondément dans le tronc à la base et au sommet des pieds de vigne.

Les situations les plus à craindre sont les hivers doux propices à une reprise prématurée de la vigne qui commence à débourrer. Il suffit d'un brusque retour du froid pour causer des dommages importants.

On observe alors la destruction des bourgeons qui s'affaissent facilement. Les tissus gelés montrent une teinte foncée à brune et finissent par se nécroser. De nombreux bourgeons peuvent ne pas se développer, dans ce cas des bourgeons secondaires et tertiaires finissent par apparaître.

En soulevant l'écorce des sarments gelés, on constate une coloration noirâtre à brune du cambium et du liber qui ont été détruits. La section des bras et des rameaux montre une coloration rouge du liber. Fréquemment le bourrelet de soudure de greffe est atteint, tandis que les racines sont occasionnellement altérées, les plus petites étant les plus sensibles.

Source : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/7062/Vigne-Gelees>

Charrue pour recouvrir la vigne en hiver, pratique indispensable dans les régions très froides, telles que le Québec ou la région du Gansu en Chine.



Chapitre 2

Le gel

Les différents types de gel

La vigne peut être confrontée à différents contextes de gel. Le refroidissement de l'air peut être associé à l'arrivée d'une masse d'air froid du nord de l'Europe (gel advectif) et plus souvent, par temps clair, à une perte calorifique du sol non compensée par le rayonnement solaire (gel radiatif) (Figure n° 13).

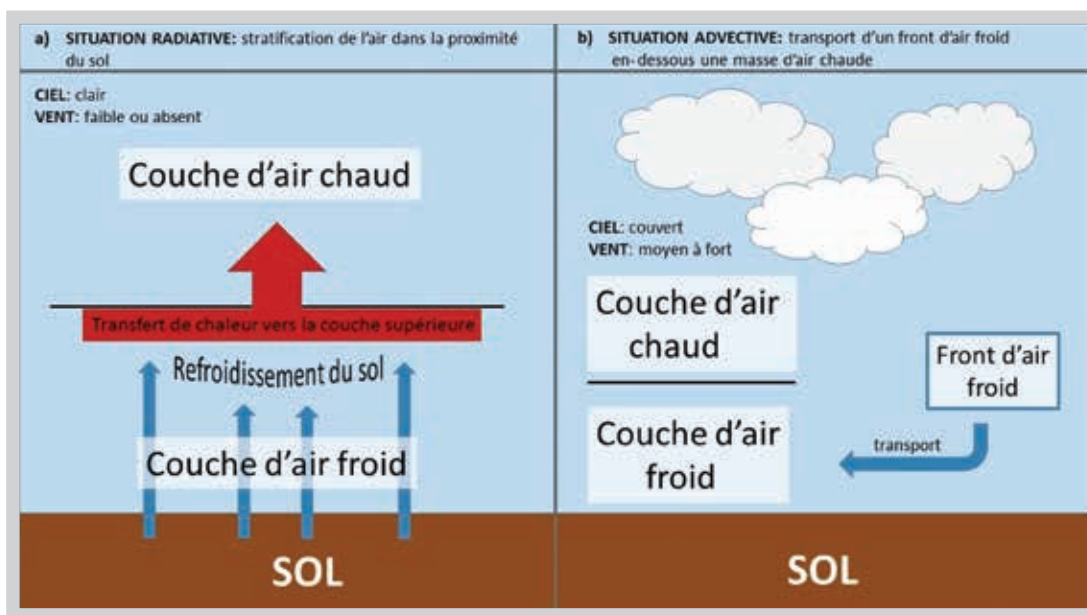


Figure n° 13: représentation schématique des processus de formation des gelées radiatives et advectives, schéma C. GAVRILESCU, 2016.

Gel advectif (gelées noires)

Rare dans les vignobles français, il est caractérisé par l'arrivée d'une grande masse d'air froid, accompagnée de vent issu généralement du nord-est de l'Europe. Il n'y a pas d'inversion de températures en altitude en raison du vent qui homogénéise les couches d'air. C'est le principal mécanisme du gel hivernal, mais il peut également être la cause d'un gel printanier, notamment avec l'avancée de la date de débourrement, en lien avec les changements climatiques.

Gel radiatif (gelées blanches)

C'est le type de gel le plus courant, il est caractérisé par une atmosphère stable avec un ciel clair (pas d'effet de serre). Il se produit lors du refroidissement nocturne, avec une présence de vent faible ou nulle.

- Si le ciel est nuageux, une partie du rayonnement est captée et retourne vers le sol.
- Si le ciel est clair, l'interception des rayonnements par les nuages est impossible et la perte de chaleur est plus grande.

Parallèlement à l'effet de l'altitude (Températures inférieures d'environ 0,6 degré par 100 mètres d'altitude) les gelées sont influencées localement par plusieurs facteurs.

Description des différentes formes de gel

Source : gel de printemps en vergers, Chambre d'Agriculture du Gard

Le gel de rayonnement nocturne

C'est le principal responsable des dégâts observés sous nos latitudes.

Le rayonnement solaire (RS) : le soleil réchauffe le sol au cours de la journée.

Le rayonnement thermique (RT) : le sol perd de l'énergie par rayonnement infrarouge en permanence.

Le rayonnement atmosphérique (RA) : c'est la restitution par l'atmosphère de tout ou partie du rayonnement thermique.

Ce dernier est piégé par les nuages ou l'humidité de l'air.

RN : Rayonnement net = RT-RA

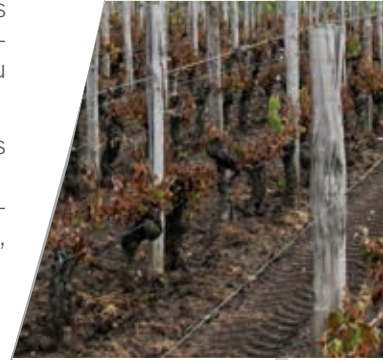
RA : Rayonnement atmosphérique

RT : Rayonnement thermique

Le rayonnement atmosphérique sera d'autant plus élevé que la quantité de vapeur d'eau sera importante; c'est le cas en présence de nuages bas et/ou de forte hygrométrie de l'air.

Le mécanisme du gel de rayonnement : les conditions sont favorables au gel de rayonnement si :

- la température du sol est de 0°C. La perte par rayonnement thermique est alors voisine de 310 Watts/m²,
- la nuit est suffisamment longue,
- on note l'absence presque totale de vent,
- l'air a une faible hygrométrie.



Ciel clair

La perte d'énergie et les risques de gel sont importants. En l'absence de nuages, le rayonnement atmosphérique est de l'ordre de 200 W/m² à 250 W/m² en fonction de l'augmentation du taux d'humidité de l'air. Le déficit thermique peut atteindre les 100 W/m². Si l'air est sec et le vent quasiment absent, on peut observer des baisses de température supérieures à 15°C entre le coucher et le lever du soleil, avec de brusques pertes de 2°C à 4°C par heure en fin de soirée.

Les conditions de ciel clair sont favorables à la présence d'un plafond d'inversion de température à une douzaine de mètres au-dessus du sol.

Ciel nuageux

En présence de nuages bas, l'énergie fournie par la surface du sol est absorbée. Sa restitution par rayonnement atmosphérique est de l'ordre de 290 W/m².

La perte exprimée en rayonnement net (RN) n'est que de 20 W/m². On observe un faible refroidissement de surface.

La baisse des températures est inférieure à 1°C pour chaque pallier de 100 m en altitude.

Il n'y a pas de plafond d'inversion.

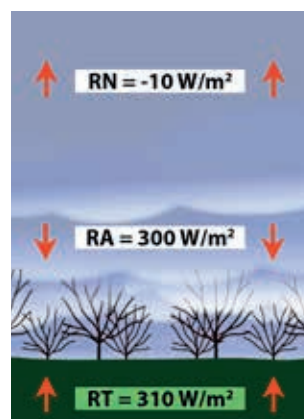
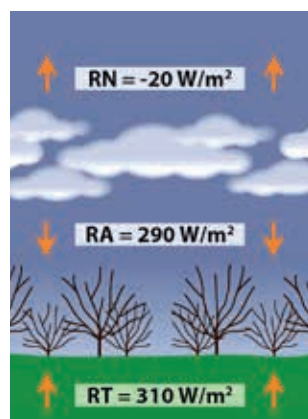
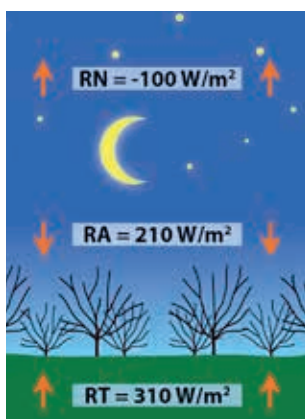
Forte hygrométrie/brouillard

Dans cette situation, le rayonnement thermique est absorbé par les gouttelettes en suspension dans l'atmosphère. Le rayonnement atmosphérique restitue en grande partie l'énergie ainsi emprisonnée, plus celle dégagée par la formation de ces gouttes.

La présence de brouillard est bénéfique, si celui-ci se forme avant que les températures ne deviennent négatives.

Le gel d'évaporation

On observe ce type de gel la plupart du temps quand le ciel se dégage en soirée, suite à des épisodes pluvieux en cours de journée. Le soleil n'a pu assécher les végétaux. Dans ce cas, plus l'hygrométrie de l'air est faible, plus l'eau présente sur les arbres et les fruits en particulier, va s'évaporer. Cette vaporisation de l'eau ne peut avoir lieu que sous l'action de la chaleur fournie par la plante, dont les tissus peuvent alors se refroidir en dessous de zéro degré.



Chapitre 2

Le gel

Facteurs de gel printanier

Parallèlement à l'effet de l'altitude (températures inférieures d'environ 0,6 degré par 100 mètres d'altitude), les gelées sont influencées localement par plusieurs facteurs.

Topographie

Les pentes interviennent dans l'écoulement des brises, aboutissant à une accumulation d'air froid dans les zones plates ou les cuvettes. Les diverses formes topographiques influencent également la vitesse et la direction du vent. Dans les zones gélives (bas de coteau, fond de vallée) l'air froid, plus lourd que l'air chaud, s'accumule dans une zone à l'abri d'une haie, barrière, forêt ou tout autre obstacle qui empêche l'air froid de s'évacuer (Figure n° 14).

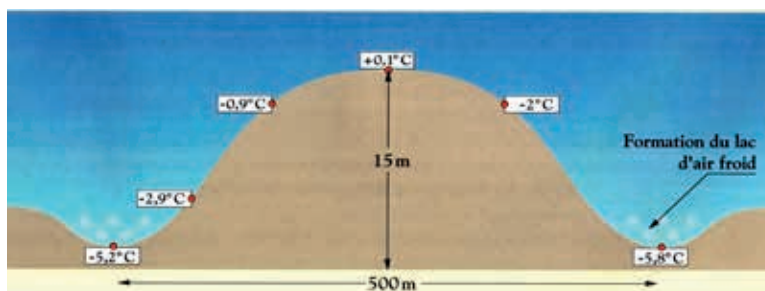


Figure n° 14: température minimale observée dans la zone d'Aizive en Champagne.
Source : Le vigneron champenois/CIVC, novembre 1991

Variabilité de l'impact du gel entre le haut et le bas d'une parcelle du vignoble bordelais. Cette parcelle du bordelais a été partiellement touchée par un épisode de gel. Les ceps affectés comportent des pousses qui brunissent et se dessèchent, tandis que les ceps moins affectés présentent des rameaux restés bien verts. Le secteur touché se situe en contrebas de la parcelle, zone accentuant les effets du gel.
Photo : Jonathan Gaudin/ephytia.inra.fr



Humidité

L'humidité relative, qui croît lorsque la température diminue, augmente la sensibilité des plantes au gel de printemps. Les surfaces humectées préalablement sont plus sensibles aux phénomènes de gel.

Température sèche et humide

La température humide est la température mesurée à l'aide d'un thermomètre légèrement ventilé et entouré d'un chiffon imbibé d'eau. Elle est notée t_h . Elle est toujours inférieure (ou égale) à la température de l'air, car l'évaporation de l'eau qui imbibé

le chiffon, provoque un refroidissement du bulbe du thermomètre.

Si l'hygrométrie de l'air est élevée, l'évaporation de l'eau dans l'air est moins active et le refroidissement du bulbe moins intense. La différence entre la température humide de l'air et sa température sèche est d'autant plus faible que l'hygrométrie de l'air est plus élevée. Cette différence s'annule pour de l'air saturé.

Vent

Le vent peut fortement limiter la diminution des températures, en brassant les couches atmosphériques (mécanisme utilisé par les brasseurs d'air ou les hélicoptères).

Nébulosité

La nébulosité favorise l'absorption du rayonnement terrestre par les nuages, et par rediffusion, compense en partie la perte de chaleur par refroidissement radiatif. Ainsi, les températures sont plus élevées que par temps clair.



Méthodes indirectes de protection

Les méthodes indirectes que l'on applique bien avant le danger de gel, parfois dès la plantation, sont vraisemblablement les plus économiques et les plus efficaces. Ces mesures concernent notamment :

Le choix de la parcelle

Il faut éviter d'installer la vigne dans des zones gélives, particulièrement dans les « creux de terrain » ou les fonds de valon, dans lesquels l'air froid s'accumule et stagne. La présence de haies compactes, d'arbres ou de bandes boisées, en s'opposant à l'écoulement de l'air froid, peut augmenter le risque de gel.

Les pratiques culturales

Une tonte avant le débourrement sur les parcelles enherbées peut limiter l'impact du gel. La taille tardive, ainsi que l'attachage de la vigne après la période de risque de gel, sont parfois également utilisés par les vignerons pour limiter le risque.

Date de débourrement

Chaque variété ou clone présente une précocité différente vis-à-vis du débourrement. Le choix d'un cépage avec un débourrement tardif peut limiter les risques dans les zones fortement gélives. (voir annexe : débourrement des cépages).

Chapitre 2

Le gel

Echos du gel d'avril 2017

Coup de froid sur les vignes françaises



Le Point

Les années se suivent et finissent, malheureusement, par se ressembler. Du 19 au 21 avril dernier, soit jusqu'à trois nuits consécutives selon les régions, les températures sont descendues jusqu'à moins 6 °C, et un second épisode, encore plus grave, a eu lieu dans la nuit du 27 au 28 avril.

Source : Le Point le 30/04/2017

Le Monde.fr

Le gel de printemps touche l'ensemble du territoire. Certains viticulteurs ont presque tout perdu, d'autres sortent les grands moyens pour tenter de sauver leur récolte.

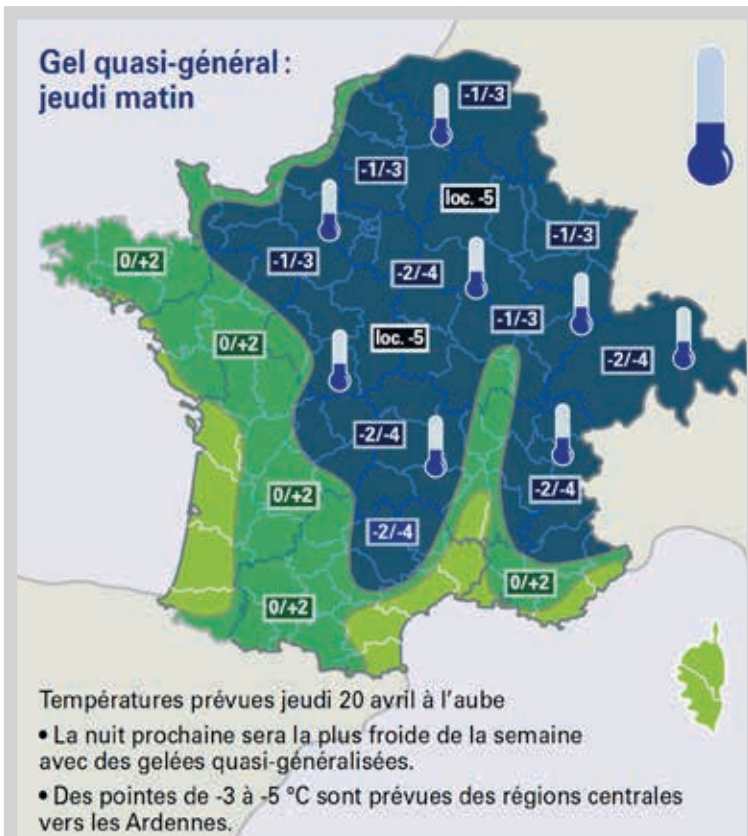
Source : Le Monde 20/04/2017

france bleu

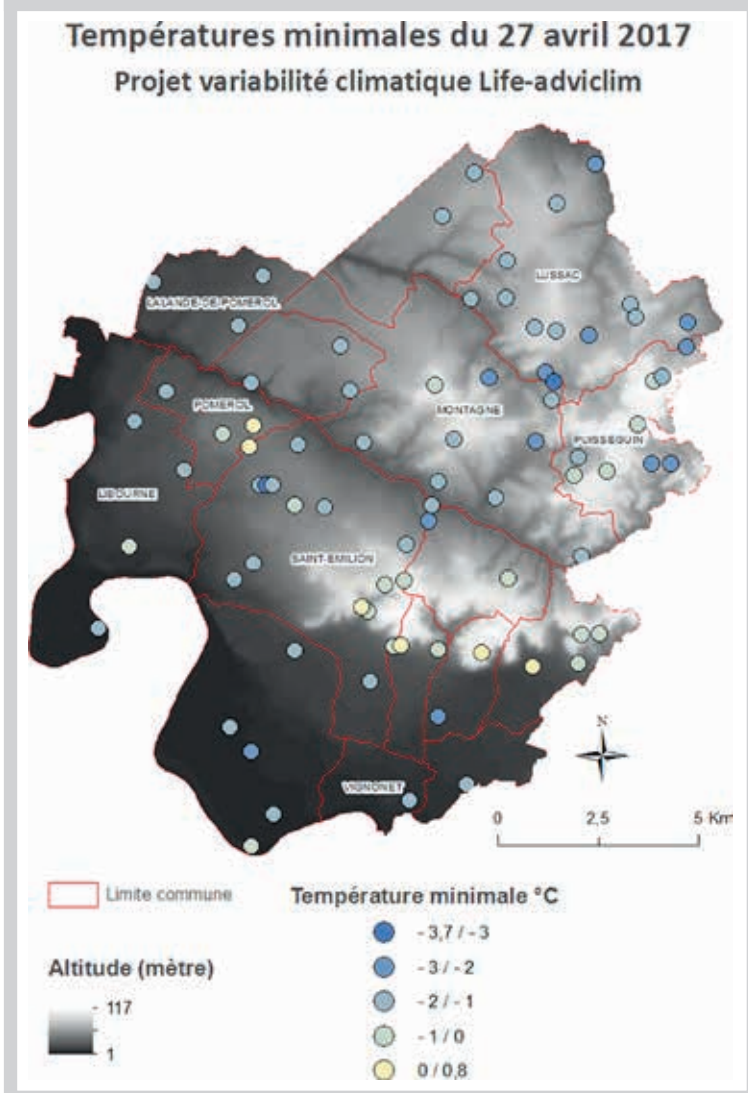
L'État mobilisé pour les viticulteurs après l'épisode de gel dans les vignes de Bourgogne. Ce lundi après-midi, le ministre de l'Agriculture fait savoir aux viticulteurs de l'Est de la France que les services de l'Etat sont mobilisés pour les aider à gérer et assumer les dégâts liés à l'épisode de gel de la semaine dernière dans une grande partie du vignoble de Bourgogne.

Source : France bleue Bourgogne 24/04/2017

Dégâts de gel à un stade avancé de la vigne.
Photo Jonathan Gaudin/ephytia.inra.fr



Prévisions météorologiques du 20 avril 2017
 Source : *meteo-express.com*
 publiée dans la *Revue des Œnologues*,
 numéro 164, juillet 2017.



Variabilité de la température au cours de la nuit de gel du 27 avril 2017 dans les régions viticoles de Pomerol, Saint-Émilion.
 Source : *Laure de Rességuier, Théo Petitjean, Cornelis van Leeuwen (www.adviclim.eu)*



Chapitre 2

Le gel

Protection de la vigne contre le gel

Brassage de l'air

Principe

L'air froid étant le plus dense, on le retrouve au niveau du sol et de la frondaison de la vigne. La température augmente ensuite sur une épaisseur de quelques mètres pour décroître à nouveau avec l'altitude (en moyenne $6^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$) au-delà du « plafond d'inversion » (Figure n° 15). Le brassage d'air a pour objectif d'assurer une homogénéisation de l'air froid à proximité du sol avec l'air chaud en altitude (Figure n° 16 et 17). Parallèlement à l'aspect thermique, le brassage contribue à un assèchement des bourgeons limitant ainsi leur sensibilité au gel. Dans le cas de risques de gel de rayonnement, ce brassage peut être provoqué artificiellement par l'utilisation de tours à vent ou d'un hélicoptère.

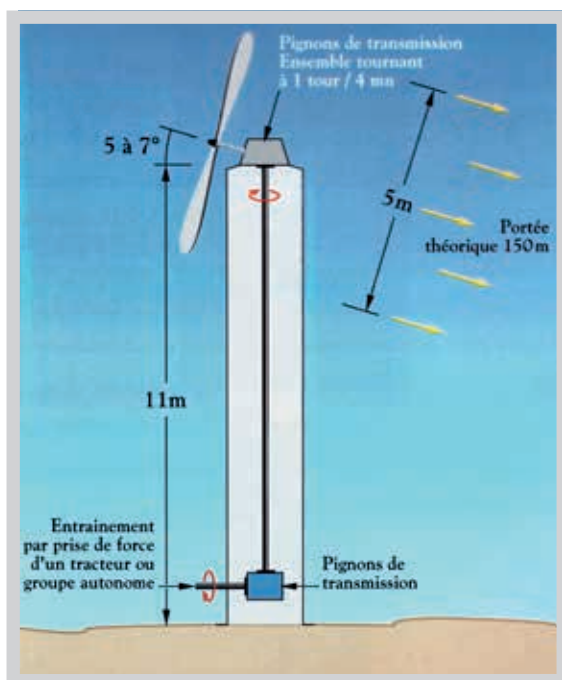


Figure n° 16: coupe d'un brasseur d'air.
Le vigneron champenois/CIVC, 1991.

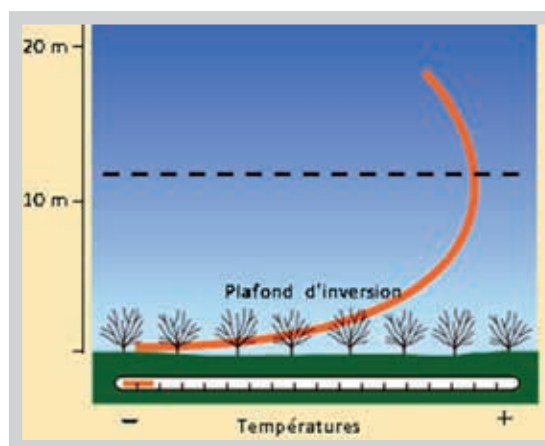


Figure n° 15: principe de l'inversion de température en fonction de la hauteur. Source : plaquette "Gel de printemps", Chambre d'agriculture du Gard.

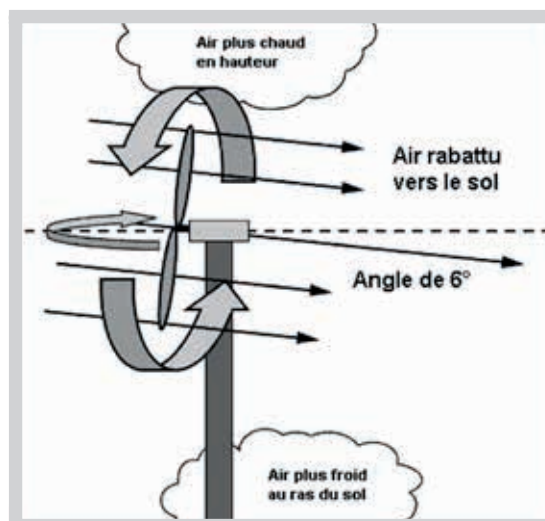


Figure n° 17: schéma de principe d'une éolienne antigel,
Source : www.faiteslepleindavenir.com.

Tours antigel

Brasseur d'air classique,
région de Chinon en Val de Loire.



Tours antigel fixes

Les matériels existant sur le marché sont constitués d'une tour de 10 à 11 mètres de haut, surmontée d'une hélice à axe horizontal, légèrement inclinée, avec un angle de 5 à 7 degrés. L'air est aspiré du côté extérieur de l'hélice et refoulé côté intérieur vers le bas. L'axe de l'hélice tourne sur lui-même au rythme d'une rotation de 360° toutes les 4 minutes environ. C'est le temps maximum au-delà duquel la stratification de l'air se remet en place, accompagnée du refroidissement des basses couches d'air.

Cette technique nécessite peu de main d'œuvre mais génère une nuisance sonore assez importante (70 à 100 dB à 300 m). Certains brasseurs d'air sont associés à un dispositif de chauffage qui permet d'optimiser la protection.



Brasseur d'air avec chauffage,
région de Chinon en Val de Loire.

Tour mobile pliable,
Photo www.riviere-sarl.com



Tours antigel mobiles

Ce sont des éoliennes inclinables et éventuellement repliables que l'on peut déplacer selon les besoins. Elles disposent le plus souvent d'un dispositif de démarrage et d'arrêt automatique. Comparativement aux tours fixes, elles sont généralement moins bruyantes mais avec une surface de protection inférieure (de l'ordre de 3 ha). Leur mobilité est un atout dans des zones à forte valeur patrimoniale.



Tour mobile inclinable
photo www.filextra.fr

Chapitre 2

Le gel

Hélicoptère

L'hélicoptère, qui doit être mobilisé la veille du gel, rabat au sol la couche d'air chaud située en altitude et vide les bas-fonds de l'air froid accumulé pendant la nuit, (avec un passage au même endroit toutes les 20 minutes). Cette technique peut permettre de protéger entre 20 et 30 hectares en conditions de gel radiatif et en l'absence de vent. La nuisance sonore est importante (de l'ordre de 100 décibels à 300 mètres). Parallèlement, une autorisation de vol est nécessaire pour décoller avant le "lever du jour aéronautique". Le coût de la prestation varie généralement de 100 à 300 € par hectare pour chaque intervention.



Protection gel de printemps par hélicoptère.
Photo France Bleu Touraine

Extraction de l'air froid

Dans les terrains ondulés, les couches froides s'écoulent par gravité vers les zones les plus basses de la parcelle (Figure n° 18). L'air froid s'accumule dans diverses zones en raison de la présence de différents obstacles, tels que diverses barrières végétales, des remblais, ou des variations de pente. Le système « Selective Inverted Sink », jusqu'à présent peu utilisé en Europe, comporte une unité de ventilation horizontale qui extrait l'air froid accumulé et l'expulse en dehors de la zone à protéger.

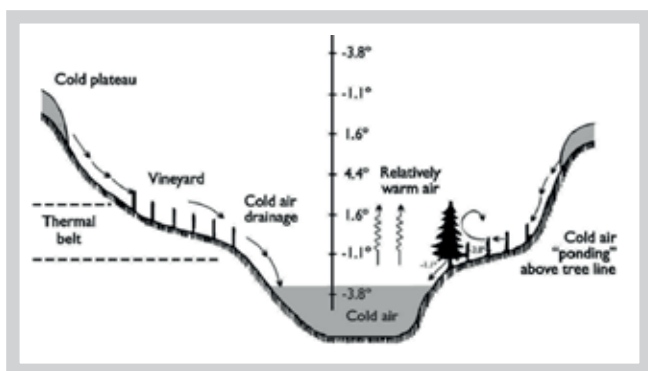


Figure n° 18 : effet de la topographie du site viticole sur la stratification de la température de l'air pendant une période de refroidissement radiatif caractérisée par des vents calmes et un ciel dégagé.

E. Barclay, Poling Hortscience, VOL. 43, october 2008



Dispositif "selective inverted sink". Winery DE LOACH dans la Russian River en Californie.



Gel de printemps

	Tour antigel	Hélicoptère	Aspirateur air froid (Sélective Inverted Sink – SIS)
Principe	Réchauffer l'air froid, plus dense, situé au niveau des bourgeons en le mélangeant à de l'air plus chaud présent en altitude (gel radiatif).		Extraire de l'air froid plus dense près du sol.
Gain thermique	<ul style="list-style-type: none"> • Généralement 1°C (3 °C avec chauffage d'appoint) 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficilement évaluable 	<ul style="list-style-type: none"> • Jusqu'à 4 °C selon certaines publications
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • peu de main-d'œuvre et de surveillance • protection jusqu'à des températures de -4°C • déclenchement automatisé • non polluant 	<ul style="list-style-type: none"> • grandes surfaces couvertes (jusqu'à 20 ha) • peu de main-d'œuvre et de surveillance 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de référence
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • inefficace contre le gel d'advection et les fortes gelées (-6°C à -7°C) • bruit important • dépend de la topographie du site (site en cuvette ou faible pente) • aspect paysager 	<ul style="list-style-type: none"> • inefficace contre les gels d'advection • bruit important • pas de décollage avant 7 h • nécessité d'autorisations spéciales • passage toutes les 4 à 7 mn pour éviter la reformation du gel 	<ul style="list-style-type: none"> • nécessité d'avoir un point bas d'accumulation (sinon mise en place de barrières naturelles possible). • connexion à un tracteur (540 tr/min) • bruit
Coût	<ul style="list-style-type: none"> • 40 000 € pour 5 ha avec une tour fixe • 47 000 € pour 5 ha avec une tour pliable • 30 000 € pour 4 ha avec une tour mobile et pliable (inefficace si le vent > 8 km/h) 	<ul style="list-style-type: none"> • de 170 € à 220 € /h/ha 	<ul style="list-style-type: none"> • 13 000 € à 26 000 € selon les modèles

Tableau 3 : synthèse technico-économique des dispositifs par brassage. Source « Les moyens de lutte contre le gel », BIVB, 2017.

Chapitre 2

Le gel

Dispositifs de chauffage

Combustion de gaz

Ce procédé intervient par réchauffage de l'air et effet de rayonnement dans l'infrarouge. La source d'énergie est le propane qui est distribué aux différents brûleurs sous forme gazeuse à faible pression (de 500g/cm² à 2kg/cm²).

Les brûleurs sont dispersés entre les rangs de vigne à raison de 150 brûleurs/ha. Ils sont placés au ras du sol et la flamme horizontale est libérée dans une succession de tuyères métalliques, qui servent de plaque rayonnante. Ce dispositif est en cours d'évolution, notamment pour réduire significativement son impact carbone, par la production de calories à partir de la combustion d'hydrogène (formation d'eau, sans rejet de CO²).

Combustion de fuel

Ce procédé comporte en moyenne 180 à 200 brûleurs par hectare, qui consomment au maximum 400 l de fuel par heure, soit la moitié de la quantité nécessaire pour les chaufferettes de grande puissance (Figure n° 19).

Son installation nécessite généralement une canalisation enterrée en bout de parcelle. Le matériel est placé en début de campagne avant débourrement et enlevé après la fin des risques de gelées (fin mai).

Combustible solide

Ce dispositif se compose de blocs de paraffine pure conditionnée dans une enveloppe métallique ou d'un mélange de paraffine avec différents matériaux combustibles, tels que de la sciure ou des copeaux de bois ou encore de la graisse animale. Généralement 500 unités par hectare permettent un gain thermique compris entre 2 et 2,5°C.



Système de cuves à gaz mobile - Source : guide pratique viticulture durable en Champagne, Le Vigneron champenois 2018.

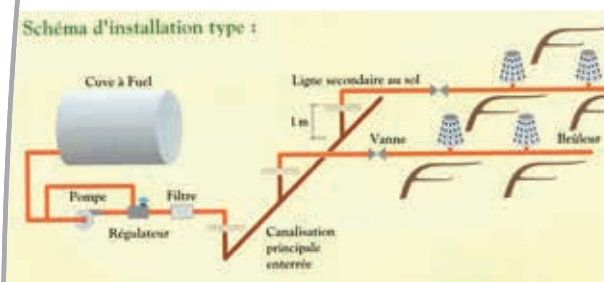


Figure n° 19 : schéma d'installation d'un dispositif de combustion de fuel. Source : les gelées de printemps, le vigneron champenois/CIVC, 1991.



Protection par combustible solide - Photo Stoppel.



Lutte contre le gel par chaufferettes à Chablis
Photo Titouan Rimbault



Convecteur d'air chaud fixe FrostGuard. Photo www.agroprost.eu

Diffuseur d'air chaud
Heat Ranger photo
www.heat-ranger.com



Protection par câble chauffant, photo www.technitrace.fr

Transfert dynamique d'air chaud

Frostguard et Frostbuster

Le dispositif mobile tracté Frostbuster comporte une turbine avec brûleur à gaz qui réchauffe l'air et le diffuse régulièrement sur une distance d'environ 50 mètres de chaque côté. L'air est réchauffé à environ 80 à 100°C en sortie de turbine, avec une consommation de l'ordre 40 à 45 kg de gaz propane à l'heure. Un circuit de circulation dans la parcelle doit être établi pour revenir au même endroit toutes les 7 à 10 minutes au maximum. Il est généralement possible de couvrir une surface de l'ordre de 8 hectares, à condition de pouvoir passer entre les rangs (vignes étroites exclues). Le Frostguard s'inspire du même principe mais reste en poste fixe. Il peut protéger une surface variable selon la topographie (0,5 à 0,7 ha). L'investissement est de l'ordre de 8000 € par appareil avec une consommation de gaz d'environ 20 € par heure de fonctionnement. La nuisance sonore est significative (de l'ordre de 50 décibels à 50 mètres).

Heat Ranger

Un nouveau dispositif, développé en Nouvelle-Zélande, vient d'être produit en Europe. Il est constitué d'un canon oscillant qui fournit de l'air chaud à partir d'un brûleur au gaz. Le constructeur précise qu'un appareil pourrait protéger une surface de 10 à 20 ha, variable selon la configuration locale et l'intensité du gel.

Câbles chauffants

Les câbles électriques chauffants sont fixés le long du fil de palissage, sur lequel les baguettes et surtout les bourgeons sont alignés. Ce système de lutte peut donc nécessiter des adaptations de taille (Guyot simple ou double, Cordon de Royat), car la diffusion du flux de chaleur intervient sur un rayon de 5 à 10 cm. La température de chauffage est comprise entre 28 et 30°C et le démarrage peut être automatisé à partir d'un seuil de température.

L'investissement pour des vignes étroites est de l'ordre de 30 000 à 40 000 euros par hectare (câbles armoires de contrôle, transformateur). Le coût de fonctionnement est assez faible (quelques centaines d'euros par hectare/an), mais il est nécessaire de se relier au réseau électrique et de souscrire un contrat auprès d'un fournisseur, qui doit être négocié au cas par cas. Il est également possible de louer ou d'acheter un/des groupe(s) électrogène(s) puissant(s). Par ailleurs, des précautions doivent être prises pour éviter toute dégradation du câble au cours des travaux de la vigne (taille, palissage, vendanges).

Chapitre 2

Le gel

Protection contre le gel par aspersion d'eau

L'apport d'eau en continu permet d'établir un équilibre eau/glace autour du bourgeon afin de ne pas descendre en dessous de 0°C. Un dispositif de pompes puissantes alimente un réseau d'arroseurs qui quadrille la parcelle. Selon les modèles, les distances entre les rampes et les arroseurs sont généralement comprises entre 15 et 24 mètres (Figure n° 20). Ce dispositif permet une protection jusqu'à - 7 °C en conditions humides et - 9 °C en conditions sèches. La « pluviométrie artificielle » doit être d'au moins 4 mm/h avec un débit global d'environ 40 à 60 m³/h/ha.

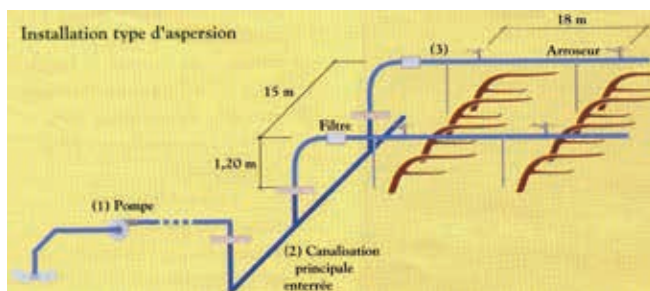


Figure n° 20: schéma de principe de l'aspersion
Le vigneron champenois/CIVC, 1991.

Le déclenchement est délicat, car l'évaporation initiale au début de l'arrosage peut contribuer à diminuer la température et accentuer le gel. L'utilisation, dans différentes zones de parcelle, d'un thermomètre, d'un psychromètre pour mesurer l'humidité de l'air, ainsi que d'un anémomètre, peut permettre à une personne expérimentée d'optimiser la protection. D'un point de vue réglementaire et environnemental, cette technique doit prendre en compte notamment le prélèvement d'eau et le risque de ruissellement.



Lutte contre le gel par aspersion en Champagne
Photo John Hodder/Collection CIVC



Lutte par aspersion à Chablis, Photo www.chablis.fr

Aspects réglementaires du prélèvement d'eau

AVANT LA RÉALISATION D'UN PROJET MOBILISANT LA RESSOURCE EN EAU, LA CRÉATION D'UN OUVRAGE DE PRÉLÈVEMENTS, IL EST IMPORTANT DE VÉRIFIER SI CE DERNIER EST SOUMIS AUX PRESCRIPTIONS DE LA LOI SUR L'EAU.

CRÉATION D'OUVRAGE

Création de plans d'eau : superficie > 1000 m² : procédure de déclaration.
Superficie > 3 ha : procédure d'autorisation.

Attention, pour une même entité juridique, les seuils de déclaration et d'autorisation valent pour la superficie cumulée de l'ensemble de ces plans d'eau.

Création de forages : prélèvement annuel > 1000 m³ : procédure de déclaration.
Prélèvement > 10 000 m³ : procédure de déclaration.

PRÉLÈVEMENTS EN EAU

Prélèvements en eaux souterraines (sauf nappe alluviale et hors ZRE) :
prélèvement > 200 000 m³ : procédure d'autorisation.

Les prélèvements en cours d'eau, nappe alluviale ou plan d'eau :
prélèvement > 400 m³ /heure (ou à partir de 2 % du débit du cours d'eau concerné) : procédure de déclaration.
Prélèvement > 1 000 m³ /heure (ou à partir de 5 % du débit du cours d'eau concerné) : procédure d'autorisation.

Les prélèvements en ZRE (Zone de Répartition des Eaux) :
Prélèvement < 8 m³ : procédure de déclaration.
Prélèvement > 8 m³ : procédure d'autorisation.
Une Zone de Répartition des Eaux est caractérisée par une insuffisance chronique des ressources en eau par rapport aux besoins.

Pour tout projet, contactez au préalable vos référents départementaux : Chambre d'agriculture/Direction Départementale des territoires.

Source : Agriculture et Territoire/Centre Val de Loire

De nombreuses méthodes ont été développées dans le vignoble français avec des efficacités variables selon les circonstances du gel et le contexte local. Le tableau n° 4 établit une synthèse de ces différentes techniques.

BÂCHES ANTIGEL	Dans le cas de gel advectif, ce système peut aggraver la situation par accumulation d'air froid sous les bâches.
MÉTHODE ALTERNATIVE SUBSTANCE ÉLICITRICE (PEL I O I - GV)	<ul style="list-style-type: none"> - Renforcement des défenses naturelles de la plante (accumulation de glucose dans les feuilles contribuant à diminuer le point de congélation). Application foliaire 12 à 48 h avant l'épisode gélif (du stade bourgeon éclaté à 6 feuilles étalées). - Selon le fabricant : efficace jusqu'à -5 °C et protection moyenne de 30 à 50 %. Retours d'expérience pour l'épisode de gel en Bourgogne : efficacité limitée. - Inconvénient : rémanence de 4 jours. - 60 €/ha.
BRÛLAGE PAILLE, CEPS...	<ul style="list-style-type: none"> - Créer un voile opaque pour limiter le réchauffement trop rapide au lever du soleil (effet loupe) et limiter le rayonnement du sol (si pratiqué la nuit). - Avantage : coût réduit. - Inconvénients : pollution visuelle et olfactive, manutention et veille nocturne nécessaires, non envisageable sur le long terme. Les particules de fumée étant trop petites pour bloquer les radiations, seule la chaleur dégagée par les feux offre une petite protection.
BACTÉRIES ANTIGEL	La bactérie <i>Pseudomonas syringae</i> est naturellement présente dans l'atmosphère et sur les végétaux. Sa membrane contient une protéine « antigel », qui lui permet de se protéger contre les cristaux de glace. Ceux-ci se forment à une certaine distance de la bactérie sans contact direct avec sa membrane plasmique. Elle serait donc en partie responsable des gelées sur les végétaux. L'idée : combattre cette bactérie par une autre afin de limiter, voire détruire, sa population. Essais en cours avec <i>Pseudomonas fluorescens</i> A506 mais pas d'efficacité prouvée.

Tableau n° 4 : évaluation des performances de différentes méthodes de lutte contre le gel - Source : les moyens de lutte contre le gel, BIVB 2017

Compléments foliaires

Parallèlement aux méthodes de lutte, certains compléments foliaires peuvent éventuellement contribuer à optimiser la photosynthèse et ainsi améliorer le développement végétal/fructifère de la vigne après le « traumatisme » du gel (ou de la grêle) (Figure n° 21).

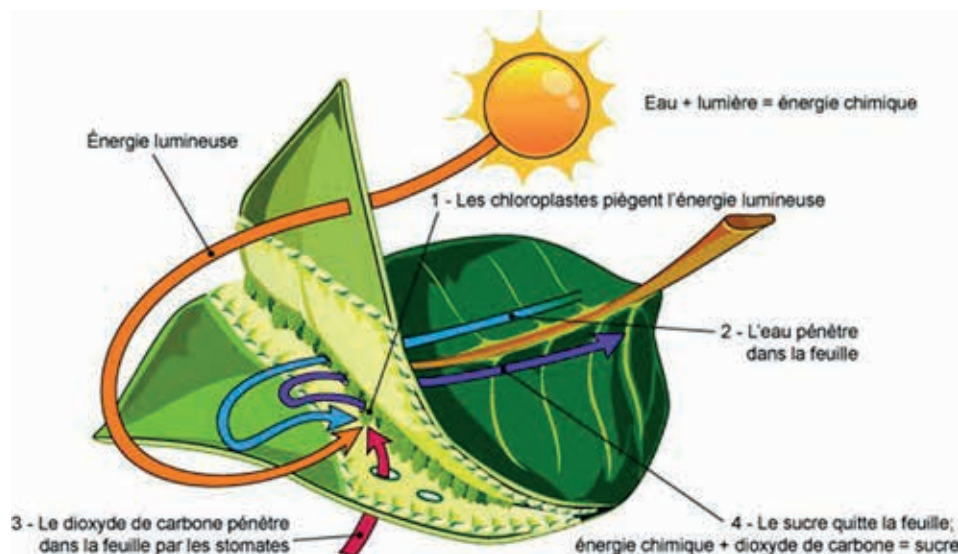


Figure n° 21 : la photosynthèse détermine le potentiel de production végétale et fructifère- Schéma UVED/www.cima.uaig.pt .

Chapitre 2

Le gel

Synthèse des frais financiers estimatifs (en euros) des principaux dispositifs de protection contre le gel ⁽¹⁾

DISPOSITIF	INVESTISSEMENT	AMORTISSEMENT + FRAIS FINANCIERS	FRAIS DE FONCTIONNEMENT	COÛT PAR LITRE DE VIN (base de rendement : 50 hl/Ha)
ASPERSION	8 000 à 14 000 €	1 000 €	350 €	0,27 €
BRASSAGE D'AIR FIXE POUR 5 HA	40 000 €	800 €	250 €	0,21 €
BRASSAGE D'AIR MOBILE POUR 3 HA	30 000 €	1 000 €	100 €	0,22 €
BOUGIES ⁽²⁾	2 500 €	2 500 €	-	0,49 €
CONVECTEUR D'AIR CHAUD TYPE FOSTGUARD	7 000 €	1 400 €	300 €	0,34 €

⁽¹⁾ Des mesures d'aide à l'investissement ont été mises en place dans différentes régions viticoles (contacter les Chambres d'Agriculture départementales ou régionales).

⁽²⁾ 3 nuits de protection avec une base de 4 heures d'allumage par nuit.

Tableau 5 : synthèse des frais financiers estimatifs en euros des principaux dispositifs de protection contre le gel (Établi à partir de la plaquette « protection du vignoble contre le gel de printemps », 2018, Agricultures et Territoires, Chambres d'Agricultures de France, coordination Anastasia ROCQUE).



Autres dispositifs

- **CONVECTEURS D'AIR CHAUD MOBILE (Type FrostBuster)** - Investissement pour 5 ha : 18 000 €
- **COMBUSTION DE GAZ (TYPE B2GAZ)** - Investissement pour 150 brûleurs par ha : 33 000 €/ Ha
- **CHAUFFERETTES COMBUSTION DE FUEL** - Investissement : 14 000 €/ha
- **FILS CHAUFFANTS** - Investissement : 15 000 €/ha
- **HÉLICOPTÈRE** - Investissement : 7 500 €/25 ha pour mobiliser un hélicoptère une matinée soit environ 900 €/HT/ha pour 3 matinées de protection.

Conclusion

Les aléas climatiques liés au gel de printemps et à la grêle peuvent impacter de manière significative l'équilibre financier des exploitations viticoles. Parallèlement aux mesures indirectes (assurance, réserves climatiques), différents systèmes de protection sont envisageables. Les investissements et éventuellement les frais de fonctionnement peuvent être importants, ce qui justifie une réflexion approfondie sur le long terme avant de s'engager. Le choix du dispositif est lié notamment au contexte local (fréquence des aléas, climat, relief), aux contraintes économiques (niveau de valorisation des vins, perte du potentiel commercial) et environnemental (bruit, émission de fumée, risque de ruissellement, impact sur l'effet de serre, etc.).

Concernant l'impact des changements climatiques, contrairement à l'évolution de température, qui peut être mesurée en continu, les phénomènes extrêmes n'interviennent fort heureusement qu'épisodiquement. Il est par conséquent difficile d'établir des statistiques d'évolution sur une période de quelques années. Néanmoins, les climatologues soulignent que l'augmentation de l'évaporation de l'eau, en lien avec l'élévation de la température moyenne, pourrait conduire, à terme, à des événements orageux associés à de la grêle, plus fréquents et plus intenses. Une manifestation plus marquée de ces phénomènes extrêmes pourrait intervenir dans les zones septentrionales relativement épargnées jusqu'à présent, comparativement aux secteurs méridionaux.



Le projet

Dans un contexte de changement climatique, et face au constat de la nécessaire prise en compte à une échelle fine du climat et de ses conséquences sur la viticulture, le projet LIFE-ADVCLIM a pour objectif d'étudier des scénarii d'adaptation et d'atténuation, à l'échelle des terroirs viticoles, pour différents vignobles représentatifs de la diversité climatique des régions viticoles européennes.

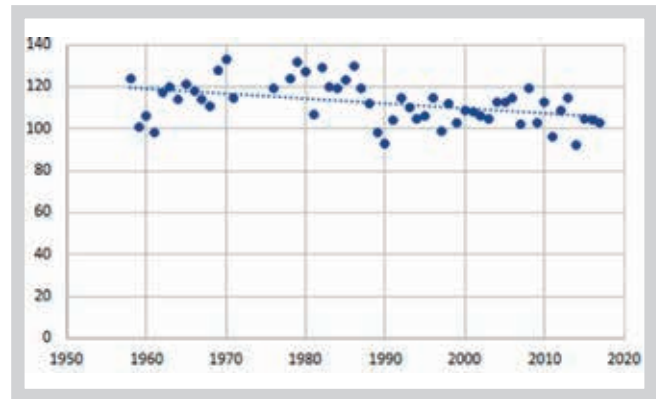


Figure n° 22 : évolution de la date de débournement pour le cépage Riesling en Alsace depuis 1958 jusqu'à 2017 - Source Eric Duchêne /INRA Colmar

Vis-à-vis du gel de printemps, l'élévation actuelle de la température moyenne contribue certes à diminuer le nombre de jours avec une température négative durant l'hiver, mais ce réchauffement progressif aboutit également à une avancée du débournement de la vigne (Figure n° 22). Ainsi, dans les zones septentrionales, le gel peut intervenir à partir de la mi-avril et dans les zones méridionales, un gel très destructeur peut se manifester à un stade phénologique avancé.

Cette évolution suppose de développer les connaissances climatiques régionales, et les dispositifs d'avertissement en lien avec un réseau de stations météorologiques, gérés par des organismes institutionnels et/ou professionnels. Parallèlement il peut être intéressant d'avoir une connaissance plus fine à l'échelle des micro-terroirs, et éventuellement de la parcelle, notamment pour établir le positionnement et les bases de dimensionnement des dispositifs de protection contre le gel de printemps. C'est une approche qui est développée à l'échelle locale dans le cadre du projet européen ADVICLIM, coordonné par le CNRS (Figure n° 23).

Figure n° 23 : présentation du projet européen LIFE ADVICLIM www.adviclim.eu

Annexes

Débourrement des cépages: dates de débourrement par rapport au chasselas, le 21 Mars (moyenne sur 50 ans)

Source : plantgrape.plantnet-project.org
et catalogue des variétés et clones cultivés en France

CÉPAGES	DÉBOURREMENT
Abondant blanc	3 jours avant
Abouriou noir	1 jour après
Admirable de Courtillier	2 jours après
Aléatico noir	2 jours après
Alicante Henri Bouschet noir	4 jours après
Aligoté blanc	2 jours après
Alphonse Lavallée noir	6 jours après
Altesse blanc	En même temps
Alval	6 jours après
Alvarinho blanc	2 jours avant
Alvina	1 jour après
Amandin	6 jours après
Aramon blanc	1 jour après
Aramon gris	2 jours après
Aramon noir	3 jours après
Aranel blanc	9 jours après
Arbane blanc	1 jour après
Arinarnoa noir	13 jours après
Arriloba blanc	En même temps
Arrouya noir	8 jours après
Arrufiac blanc	5 jours après
Arvine blanc	En même temps
Attiki	8 jours après
Aubin blanc	En même temps
Aubin vert blanc	6 jours après
Aubun noir	5 jours après
Auxerrois blanc	9 jours après
Bachet noir	3 jours avant
Baco blanc	6 jours après
Barbaroux rosé	En même temps
Baroque blanc	6 jours après
Béclan noir	1 jour après
Béquignol noir	7 jours après
Bia	5 jours après
Biancu Gentile blanc	En même temps
Blanc Dame blanc	4 jours après
Bouchalès noir	1 jour après
Bouillet noir	5 jours après
Bouquettraube blanc	5 jours après
Bourboulenc blanc	4 jours après
Brachet noir	3 jours après
Brun Argenté noir	10 jours après
Brun Fourca noir	9 jours après
Cabernet-Franc noir	5 jours après
Cabernet-Sauvignon noir	13 jours après
Calabrese	4 jours après
Caladoc noir	5 jours après

Calitor noir	8 jours après
Camaralet blanc	9 jours après
Carcajolo noir	3 jours après
Cardinal rouge	9 jours après
Carignan blanc	10 jours après
Carignan noir	9 jours après
Carmenère noir	9 jours après
Castets noir	14 jours après
César noir	2 jours après
Chambourcin noir	9 jours après
Chardonnay blanc	1 jour avant
Chasan blanc	3 jours après
Chasselas blanc	Référence étalon: 21 mars
Chasselas rosé	3 jours après
Chatus noir	5 jours après
Chenanson noir	3 jours après
Chenin blanc	1 jour avant
Cinsaut noir	9 jours après
Clairette blanc	8 jours après
Clairette rosé	7 jours après
Clarín blanc	9 jours après
Claverie blanc	9 jours après
Codivarta blanc	7 jours après
Colobel noir	2 jours après
Colombard blanc	2 jours après
Colombeau	8 jours après
Corbeau noir	2 jours après
Cot noir	4 jours après
Couderc noir	1 jour après
Counoise noir	12 jours après
Courbu blanc	7 jours après
Courbu noir	3 jours après
Couston noir	3 jours après
Crouchen blanc	7 jours après
Danlas blanc	5 jours après
Duras noir	5 jours après
Durif noir	8 jours après
Egiodola noir	3 jours avant
Ekigaiña noir	5 jours après
Elbling blanc	3 jours après
Etraire de la Dui noir	6 jours après
Ferradou noir	6 jours après
Fer-servadou noir	6 jours après
Feteasca	5 jours avant
Feunate noir	2 jours après
Florental noir	3 jours avant
Folignan blanc	7 jours après
Folle Blanche blanc	4 jours après
Franc noir de Haute-Saône noir	5 jours après



Fuella Nera	1 jour après
Furmint	5 jours après
Gamaret noir	2 jours après
Gamay de Bouze	1 jour après
Gamay de Chaudenay	1 jour après
Gamay Fréaux	1 jour après
Gamay noir	En même temps
Ganson noir	6 jours après
Garonnet noir	En même temps
Gascon noir	6 jours après
Genouillet	5 jours après
Genovèse	2 jours avant
Gewurztraminer rosé	En même temps
Goldriesling	En même temps
Gouget noir	2 jours après
Graisse blanc	6 jours après
Gramon noir	5 jours après
Grassen noir	3 jours après
Grenache blanc	4 jours après
Grenache gris	5 jours après
Grenache noir	6 jours après
Gringet blanc	9 jours après
Grolleau gris	1 jour après
Grolleau noir	1 jour avant
Gros Manseng blanc	En même temps
Gros vert blanc	8 jours après
Humagne	4 jours après
Jacquère blanc	1 jour après
Joubertin noir	4 jours après
Jurançon blanc	7 jours après
Jurançon noir	7 jours après
Knipperlé blanc	En même temps
Landal noir	2 jours après
Lauzet blanc	5 jours après
Len de l'El blanc	3 jours après
Léon Millot noir	1 jour avant
Liliorila blanc	4 jours après
Listan blanc	5 jours après
Lival noir	8 jours après
Lledoner Pelut noir	8 jours après
Macabeu blanc	9 jours après
Mancin noir	3 jours après
Manseng noir	4 jours après
Maréchal Foch noir	9 jours après
Marsanne blanc	9 jours après
Marselan noir	5 jours après
Mauzac blanc	7 jours après
Mauzac rosé	4 jours après

Mayorquin blanc	6 jours après
Mècle noir	2 jours après
Melon blanc	2 jours après
Méridle noir	4 jours après
Merlot blanc	2 jours après
Merlot noir	2 jours après
Meslier Saint-François blanc	3 jours avant
Meunier noir	3 jours après
Milgranet noir	6 jours après
Molette blanc	4 jours après
Mollard noir	7 jours après
Monbadon	6 jours après
Mondeuse blanche	5 jours après
Mondeuse noir	En même temps
Monerac noir	En même temps
Montils blanc	5 jours après
Mornen noir	8 jours après
Morrastel noir	12 jours après
Mourvaison noir	6 jours après
Mourvèdre noir	13 jours après
Mouyssaguès noir	8 jours après
Müller-Thurgau blanc	1 jour après
Muresconu noir	9 jours après
Muscadelle blanc	11 jours après
Muscardin noir	8 jours après
Muscat à petits grains blanc	En même temps
Muscat à petits grains rouges Rg	2 jours avant
Muscat à petits grains rosé	2 jours avant
Muscat cendré blanc	8 jours après
Muscat d'Alexandrie blanc	6 jours après
Muscat de Hambourg noir	1 jour après
Muscat Ottonel blanc	6 jours après
Nebiollo noir	6 jours avant
Négret de Banhars noir	10 jours après
Négrette noir	9 jours après
Nielluccio noir	1 jour avant
Noir Fleurien noir	2 jours après
Oberlin noir	5 jours avant
Ondenc blanc	1 jour après
Orbois blanc	3 jours avant
Pagadebiti blanc	18 jours après
Panse muscade blanc	5 jours après
Parellada blanc	10 jours après
Pascal blanc	9 jours après
Perdea blanc	7 jours après
Persan noir	3 jours après
Petit Courbu blanc	6 jours après
Petit Manseng blanc	2 jours après
Petit Meslier blanc	En même temps
Petit Verdot noir	4 jours après
Picardan blanc	5 jours après
Pineau d'Aunis noir	8 jours après
Pinot blanc	1 jour après
Pinot gris	2 jours après
Pinot noir	2 jours après
Pinotage noir	3 jours après
Piquepoul blanc	5 jours après
Piquepoul gris	6 jours après
Piquepoul noir	7 jours après
Plant de Brunel noir	10 jours après
Plant droit noir	3 jours après
Plantet noir	1 jour après
Portan noir	1 jour avant
Portugais bleu noir	8 jours après
Poulsard noir	1 jour avant
Précoce Bousquet blanc	4 jours après
Précoce de Malingre blanc	En même temps
Primitivo noir	3 jours après



Domaine expérimental
de sélection de la vigne
IFV/ENTAV-INRA®
au Grau-du-Roi.

Prunelard noir	6 jours après
Raffiat de Moncade blanc	1 jour après
Ravat blanc	2 jours après
Rayon d'or blanc	1 jour après
Ribol noir	9 jours après
Riesling blanc	5 jours après
Riminèse blanc	14 jours après
Rivairenc blanc	9 jours après
Rivairenc gris	7 jours après
Rivairenc noir	8 jours après
Romorantin blanc	1 jour après
Rosé du Var rosé	1 jour après
Roublot blanc	En même temps
Roussanne blanc	8 jours après
Roussette d'Ayze blanc	5 jours après
Rubilande rosé	4 jours avant
Sacy blanc	En même temps
Saint-Côme blanc	1 jour avant
Saint-Macaire noir	1 jour après
Saint-Pierre doré blanc	6 jours après
Saperavi noir	1 jour avant
Sauvignon blanc	7 jours après
Sauvignon gris	10 jours après
Savagnin blanc	En même temps
Savagnin rosé	En même temps
Sciaccarello noir	7 jours après
Ségalin noir	2 jours après
Seinoir noir	6 jours avant
Select blanc	23 jours après
Semebat noir	4 jours après
Sémillon blanc	5 jours après
Sérénèze noir	4 jours après
Servanin noir	2 jours après
Servant blanc	5 jours après
Seyval blanc	3 jours après
Sylvaner blanc	5 jours après
Syrah noir	7 jours après
Tannat noir	4 jours après
Tempranillo noir	7 jours après
Téoulis noir	3 jours après
Terret blanc	9 jours après
Terret gris	8 jours après
Terret noir	9 jours après
Tibouren noir	3 jours avant
Tourbat blanc	6 jours après
Touriga national noir	2 jours après
Tressot noir	8 jours après
Trousseau gris	1 jour après
Trousseau noir	2 jours après
Ugni blanc	9 jours après
Valdigué noir	4 jours après
Valérien blanc	7 jours après
Varousset noir	9 jours avant
Velteliner rouge précoce rosé	En même temps
Verdelho blanc	4 jours après
Verdesse blanc	5 jours après
Vermentino blanc	7 jours après
Villard blanc	8 jours après
Villard noir	2 jours avant
Viognier blanc	En même temps
Xarello blanc	4 jours après

Source : <http://plantgrape.plantnet-project.org>



Annexes

Pour en savoir plus

Grêle

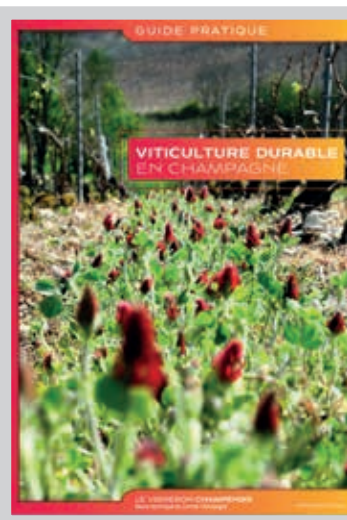
- **Grêle: les méthodes de lutte au banc d'essai, Le vigneron des Côtes du Rhône et du Sud-Est**
Numéro 870, juin 2017 - www.syndicat-cotesdurhone.com
- **Mag' Viti-oenologie, numéro spécial grêle**
Chambre d'Agriculture du Var, Bulletin du 25 juin 2018
- **VINET F. ouvrage Le risque-grêle en agriculture**
Editions technique et documentation, 2000.
- **VINET F. : La question du risque climatique en agriculture : le cas de la grêle en France** - Annales de Géographie, n° 627-628, 2002. www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_2002_num_111_627_21621
- **Récapitulatif des dispositifs mobilisables en cas d'orages de grêle**, Chambre d'Agriculture de la Gironde. 2018. <https://gironde.chambre-agriculture.fr>
- **Que faire après la grêle ? Vignoble de Cognac ?**
Chambre d'Agriculture Charente, Charente-Maritime, BNIC, 2014, www.cognac.fr
- **Evaluation des pertes viticoles par commune suite à la grêle du 15 juillet 2018**, Chambre d'Agriculture Gironde. <https://gironde.chambre-agriculture.fr>

Gel de printemps

- **Sécuriser la production de son vignoble contre les gelées de printemps**, Chambres d'Agriculture Indre-et-Loire, Loir-et-Cher, Cher, Centre-Val de Loire, Région Centre Val de Loire, ARFV. - <https://centre-valde Loire.chambres-agriculture.fr>
- **Rochard. J, Le gel de printemps mi-avril 2017, dans de nombreuses régions européennes. Une période très atypique dans les annales de la météo**
Revue des oenologues numéro 164, Juillet 2017
www.oeno.tm.fr
- **Gel de printemps en verger, différents types, seuil critique, moyen de lutte**, Chambre d'Agriculture du Gard.
<https://gard.chambre-agriculture.fr>
- **Gel de printemps, protection des vergers Ctifl**, 1998.
www.ctifl.fr
- **BARCLAY Poling E. 2008. Spring Cold Injury to Winegrapes and Protection Strategies and Methods.** HortScience. Vol 43(6)
- **BARRIAULT E. 2013. Gel printanier et méthodes de protection.**
Bulletin d'information n° 4. Le Groupe d'experts en Protection de la Vigne, Québec
- **JOLIVET Y. 2006. Mille et une recettes de lutte contre le gel printanier.** Conférences Journées AgroVisions. Québec. 9 p
www.agrireseau.net
- **Fiche Technique PEL 101GV** - www.lvvd.fr
- **MADELIN M., 2004. L'aléa gélif printanier dans le vignoble marnais en Champagne : modélisation spatiale aux échelles fines des températures minimales et des écoulements d'air.** Thèse de doctorat de l'Université de Paris 7, 347p.
- **ROCQUE A. 2016. Rapport d'étude régionalisée de protection du vignoble contre les aléas climatiques.**
Chambre d'Agriculture d'Indre-et-Loire. 269 p



Les moyens de lutte contre le gel,
Bureau Interprofessionnel des Vins
de Bourgogne, 2017
www.vins-bourgogne.fr



Viticulture durable en Champagne,
Le Vigneron Champenois/CIVC,
hors-série 2018.
[www.champagne.fr/fr/mediatheque/
revue-le-vigneron-champenois](http://www.champagne.fr/fr/mediatheque/revue-le-vigneron-champenois)



Protection du vignoble contre les gels
de printemps Chambre d'Agriculture 2018
<https://chambres-agriculture.fr>

REMERCIEMENTS

Nos remerciements à FranceAgriMer qui a financé le projet CLIMFROST, www.franceagrimer.fr.

Que soient également remerciés tous les spécialistes du climat et conseillers viticoles qui ont apporté leur expertise à ce projet et en particulier : Nathalie OLLAT de l'INRA de Bordeaux, Eric DUCHÊNE de l'INRA de Colmar, Benjamin BOIS de l'Université de Bourgogne, INAKI GARCIA de CORTAZAR de l'INRA d'Avignon, Hervé QUENOL du CNRS de Rennes, Jacques GAUTHIER et Philippe DOUMENC de l'INAO, Pierre NAVIAUX du CIVC, Marc OUVRIER de Vineis Project, Vincent DUMOT du BNIC, Philippe ABADIE de la Chambre d'Agriculture de la Gironde, Guillaume MORVAN de la Chambre d'Agriculture de l'Yonne.

Un remerciement particulier pour les partenaires du projet européen LIFE ADVICLIM qui ont contribué à une réflexion sur les changements climatiques et une approche internationale de la thématique.



www.adviclim.eu



INSTITUT FRANÇAIS
DE LA VIGNE ET DU VIN

ITINÉRAIRES N° 27

Comité de rédaction :

Ce document a été coordonné par Joël ROCHARD, de l'Institut Français de la Vigne et du Vin, avec la collaboration de Christine Monamy du BIVB (Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne), Basile Pauthier du CIVC (Comité Champagne) et Anastasia Rocque de la Chambre d'Agriculture d'Indre-et-Loire.

Crédits photos :

IFV, Joël Rochard, Christine Monamy, BIVB, CIVC, Le Vigneron Champenois, ephytia.inra.fr/, Jonathan Gaudin, Titouan Rimbault, Adobe Stock.