

Observations réalisées sur le lien entre les pratiques culturelles et le risque de gel

Guillaume DELANOUE





Risque gel et protection du vignoble

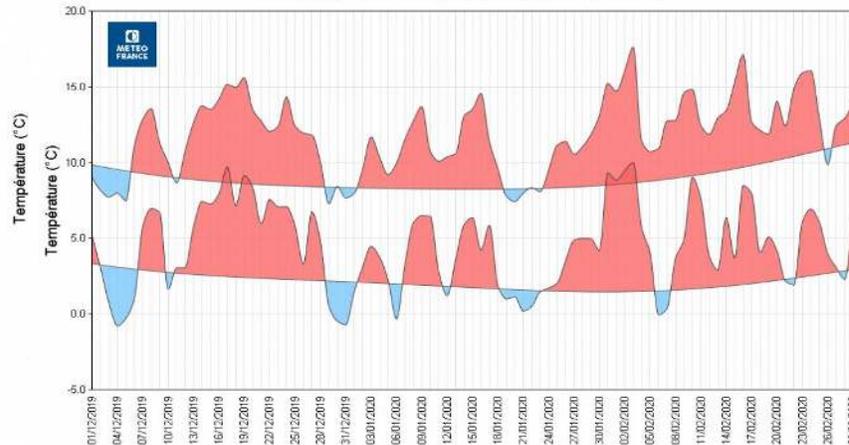




Risque gel et protection du vignoble

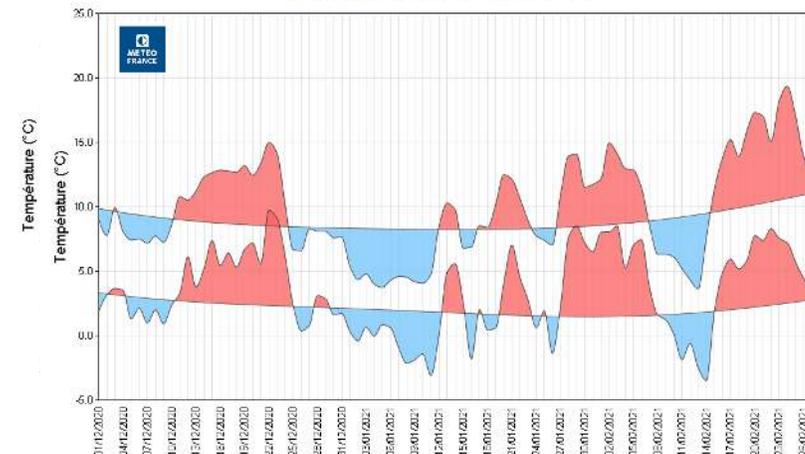
- Changement climatique et risque gel:
- Augmentation des températures hivernales

Evolution des températures minimales et maximales quotidiennes en France
Evolution des températures minimales et maximales quotidiennes en France
par rapport à la normale quotidienne
du 1er décembre 2019 au 29 février 2020



Diagnostic établi à partir de l'indicateur thermique, moyenne des températures quotidiennes de 30 stations métropolitaines

Evolution des températures minimales et maximales quotidiennes en France
Evolution des températures minimales et maximales quotidiennes en France
par rapport à la normale quotidienne



Diagnostic établi à partir de l'indicateur thermique, moyenne des températures quotidiennes de 30 stations métropolitaines

- reprise hivernale précoce de la vigne
- = reprise de l'activité de la vigne et débourrement de plus en plus tôt, en fin d'hiver lié aux températures douces
- mais vagues de froid toujours présentes qui arriveront sur une vigne en activité
- = Ce phénomène expose la vigne à des risques accrus de dégâts dus au gel.



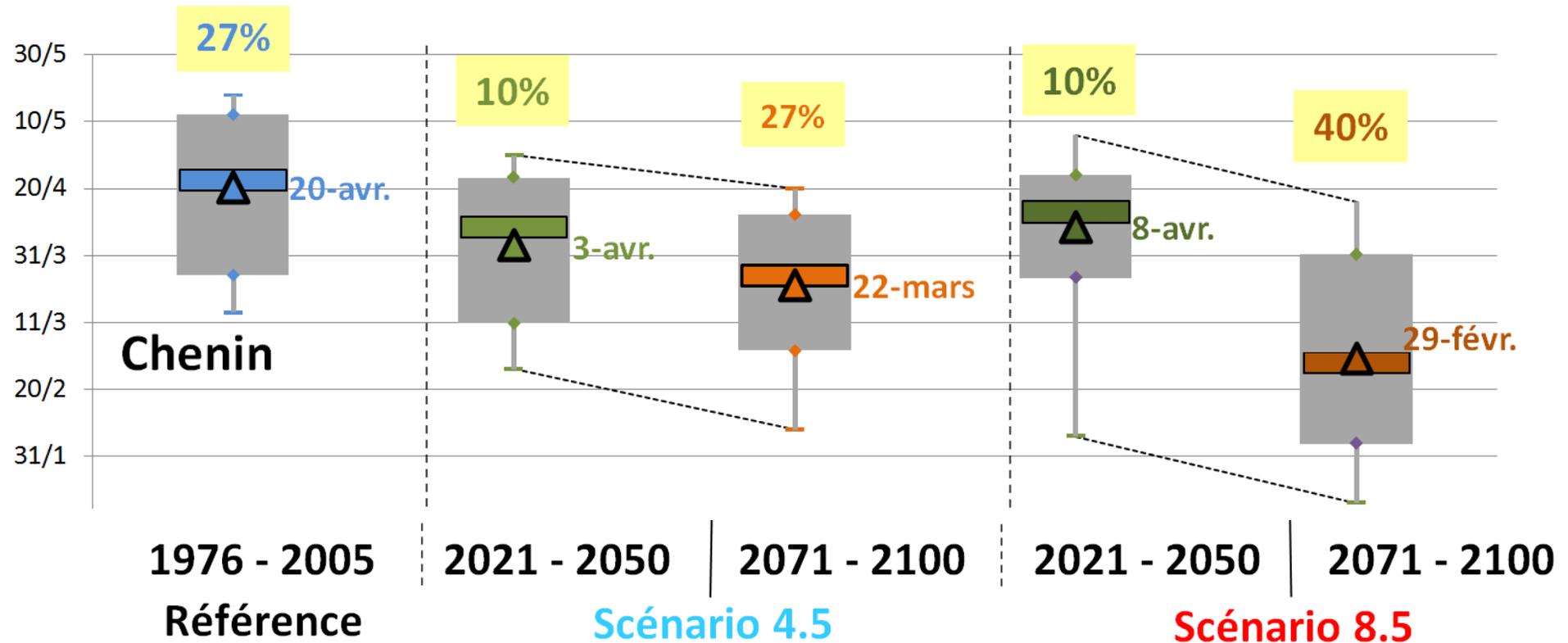
Risque gel et protection du vignoble

Département	Coteaux du Cher (41)						Sancerre (18)		St-Nicolas-de-Bourgueil (37)	Vouvray (37)
Cépage	Sauvignon	Chardonnay	Chenin	Gamay	Cabernet	Cot	Sauvignon	Pinot	Cabernet	Chenin
Période étudiée	1980 - 2018 (39 ans)						1965 - 2018 (54 ans)		1980 - 2019 (40 ans)	
Débourrement	-1,0 <i>(NS)</i>	-0,4 <i>(NS)</i>	-1,6 <i>(NS)</i>	-0,5 <i>(NS)</i>	-2,0 <i>(NS)</i>	-0,6 <i>(NS)</i>	-2,8 <i>(P=0,0004)</i>	-3,6 <i>(P=0,00003)</i>		
Floraison	-3,8 <i>(P=0,006)</i>	-4,3 <i>(P=0,001)</i>	-4,7 <i>(P=0,0003)</i>	-3,8 <i>(P=0,0047)</i>	-5,0 <i>(P=0,00009)</i>	-3,8 <i>(P=0,004)</i>	-3,9 <i>(P=0,0000008)</i>	-4 <i>(P=0,0000005)</i>		
Récolte	-2,9 <i>(P=0,027)</i>	-3,9 <i>(P=0,005)</i>	-4,2 <i>(P=0,01)</i>	-2,2 <i>(NS)</i>	-3,2 <i>(P=0,03)</i>	-1,9 <i>(NS)</i>	-2,7 <i>(P=0,0004)</i>	-3 <i>(P=0,0002)</i>	-2,4 <i>(P=0,03)</i>	-4,5 <i>(P=0,0002)</i>

Evolution des dates physiologiques de la vigne (en nombre de jour par décennie)



Risque gel et protection du vignoble



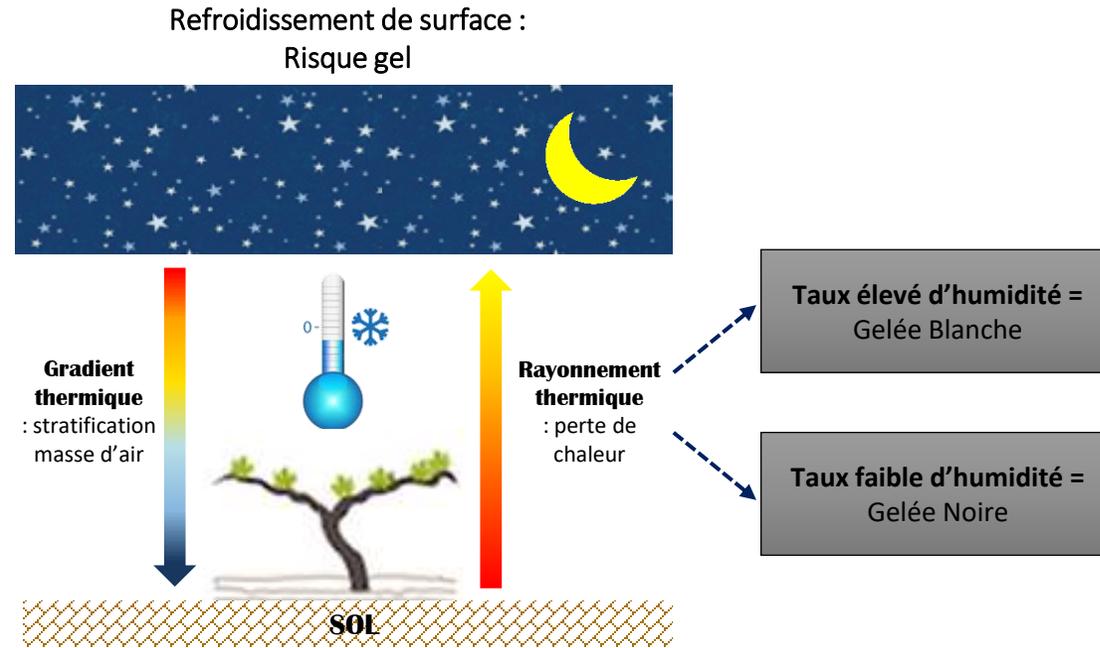
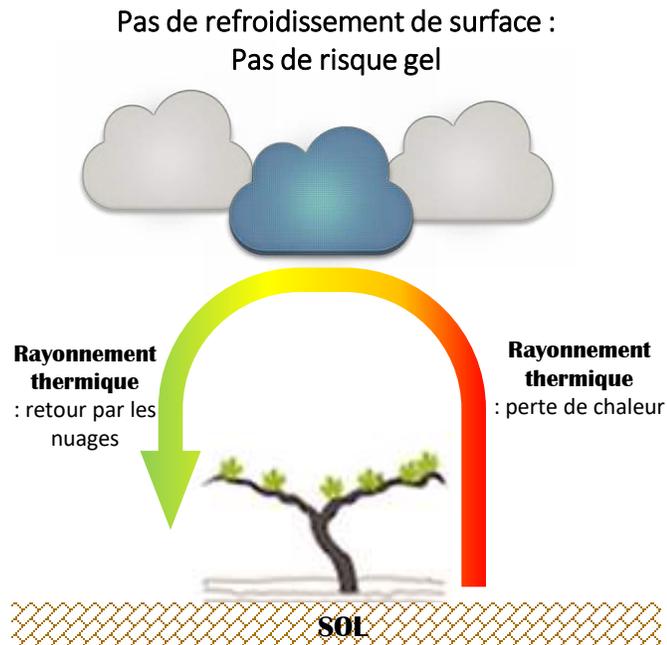
- Malgré le nb de jour de gel annuel divisé par 2 entre fin XX^{ème} et fin XXI^{ème}, le risque de gel au stade débourrement reste présent à cause de l'avancée des stades phénologiques.



Risque gel et protection du vignoble

Gel radiatif :

Stratification des masses d'air : masse d'air relativement froide au sol et transfert de chaleur vers la couche supérieure



Caractéristiques GEL RADIATIF :

Ciel clair

Haute pression

Vitesse du vent très faible ou nulle

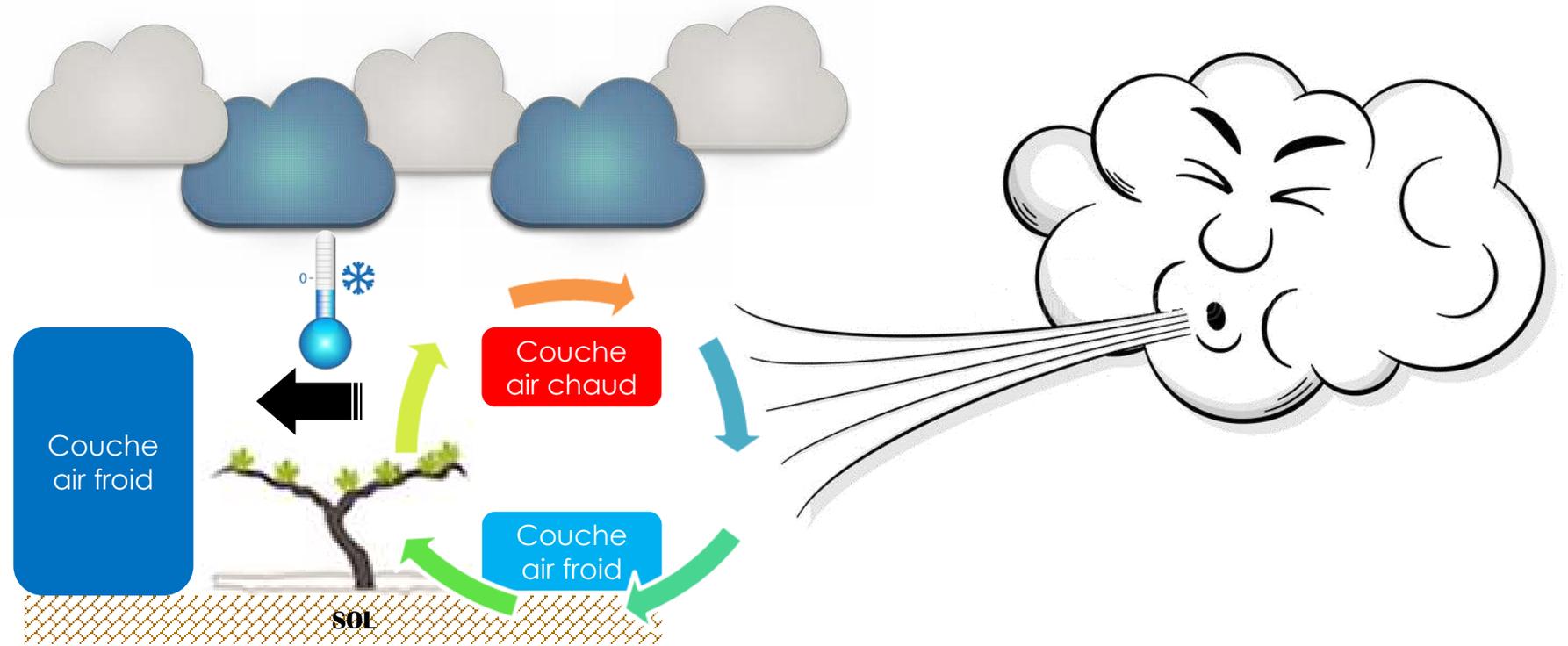
Inversion de la température en altitude



Risque gel et protection du vignoble

Gel advectif :

Arrivée d'une grande masse d'air froid : Passage d'un front froid ou Invasion polaire (système dépressionnaire),



Caractéristiques GEL ADVECTIF :

Couvert

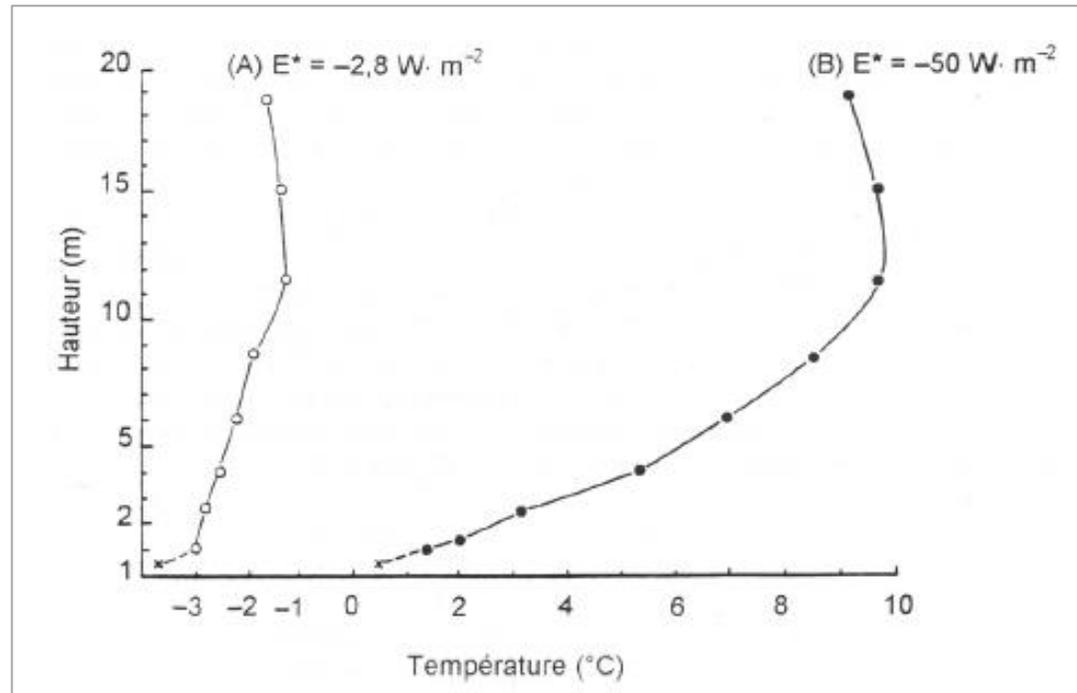
Basses pressions

Vitesse du vent « fort »

Pas d'inversion de températures



Risque gel et protection du vignoble



Profils verticaux de température déterminés au moment du minimum lors d'une gelée advective (A) et radiative (B) (MADELIN, 2004)

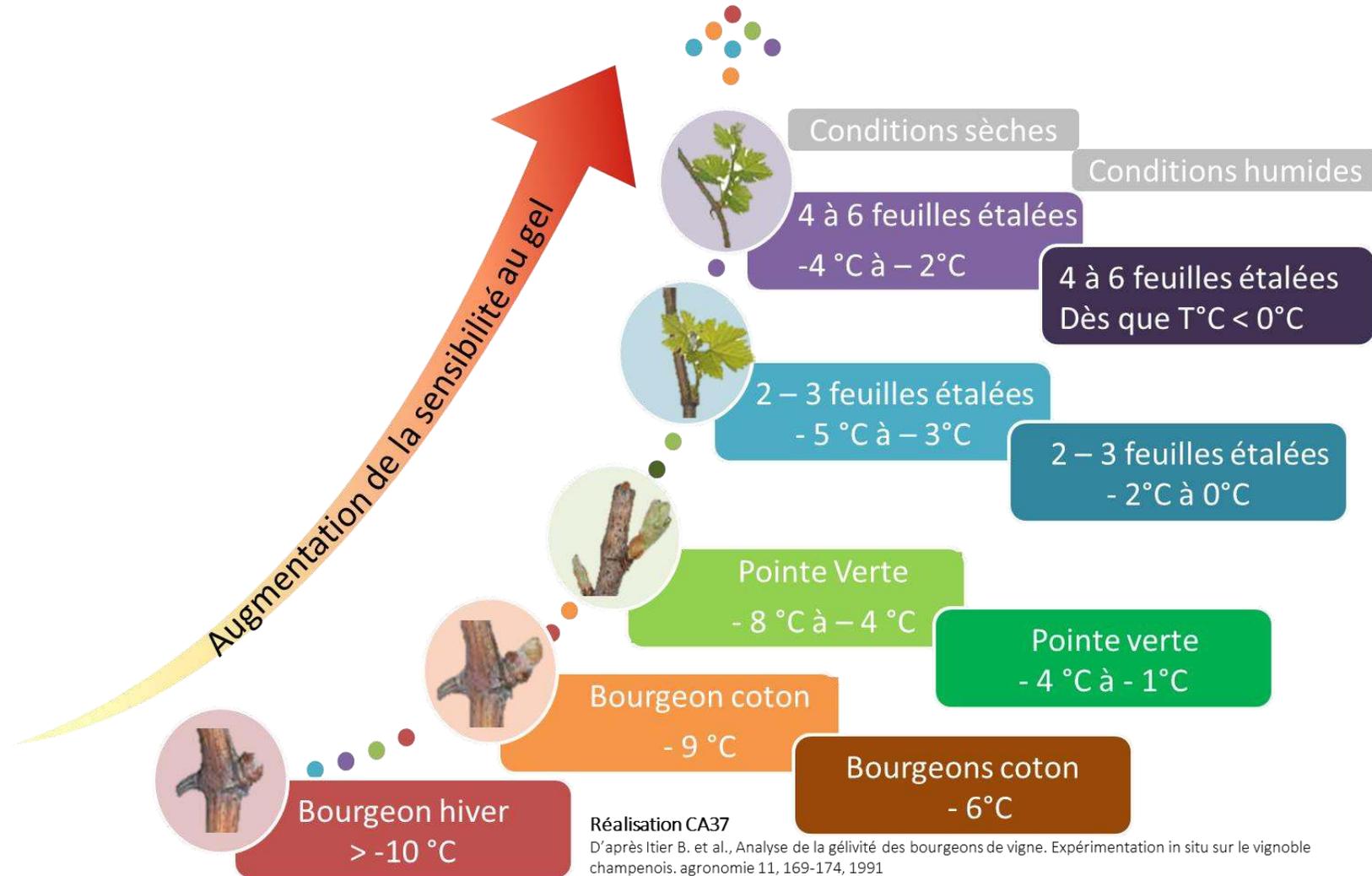
Zone de vergers située dans la vallée du Rhone au sud de la Vienne ; E^ = rayonnement net.*

Gel radiatif \neq Gel advectif =

- Méthodes de lutttes +/- efficaces
- Nécessité de déterminer le type de gel pour connaitre les moyens les plus efficaces



Risque gel et protection du vignoble

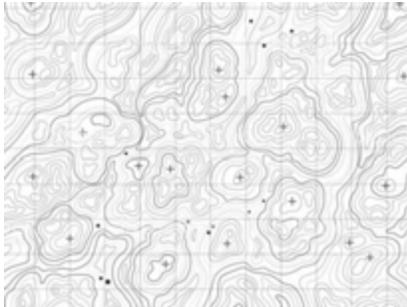


NB : En conditions humides, dans des secteurs gélifs, ou avec des facteurs aggravant (vents, enherbement, fond de vallon...) la sensibilité pourra augmenter avec un **abaissement du seuil de 1 à 3 °C**



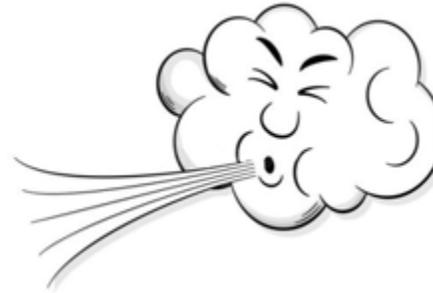
Protection du vignoble

Topographie



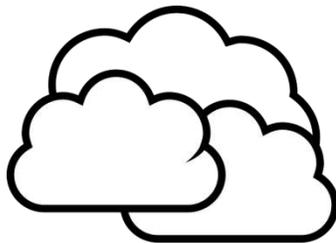
• **La topographie** influence fortement la répartition spatiale des températures minimales

Vent



• **Le vent** : sa direction déterminera lors d'un gel advectif, la nature de la masse d'air (température, humidité) et l'absence de vent facilitera l'installation d'un gel radiatif

Nébulosité



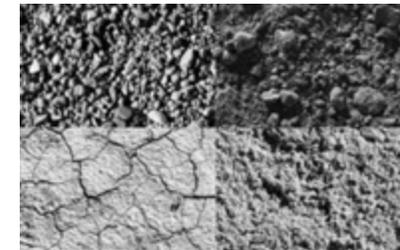
• **La nébulosité** : les nuages absorbent en grande partie le rayonnement terrestre et le restitue au sol

Humidité



• **L'humidité de l'air** diminue les pertes de chaleur du sol par l'émission de rayonnement thermique, et élève la température du point de rosée

Sol



• **Le sol** : La perte de chaleur d'un sol est liée à sa structure, à sa texture, à sa porosité et surtout à son mode de conduite



Protection du vignoble

Choix de la parcelle :

Eviter d'installer les parcelles dans des zones gélives où l'air froid s'accumule et stagne (creux de terrain, fond de vallon)

La présence de haies compactes, de bandes boisées peuvent s'opposer à la circulation de froid et ainsi augmenter le risque gel

Matériel végétal

Choix d'un cépage ou clone avec un débourrement plus tardif ou avec des bourgeons secondaires fructifères pour une meilleur reprise après gel

Pratiques culturales :

Taille tardive : retarde le débourrement

Retarder l'attachage : Etalement du débourrement + éloignement du sol pour les bourgeons du bout

Gestion du sol

Avant fin mars : Maitrise de l'enherbement SR et IR : la distance entre la cime de l'herbe et le bourgeons > 30cm

Eviter les paillages au sol : Retard du réchauffement du sol

48h avant un risque de gel : pas de travail du sol ni de tonte

Contexte

- L'humidité est un facteur clef de l'aggravation des dégâts de gel
- En plus du stade phénologique, +25% d'hygrométrie peuvent faire varier les dégâts de 50% sur le nombre de bourgeons grillés (Observations 2020)
- Avril : période de reprise du travail du sol inter-rang et cavillon et de la gestion de l'enherbement

Dispositif initial

- 8 parcelles
 - 4-8 à Quincy
 - 4 en Indre et Loire
- Concomitance des épisodes à risque et des confinements en 2021
- Faible pluviométrie au 1^{er} trimestre 2021 et sécheresse 2022

Dispositif alternatif

- Observations sur un réseau de parcelles sans ITK différencié
- Une parcelle avec ITK différencié en période à risque
- Une parcelle avec ITK différencié hors période à risque

→ Objectif :

- % d'HR « libéré » par le travail du sol
- Durée durant laquelle ce % HR est présent

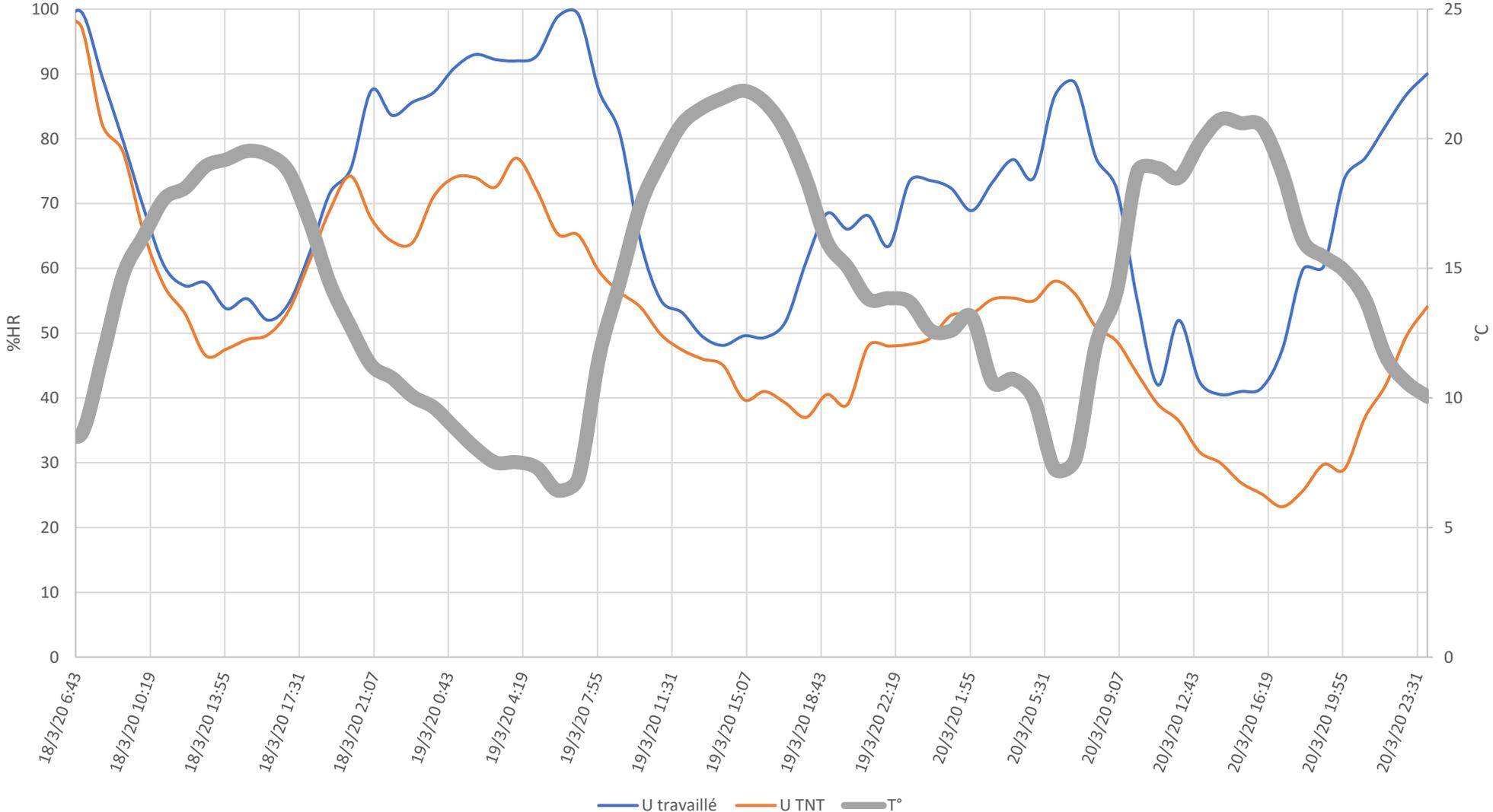
Dispositif dense



- 3 capteurs T° et hygrométrie au niveau du fil de tête
- Suivi T°/HR
- Pluviométrie cumulée j-30
- Cavillon travaillé VS ø
- Tonte tardive VS ø

Résultats

%HR au niveau des bourgeons selon l'ITK



Résultats

Travail du sol au matin

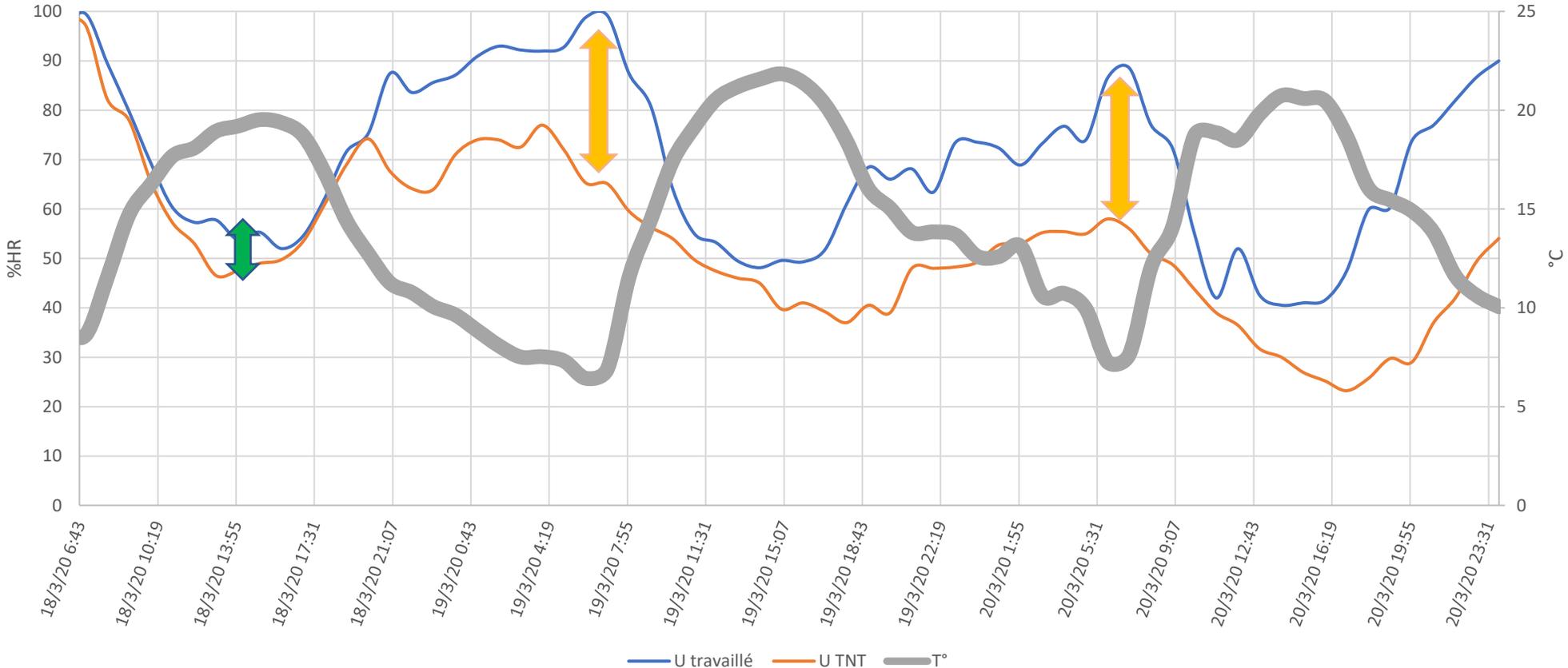


Peu d'impact à J=0

J+1
98% HR vs 65 %HR

J+2
88% HR vs 58 %HR

%HR au niveau des bourgeons selon l'ITK



Résultats

- Pendant 3 jours après un travail du sol : jusqu'à +30% d'HR au niveau des bourgeons aux heures les plus froides
- Selon
 - Les sols drainants ou non
 - Le cumul de précipitations depuis le 01/01
 - La T° du sol
- ➔ 8 jours secs avec T° moyennes quotidiennes > 15°C sont nécessaires pour retrouver une HR équivalente au niveau des bourgeons selon l'ITK
- ➔ 20 jours nécessaires si précipitations >20mm/ jour lors des 20 derniers jours

Discussion

- Engrais verts « dépassant » les bourgeons
 - Apport d'humidité VS protection physique
 - Aucun succès observé
 - Difficulté d'implantation d'un engrais vert
 - Incertitude sur la hauteur
 - Apport d'humidité certain

Conclusions

- Stratégies et succès différents selon le stade
- Organisation de l'ITK = prophylaxie
- Situations différentes selon la précocité du cépage//millésime//situation locale

Conclusions

Consignes de bonnes conduites :

- ➔ Concernant l'enherbement, tonte rase j-7 (modulo hauteur /densité)
- ➔ Echecs observés à j-4 dans le cas de couverts de trèfles denses >20cm
 - ➔ « Si on se trempe les pieds en marchant dedans, on le fait sécher le plus tôt possible »

Conclusions

- ➔ Concernant le travail de l'inter-rang :
 - ➔ En condition sèche (>120mm depuis le 01/01 et >10mm j-15) aucun dégâts observés
 - ➔ En condition humide : si $T^{\circ}\mu > 11^{\circ}\text{C}$ et pluviométrie classique,
 - ➔ Bascule à j-4
 - ➔ Δ rayonnement/ réchauffement des sols

- ➔ Concernant le cavaillon :
 - ➔ Selon les modes conduite, j-7



Protection du vignoble

- Aspersion

Principe	Etablir un équilibre eau-glace autour des organes végétaux : la transformation de l'eau en glace produit de la chaleur
T°C limite d'efficacité	- 6°C
	<ul style="list-style-type: none">- Efficace contre tous les types de gel- Atteint toutes les parties à protéger- Non polluant- Automatisable
	<ul style="list-style-type: none">- Gestion du déclenchement délicate- Nécessité d'une source d'eau importante 40m³/h/ha- Soumise à réglementation pour le captage d'eau- Saturation en eau des sols (asphyxie)- Augmentation de l'érosion des sols et du lessivage- Demande d'entretien de l'installation





Protection du vignoble

- Tours à vent

Principe	Uniformise les températures en mélangeant la couche d'air chaude en altitude et la couche d'air froide au sol
T°C limite d'efficacité	- 4°C
	<ul style="list-style-type: none">- Peu de besoin en main d'œuvre- Peu de surveillance- Déclenchement automatisé- Non polluant- Effet asséchant sur le bourgeon (limite sa sensibilité)
	<ul style="list-style-type: none">- Inefficace contre le gel advectif- Inefficace en cas de vent important > 10km/h- Bruyant : 70 à 100 dB à 300m- Efficacité dépend de son positionnement et de la topographie des lieux- Aspect paysager



Il existe des tours antigel fixe pliable pour limiter la pollution visuelle



Protection du vignoble

- Tours à vent

Principe	Uniformise les températures en mélangeant la couche d'air chaude en altitude et la couche d'air froide au sol
T°C limite d'efficacité	- 3°C
	<ul style="list-style-type: none">- Peu de besoin en main d'œuvre- Peu de surveillance- Déclenchement automatisé- Non polluant- Effet asséchant sur le bourgeon (limite sa sensibilité)
	<ul style="list-style-type: none">- Inefficace contre le gel advectif- Inefficace en cas de vent important > 8km/h- Bruyant : 45 à 50 dB à 300m- Efficacité dépend de son positionnement et de la topographie des lieux



Même principe qu'une tour antigel fixe mais :

- Moins efficace
- Moindre surface
- Moins bruyant
- **Effet synergie et positionnement très important pour un gain d'efficacité**



Protection du vignoble

- Hélicoptère

Principe	Rabat au sol la couche d'air chaude en altitude dans les plaines Vide les bas fonds de l'air froid accumulé la nuit
T°C limite d'efficacité	NC
	<ul style="list-style-type: none">- Grande surface couverte (20ha)- Peu de main d'œuvre et de surveillance
	<ul style="list-style-type: none">- Inefficace contre les gels advectifs- Inefficace en cas de vent important- Bruit important : 100 dB à 300m- Pas de décollage avant 7h ou Nécessité d'autorisations spéciales pour voler avant le lever du jour aéronautique- Passage toutes les 10 min pour éviter la reformation du gel



Capteurs de température nécessaire sur l'hélicoptère pour localiser le niveau de la couche d'inversion et établir une hauteur de vol



Protection du vignoble

- Chauffage gaz

Principe	Réchauffage de l'air + Rayonnement infra rouge <i>(Distribution du propane aux différents brûleurs sous forme gazeuse à faible pression) - 150 brûleurs / ha</i>
T°C limite d'efficacité	- 8°C
	<ul style="list-style-type: none">- Bonne efficacité (comparable au fuel pulvérisé)- Automatisation possible- Non polluant
	<ul style="list-style-type: none">- Main d'œuvre importante (pose et dépose du matériel)



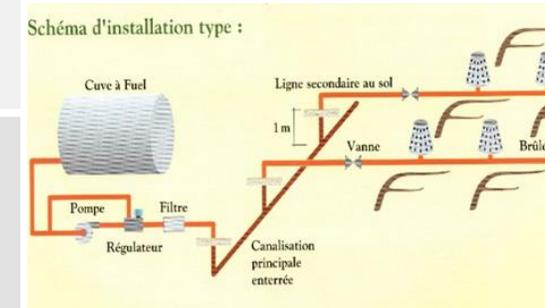
Source : Système de cuves à gaz mobile
Guide pratique viticulture durable en Champagne, Le vigneron champenois, 2018



Protection du vignoble

- Chaufferettes

Principe	Réchauffage de l'air avec 200 brûleurs / ha
T°C limite d'efficacité	- 9°C (sec) / - 7°C (humide)
	<ul style="list-style-type: none">- Bonne efficacité- Automatisation- Réglage fin de la puissance
	<ul style="list-style-type: none">- Entretien annuel des gicleurs- Pollution de l'air (400 L fuel /h)- Main d'œuvre importante (pose et dépose du matériel)



Source : Schéma d'installation du dispositif
Les gelées de printemps, Le vigneron champenois/CIVC, 1991



Protection du vignoble

- Bougies

Principe	Réchauffage de l'air avec 400 bougies / ha / 8h
T°C limite d'efficacité	- 4°C
	<ul style="list-style-type: none">- Moins polluant que le fuel- Efficace contre tous les types de gel- Adapté aux petites parcelles
	<ul style="list-style-type: none">- Pas d'efficacité sur les fortes gelées- Allumage délicat- Manutention lourde (20h/ha/3nuits)- Couteux en cas de gelées fréquentes



Les bougies peuvent être remplacées par des buches calorifiques dont l'autonomie est plus réduite (~4h)



Interdiction de cire d'origine pétrochimique = remplacement par de la cire végétale mais se consomme plus vite (12h → 8h)

1 bougie = 1 à 2 nuits selon l'utilisation contre 3 nuits auparavant



Protection du vignoble

- Fils chauffants

Principe	Réchauffage de l'air à proximité des bourgeons par un dégagement de chaleur de 5 cm autour du câble
T°C limite d'efficacité	- 5°C
	<ul style="list-style-type: none">- Bonne efficacité- Efficace sur tout type de gel- Démarrage automatique
	<ul style="list-style-type: none">- Pas adapté à tous les types de taille (Guyot / Cordon)- Nécessité de grandes puissances (compteur électrique et groupe électrogène)- Perte d'efficacité avec l'avancement de la végétation- Raccordement à un transformateur EDF

Quelques chiffres :

- 12 W du mètre linéaire
- Puissance de 80kW pour protéger 1ha



Système amélioré qui revient en force

- Chaleur plus forte autour des fils
- Plus résistant
- Absence de cuivre



Protection du vignoble

- Convecteurs

Principe	Réchauffage de l'air grâce à un canon à air chaud fonctionnant au gaz
T°C limite d'efficacité	- 2°C
	<ul style="list-style-type: none">- Efficace sur tout type de gel- Démarrage automatique possible- Adapté aux petites surfaces (protège 0,5ha)- Moins polluant que le fuel (propane : 10,5kg/h)
	<ul style="list-style-type: none">- Positionnement en milieu de parcelle, compliqué en vignes étroites- Efficacité de 15m autour de la machine- Inefficace en cas de vent > 10km/h- Bruyant : 50 dB à 50m



Système Frostbuster : Même fonctionnement que le FrostGuard mais système tracté : passage toutes les 7 à 10min maximum – 8ha



Protection du vignoble

- Heat Rangers

Principe	Réchauffage de l'air grâce à un canon à air chaud fonctionnant au gaz sur un rayon de 250m
T°C limite d'efficacité	- 4°C
	<ul style="list-style-type: none">- Pilotage automatisé à partir de mesures continues de températures- Protection entre 10 à 20ha selon l'intensité du gel- Faibles nuisances sonores
	<ul style="list-style-type: none">- Coût- Diminution de l'efficacité en cas de vent ou rupture de paysage- Diminution de l'efficacité en cas de fortes gelées- Besoin d'un parcellaire groupé



Issu de Nouvelle Zélande

- Très plat
- Gelée blanche mais descend peu en T°C
- Toujours les mêmes courants d'air, pas de gel advectif



Protection du vignoble

- Nébulisation (Viti Protect)

Principe	Création d'un brouillard artificiel afin d'éviter les déperdition de chaleur au cours de la nuit à l'aide d'un produit : mélange d'eau, d'huiles végétales, et d'oligoéléments
T°C limite d'efficacité	- 5°C
	<ul style="list-style-type: none">- Système pouvant être utilisé en enjambeur ou interligne- Système mobile- Peu polluant
	<ul style="list-style-type: none">- Inefficace en cas de gel advectif- Inefficace dès que le vent se lève (dissipation du brouillard)- Passage toute la nuit pour maintenir le brouillard- Le brouillard suit les reliefs (stockage dans les bas fond)



Nécessité d'avoir un parcellaire regroupé



Protection du vignoble

- Nouveautés

- **Aspersion : Les Pulsars de NETAFIM**

Nouveau système d'aspersion bas débit

+ : basse consommation d'eau, idéal pour les régions avec une réserve d'eau plus limitée

- : Prix = 15000 € (équipement, pompe, tuyaux) contre 11 000 €
Système aérien





Protection du vignoble

- Nouveautés

- Tours antigel Frost Fan

Tours antigel à 4 ou 5 pales

+ : Moins bruyant (55 dB à 300m)

Faible consommation de carburant (20L/h au lieu de 36L/h)

Prix 42 000 contre 40 000 €

- : Moindre protection pour les fortes gelées

Moins efficace dans le cas de gelée noire et en cas de vent





Protection du vignoble

- Nouveautés

- Les voiles

Voile d'hivernage sous lequel de l'air chaud est fourni par une chaufferette

+ : Efficacité gel radiatif

- : arrachage en cas de vent fort

Interdit en AOC

Aggravation risque gel advectif





Protection du vignoble

- Pistes de recherche :

- **Projet SICTAG**

Optimiser le déclenchement des tours antigel par des dispositifs automatiques

+ : Diminuer $\frac{1}{4}$ la consommation de gaz et du bruit

Gestion de l'allumage, amélioration du pilotage

Trouver le positionnement optimal des tours

- : A voir ...

- **Ombrea / Sun'agri**

Système de contrôle climatique : il déploie et se rétracte afin de moduler l'ombrage au sol. Ce mouvement permet d'ajuster les paramètres climatiques comme l'humidité, la température ou encore la lumière grâce à une dizaine de capteurs qui récupère en direct les données météorologiques sur chaque parcelle équipée





Protection du vignoble

- Nouveautés

- Les voiles

Voile d'hivernage sous lequel de l'air chaud est fourni par une chaufferette

+ : Efficacité gel radiatif

- : arrachage en cas de vent fort

Interdit en AOC

Aggravation risque gel advectif





Comparaison

Méthodes de lutte	Gelée Blanche	Gelée Noire	Gel Advection
Aspersion			
Tour anti gel fixe *			
Tour anti gel mobile *			
Hélicoptère *			
Bougies			
Combustion gaz / Fuel Pulvérisé			
Fils chauffants			
Brulage paille			
« FrostGuard »			
« Heat Rangers »			
« Viti Protect K30 »			



Très efficace



Efficace



Efficacité limité



Inefficace



Protection du vignoble



**Toutes ces méthodes perdent en efficacité si les vents $\geq 8\text{km/h}$
et deviennent inefficaces au delà de 16km/h**

Gel rare quand il vente



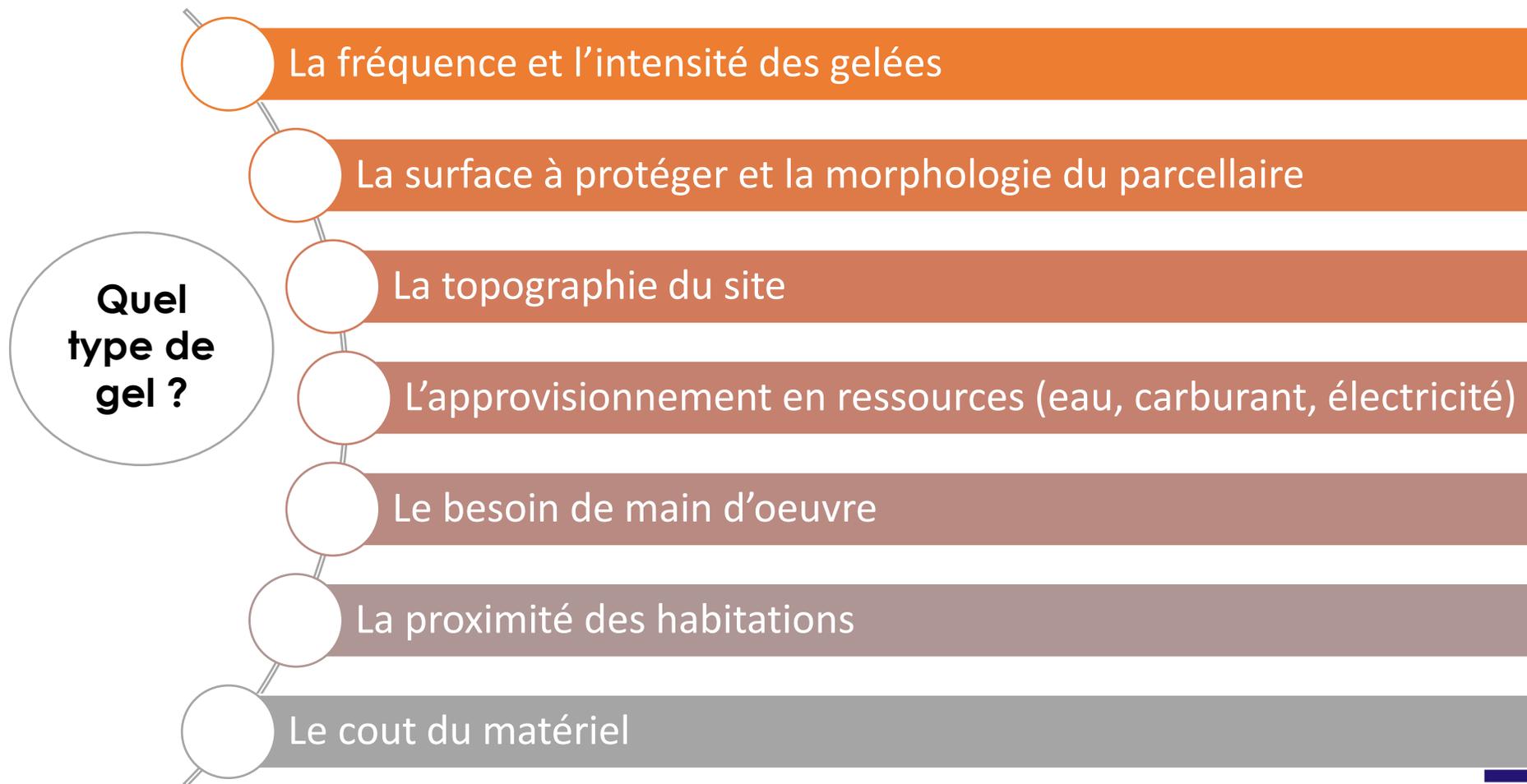
Protection du vignoble

Méthodes de lutte	Surface de protection
Aspersion	Pas de surface limite de protection
Tour anti gel fixe	5 ha
Tour anti gel mobile	3 ha
Hélicoptère	20 ha
Bougies	Pas de surface limite de protection
Combustion gaz / Fuel Pulvérisé	Pas de surface limite de protection
Fils chauffants	Pas de surface limite de protection
« FrostGuard »	0,5 ha
« FrostBuster »	5 ha
« Heat Rangers »	10 à 20 ha
« Viti Protect K30 »	5 ha



Protection du vignoble

Le choix d'un système de lutte contre le gel va dépendre de multiples facteurs :





Protection du vignoble

- Tour anti-gel mobile : aucune procédure
- Tour anti-gel fixe :
 - Pas besoin de permis de construire (hauteur < 12 m et surface au sol < 5 m²)
 - Sauf en secteur sauvegardé, en site classé ou en réserve naturelle : déclaration préalable requise
- Point de vigilance : indispensable de vérifier les dispositifs en vigueur dans la commune d'implantation



Protection du vignoble

- Prélèvements en cours d'eau ou forage :
 - > 400 m³ /h : procédure de déclaration
 - > 1 000 m³ /h : procédure d'autorisationen ZRE (Zone de Répartition des Eaux)
 - < 8 m³ /h : procédure de déclaration
 - > 8 m³ /h : procédure d'autorisation
- Création de plan d'eau :
 - Superficie > 1 000 m² : procédure de déclaration
 - Superficie < 3 ha : procédure d'autorisation