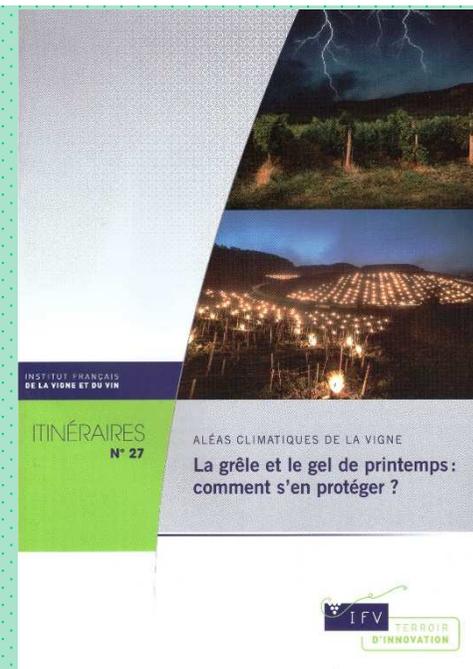




# Stratégie et équipements de prévention vis-à-vis de la grêle et du gel de printemps.

Joël Rochard IFV , Christine Monamy BIVB , Basile Pauthier CIVC et Anastasia Rocque, Chambre d'Agriculture d'Indre-et-Loire



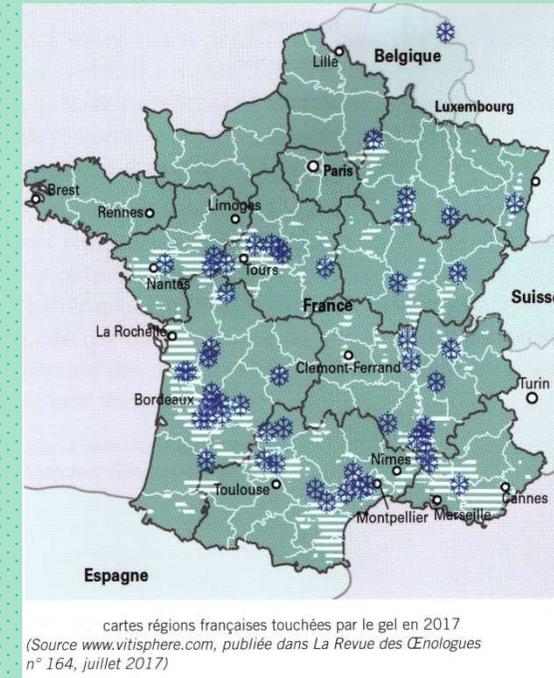
<http://www.vignevin.com/publications/collection-itinéraires.html>





# INTRODUCTION

Une grande partie du vignoble a été touchée par **l'épisode de gel** qui est intervenu sur plusieurs jours **fin avril 2017** et qui a occasionné des dégâts pour de nombreuses régions françaises y compris méridionales, ainsi que d'autres pays de la zone Ouest de l'Europe (Angleterre, Allemagne, Italie, Suisse, etc.). Le gel, la grêle et une sécheresse très marquée dans les zones méridionales ont abouti 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**, de nombreuses régions viticoles France ont été **touchées par la grêle**. Le projet CLIMFROST, financé par France Agrimer, a pour objectif d'aider la profession viticole française à appréhender les risques de gel de printemps et de grêle dans leur contexte local, afin d'adopter une **stratégie** (réserves climatiques, assurances, mesures agronomiques, techniques de protection) permettant de réduire **l'impact financier direct et indirect**.

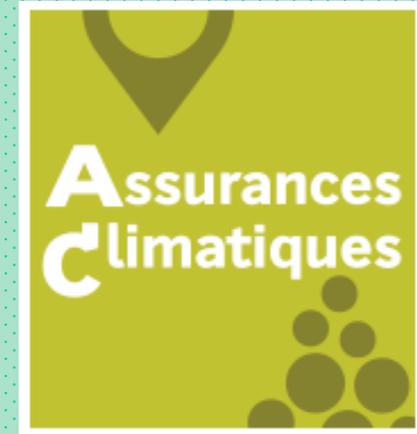


Cartes régions françaises touchées par le gel en 2017  
*Source [www.vitisphere.com](http://www.vitisphere.com)*

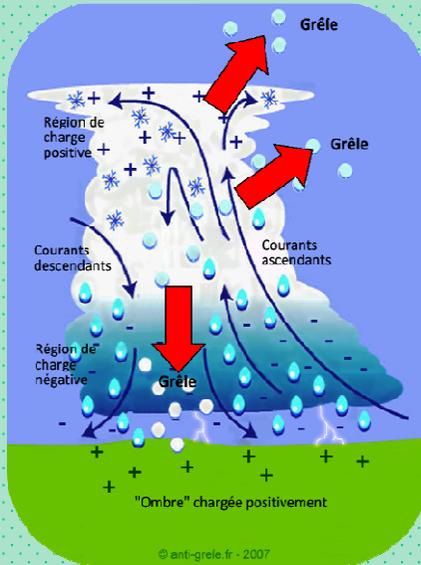
## MESURES INDIRECTES

+ **La souscription d'une assurance récolte, incluant le gel et la grêle.** Le coût élevé de la cotisation constitue néanmoins un frein important au développement de ce type d'assurance. Par ailleurs 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.

+ **La mise en place d'un dispositif de réserve « climatique »** alimenté au cours des bonnes années, permet de compenser le déficit 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 par 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.



# LA GRÊLE



## Schéma de la formation de la grêle [www.antigrele.fr](http://www.antigrele.fr)

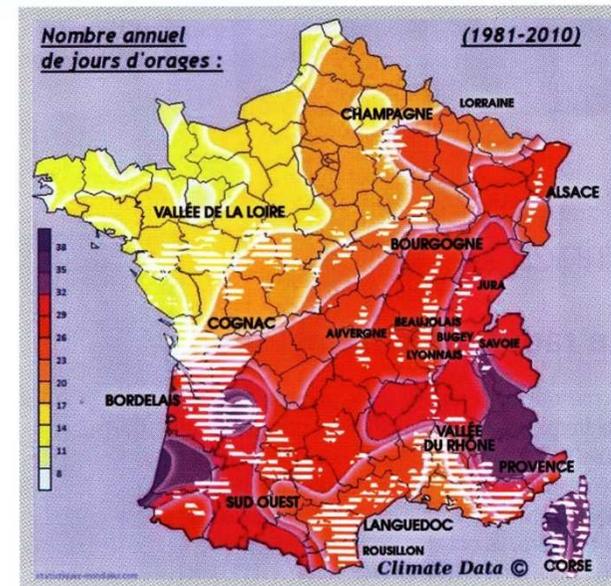
CLASSE	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Diamètre maximal des grêlons	<1	1-1.9	2-2.9	3-3.9	4-4.9	>=5
Terme usuel	grésil, petit pois	bille, grain de raisin, cerise	œufs de pigeon, pièce de 2 euros	noix, balle de ping-pong	œuf de poule, balle de Golf	pêche, pomme, orange, balle de tennis
Energie cinétique moyenne	10 J.m <sup>-2</sup>	50 J.m <sup>-2</sup>	200 J.m <sup>-2</sup>	500 J.m <sup>-2</sup>	800 J.m <sup>-2</sup>	
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	

## Échelle d'impact de grêle source ANELFA



## Différents types de nuages Source [www.1001prod.com](http://www.1001prod.com)

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



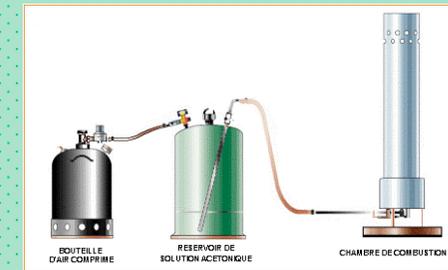
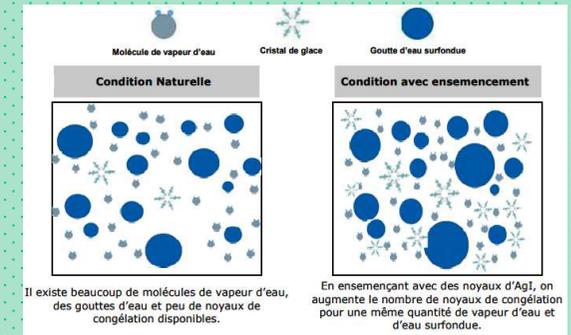
Fréquence de risque de grêle en France, extrait de l'ouvrage « le risque grêle en agriculture », F. VINET, éditions Technique et Documentation, 2000.



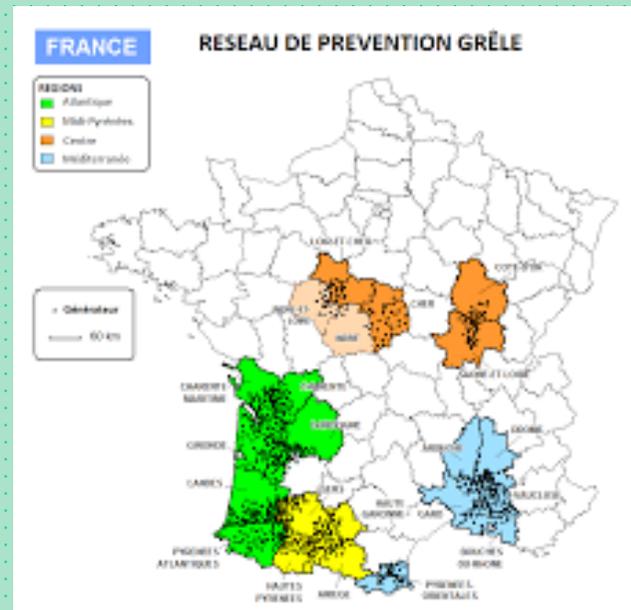
# PROTECTION PAR ENSEMENCEMENT DES NUAGES

Le principe de la lutte contre la grêle consiste à introduire artificiellement dans les nuages des **noyaux glacogènes** d'iodure d'argent de façon à augmenter le nombre de cristaux de glace, et à **réduire** en conséquence la **dimension des grêlons** : ceux-ci tombent alors plus lentement et en totalité ou en partie avant d'atteindre le sol.

Carte de protection de la grêle par iodure d'argent *Source ANELFA*



Diffuseur d'Iodure d'Argent, *source ANELFA*



# PROTECTION PAR FILET

## Filet au-dessus des rangs



Ce dispositif, **non autorisé** en France pour les vins **sous indication géographique**, est généralement réservé aux raisins de table.

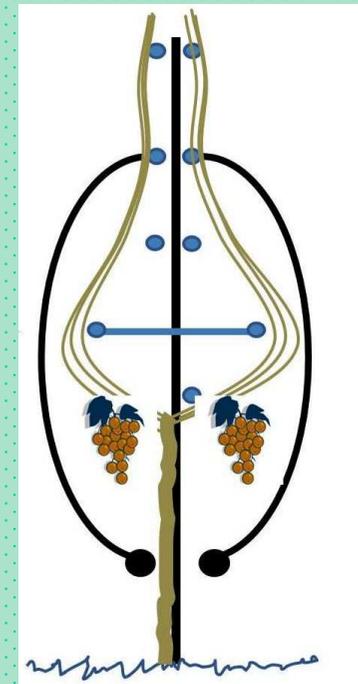
## Filets mono-rangs « rang par rang »

En France, les dispositifs de protection par filet ont fait l'objet d'une **expérimentation** menée par la Confédération des Appellations et des Vignerons de Bourgogne pendant plusieurs années. Dans une décision du 20 juin 2018, l'**INAO** a **autorisé** l'utilisation des filets de type « monorang vertical » pour la production des vins **AOC/AOP**, tout en privilégiant les dispositifs dont la présence peut être **limitée dans le temps** afin d'atténuer l'effet d'ombrage.



# DISPOSITIFS ENROULABLES WHAILEX

Certains dispositifs, dont le coût est plus élevé, sont équipés d'un **support enrouleur** permettant le remontage du filet avec une **manivelle**.



*Whailex roll-up device*

# PERSPECTIVES : GRÊLE

## Coût des dispositifs

+**Filets** : 15 000 à 25 000 euros par ha

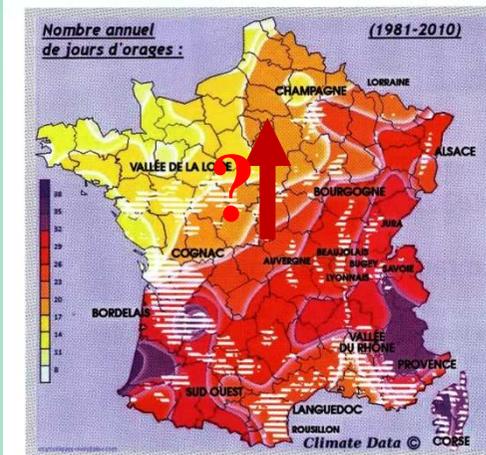
+**Diffuseurs iodure argent** : 8 à 10 euros par Ha/an

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.



[www.adviclim.eu](http://www.adviclim.eu)

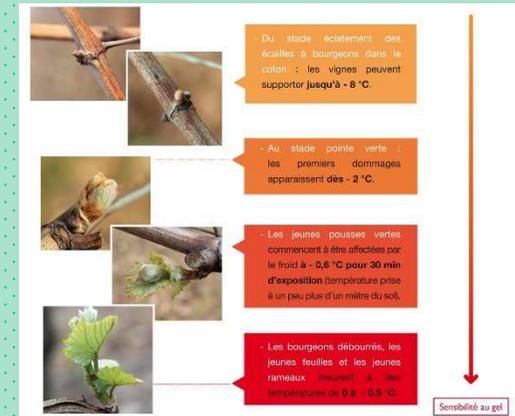
En France, le couloir de fréquence d'orages, avec un potentiel de grêle, remonte majoritairement du Sud-ouest au Nord-est en passant par le Massif Central et la Franche-Comté



Fréquence de risque de grêle en France, extrait de l'ouvrage « le risque grêle en agriculture », F. VINET, éditions Technique et Documentation, 2000.

# GEL DE PRINTEMPS

Les gelées printanières interviennent lorsque la vigne a repris son activité. Les **symptômes** sont variables et dépendent du **stade végétatif**. Lors du débourrement, 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.



Sensibilité des organes végétaux de la vigne au gel. *Source BIVB*

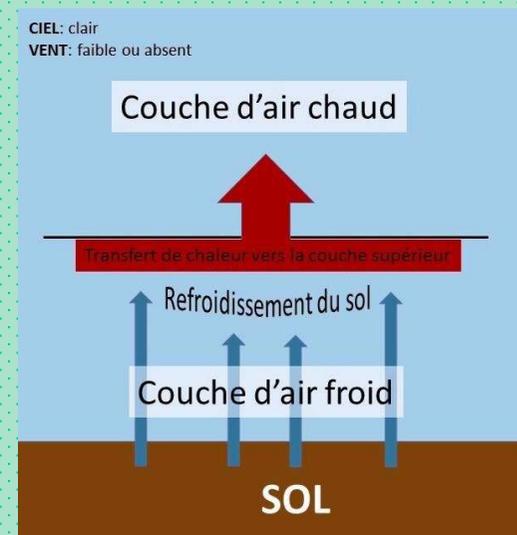


Impact du gel de printemps sur la vigne. *Photos Jonathan Gaudin*  
[ephytia.inra.fr](http://ephytia.inra.fr)

## PRINCIPAUX TYPES DE GELS

### - Gel radiatif (gelées blanches)

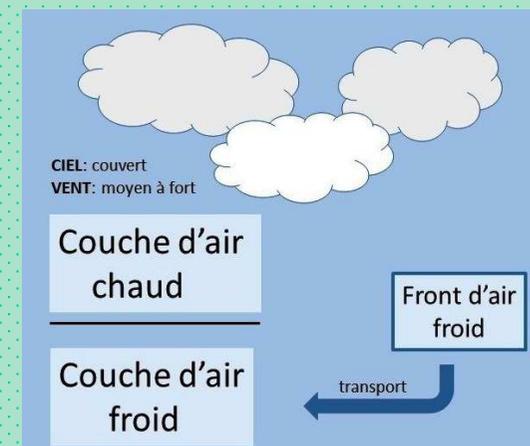
C'est le type de gel le plus courant, il est caractérisé par une atmosphère stable avec **un ciel clair** (pas d'effet de serre). Il se produit lors du **refroidissement nocturne**, avec une présence du vent faible ou nul.



Source : Catinca  
GAVRILESCU, 2016

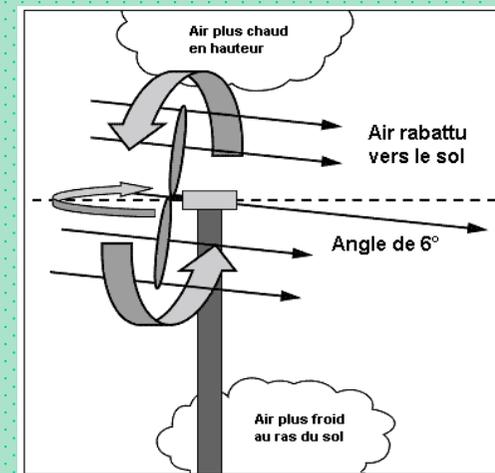
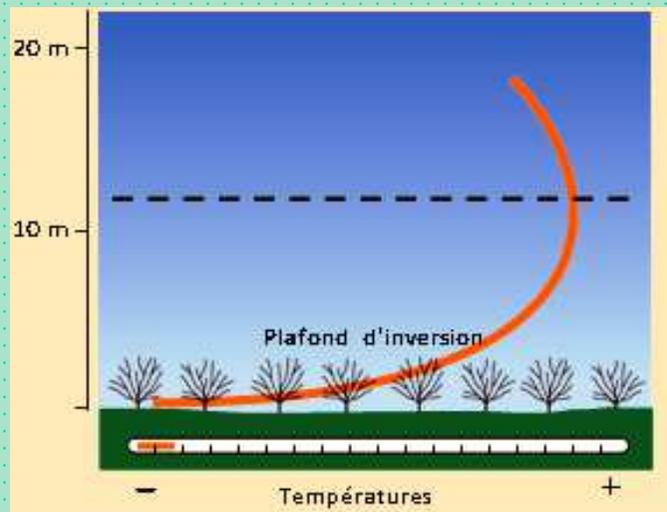
### - Gel advectif (gelées noires)

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**.



# PROTECTION PAR BRASSAGE DE L'AIR

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 ». 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.



Principe de l'inversion de température en fonction de la hauteur. Source : plaquette gel de printemps, chambre d'agriculture du Gard.

Schéma de principe d'une éolienne antigel, source : [www.faiteslepleindavenir.com](http://www.faiteslepleindavenir.com).

## DISPOSITIFS DE PROTECTION

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.



Brasseur d'air classique



Brasseur d'air avec chauffage

## TOURS ANTIGEL MOBILES

Ce sont des éoliennes **inclinables** et éventuellement **repliables** que l'on peut déplacer selon les besoins. Elles disposent généralement d'un dispositif de **démarrage** et d'**arrêt automatique**. Comparativement aux tours fixes, elles sont généralement **moins bruyante** mais avec une **surface** de protection **inférieure** de l'ordre de **3 ha** (5 à 6 hectares pour les hélices fixes). Leur mobilité est un atout dans des zones à **forte valeur patrimoniale**.



Tour mobile pliable, Photo  
[www.riviere-sarl.com](http://www.riviere-sarl.com)



Tour mobile inclinable  
photo [www.filextra.fr](http://www.filextra.fr)

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.

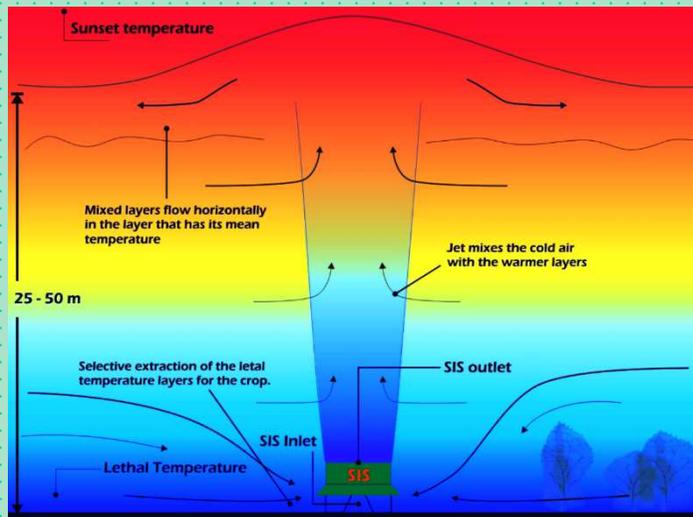
## HELICOPTERE



Photo *France Bleu Touraine.*

## AUTRES TECHNIQUES

Le système « **Selective Inverted Sink** », jusqu'à présent peu utilisé en Europe, comporte une unité de **ventilation** horizontale pour extraire l'air stratifié froid du sol, puis l'**expulser** en dehors de la zone à protéger.



Cave Juanico/Uruguay

SIS action in the stratified atmosphere

[www.frostprotection.com](http://www.frostprotection.com)

# CHAUFFAGE DIFFUS STATIQUE



Chaufferettes à Chablis 19 et 20 Avril 2017 *Photo Titouan Rimbault*



Chauffage par **bougies**



Système de **cuves à gaz mobile**, Guide pratique viticulture durable en Champagne, *Le Vigneron champenois 2018*.

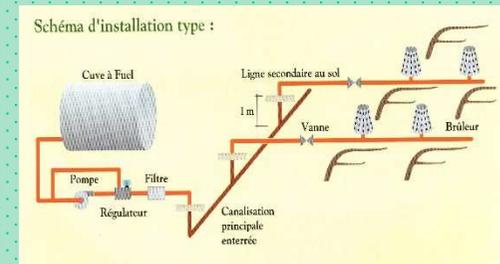


Schéma d'installation d'un dispositif de **fuel pulvérisé**.  
Source : Les gelées de printemps, le Vigneron champenois/CIVC, 1991

# TRANSFERT DYNAMIQUE D'AIR CHAUD



Convecteur d'air chaud  
fixe FrostGuard. Photo  
[www.agrofrost.eu](http://www.agrofrost.eu)



Diffuseur d'air chaud Heat  
Ranger, photo  
[www.heatranger.com](http://www.heatranger.com)



Protection par câble  
chauffant, photo  
[www.technitrace.fr](http://www.technitrace.fr)



# 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. Ce dispositif permet une protection jusqu'à **- 7 °C en conditions humides** et **- 9 °C en conditions sèches**.



**Champagne**, *Photo John Hodder,*  
*Collection CIVC*



**Chablis** *Photo www.chablis.fr*



## AUTRES TECHNIQUES

<p><b>BÂCHES ANTIGEL</b></p>	<p>Dans le cas de gel advectif, ce système peut aggraver la situation par accumulation d'air froid sous les bâches.</p>
<p><b>MÉTHODE ALTERNATIVE SUBSTANCE ÉLICITRICE (PEL 101 - GV)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 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).</li> <li>- 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.</li> <li>- Inconvénient : rémanence de 4 jours.</li> <li>- 60 €/ha.</li> </ul>
<p><b>BRÛLAGE PAILLE, CEPS...</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 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).</li> <li>- Avantage : coût réduit.</li> <li>- 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.</li> </ul>
<p><b>BACTÉRIES ANTIGEL</b></p>	<p>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.</p>

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



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

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

# CONCLUSION

## Synthèse des frais financiers estimatifs (en euros) des principaux dispositifs de protection contre le gel <sup>(1)</sup>

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 <sup>(2)</sup>	2 500 €	2 500 €	-	0,49 €
CONVECTEUR D'AIR CHAUD TYPE FOSTGUARD	7 000 €	1 400 €	300 €	0,34 €

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

<sup>(2)</sup> 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).

<http://www.vignevin.com/publications/collection-itineraires.html>

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.).

## PERSPECTIVES GEL

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. Ainsi dans les **zones septentrionales** le gel peut intervenir à partir plus tôt dès la mi-avril et dans les **zones méridionales**, un gel très destructeur peut se manifester à un **stade phénologique avancé**.

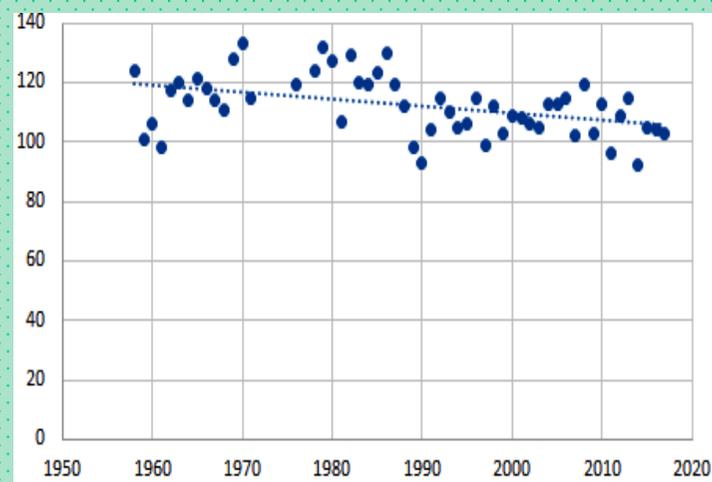
**Merci de votre attention**

*joel.rochard@vignevin.com*

*rochard.joel@gmail.com*



*www.adviclim.eu*



*Évolution de la date de débournement pour le cépage Riesling en Alsace depuis 1958 jusqu'à 2017, source E. Duchêne /INRAColmar*