

**Interreg  
Sudoe**



**Co-funded by  
the European Union**

# **An-Gel Sudoe**

Cette publication ne reflète que les opinions de l'auteur.

La Commission européenne n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans ce document.

## **État des lieux de la lutte contre le gel en France, en Espagne et au Portugal.**

**Résumé**



## An-Gel Sudoe

<b>Projet</b>	An-Gel Sudoe (S1/2.4/F0016). " Alerter et lutter contre le gel de printemps dans l'agriculture et l'arboriculture".
<b>Group de taches</b>	Étude et définition de solutions durables
<b>Activité</b>	A.1.1. Étude de l'état de l'art au niveau transnational
<b>Produit livrable</b>	E.1.1.1. Rapport transnational sur l'état de l'art
<b>Niveau de diffusion</b>	Public
<b>Date de validation</b>	16/12/2024
<b>Bénéficiaire responsable</b>	Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries Àrea de Producció Vegetal Programa de Fructicultura
<b>Bénéficiaires participant à l'activité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Association Climatologique de la Moyenne-Garonne et du Sud-Ouest</li> <li>– Chambre d'Agriculture de la Dordogne</li> <li>– Invenio</li> <li>– NEIKER-Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario, S.A. Producción Protección Vegetal</li> <li>– Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental</li> <li>– Instituto Politécnico de Bragança Escola Superior Agrária</li> <li>– Comunidade Intermunicipal Viseu Dão Lafões</li> <li>– Hydrometeorological Innovative Solutions, S.L.</li> </ul>

INDEX

<b>A.</b>	<b><i>Introduction .....</i></b>	<b>4</b>
<b>B.</b>	<b><i>Études régionales et locales sur le changement climatique .....</i></b>	<b>4</b>
<b>C.</b>	<b><i>Les épisodes de gel les plus pertinents de ces dernières années .....</i></b>	<b>5</b>
<b>D.</b>	<b><i>Principes du gel .....</i></b>	<b>6</b>
<b>E.</b>	<b><i>Systèmes de défense contre le gel.....</i></b>	<b>7</b>
<b>F.</b>	<b><i>Aspects sociaux du gel et de son contrôle .....</i></b>	<b>9</b>
<b>G.</b>	<b><i>Le rôle de l'assurance agricole dans la gestion des risques liés au gel .....</i></b>	<b>10</b>
<b>H.</b>	<b><i>Conclusions et visions pour l'avenir des problèmes liés au gel .....</i></b>	<b>11</b>

## A. Introduction

**AN-GEL Sudoe** est un projet visant à rassembler et à étendre les connaissances sur l'occurrence des gelées printanières sur les arbres fruitiers et les vignes, leurs mécanismes d'action et les systèmes de lutte contre ces gelées dans différentes régions de France, d'Espagne et du Portugal.

La première étape pour atteindre l'objectif spécifique proposé dans le projet est de rassembler et de systématiser les connaissances sur les mécanismes du gel printanier en arboriculture et en viticulture, le risque de son apparition dans le contexte du réchauffement climatique, ainsi que les systèmes de contrôle disponibles et les implications sociales de son apparition.

Cet état des lieux aborde également le rôle des assurances agricoles, les implications sociales du gel et l'application des méthodes de lutte dans chacune des régions et des cultures touchées.

Enfin, des conclusions sont tirées sur l'état des connaissances en matière de gel et de lutte contre le gel, ainsi que sur les priorités de la recherche pour faire face aux nouvelles situations qui apparaîtront dans le scénario changeant résultant des effets du changement climatique.

## B. Études régionales et locales sur le changement climatique

Les résultats des études sur l'évolution du climat au cours des dernières décennies et les projections futures sont très similaires dans les différentes zones de projet.

Au cours des 70 dernières années, depuis 1950, une **augmentation des températures moyennes** a été observée dans toutes les régions :

- Espagne: 1,3°C en moyenne,
  - Murcia : 1,5°C (avec des différences entre les zones urbaines +1,6°C - et les zones rurales +1,3°C -),
  - Pays Basque: 1°C (produit entre 1985 et 2023 et surtout au cours des 10 dernières années) ;
- France (Agen): 1,8°C au cours des 30 dernières années (augmentation moyenne de la température tous les dix ans de +0,5°C, +0,4°C et +0,9°C au cours des trois dernières décennies).
- Portugal (Bragança): environ 2°C. Principalement dû à l'augmentation de la température maximale en février et mars.

Une diminution du nombre de jours de gel a également été observée :

- Pays basque: Le nombre de jours de gel printanier entre 1984 et 2023 a été réduit d'environ 1,5 jour.
- Portugal (Bragança). L'occurrence du gel dans le nord-est du Portugal, malgré la grande variabilité interannuelle, a diminué au cours des dernières décennies, en particulier au cours de la période 2012-2022. Le mois d'avril a également connu une tendance à la baisse de l'occurrence du gel et une diminution de sa sévérité.

Et une augmentation des températures hivernales.

- Pays Basque: Les températures moyennes en février et mars montrent une augmentation d'environ 0,6 °C de 1984 à 2023, principalement au cours des 30 dernières années. La température minimale absolue en avril montre une certaine stabilité de 1984 à 2003, et une augmentation d'environ 0,6°C au cours des 20 dernières années.

**Une augmentation de la température moyenne, une diminution du nombre annuel de jours de gel et une incidence plus faible des gelées de printemps ont été observées dans toutes les régions.**

## An-Gel Sudoe

Cependant, **une avance dans le débourrement et la phénologie de toutes les espèces d'arbres a également été très clairement observée, ce qui les rend beaucoup plus sensibles aux épisodes de gel tardif**. Par exemple, pour la vigne, depuis 1980, une avance moyenne de 15 à 20 jours a été observée en Europe. Pour le châtaignier en France, depuis près de 10 ans, les variétés Bétizac et Marigoule débourrent avec une dizaine de jours d'avance.

Les **projections climatiques** indiquent une **augmentation des températures** au cours des prochaines décennies :

- Pays basque : on estime que la température annuelle moyenne augmentera de 0,85°C au cours des 30 prochaines années, tandis que le nombre de jours de gelée printanière restera inchangé au cours de la même période.
- Agen : Augmentation de la température entre 1,8°C et 2,8°C dans les 30 prochaines années. Dans 70 ans, la température moyenne à Agen augmenterait de 5°C à 6°C.
- Dordogne : les températures moyennes pourraient augmenter de 2°C à 4°C d'ici la fin du siècle, tandis que les températures minimales pourraient augmenter de 0,95°C en 2050 et de 2,94°C en 2100 par rapport à la médiane 1985-2020.

Les projections prévoient également une **diminution de l'occurrence du gel** :

- En Espagne, il sera particulièrement important dans les bassins du Duero et de l'Ebre (entre 10 et 20 jours de moins en 2060), tandis que dans les zones côtières de la Communauté valencienne et de Murcie, la présence de gel sera un phénomène extrêmement rare.
- Agen : d'ici 2053, une quinzaine de jours de gelées annuelles auront été perdus entre octobre et avril et entre mars et mai, le nombre de jours de risque de gelée diminue.
- Dordogne : le nombre de jours de gel sera réduit de 30 à 50 % en 2050 et disparaîtra pratiquement en 2100. La date des dernières gelées serait avancée de 10 jours en 2050 et de près d'un mois en 2100 par rapport à la période 1985-2020.

Cependant, il n'y a pas de consensus clair sur l'effet du réchauffement climatique futur sur l'occurrence et la sévérité des gelées de printemps. En revanche, **il est incontestable que le démarrage de la végétation à la fin de l'hiver se fera de plus en plus tôt, bien qu'avec des différences entre les régions**. Dans le cas de la vigne, par exemple, on s'attend à une avance de 28 à 31 jours en Allemagne et de 7 à 11 jours en Espagne.

En tout état de cause, et toujours dans un contexte de forte incertitude, il est probable que le nombre de gelées de printemps diminuera, mais lorsqu'elles se produiront, les effets seront beaucoup plus graves en raison du plus grand nombre de cultures à un stade sensible que l'on peut trouver à ce moment-là.

### C. Les épisodes de gel les plus pertinents de ces dernières années

Dans chaque zone climatique, les épisodes de gel les plus dommageables se produisent à des moments différents en fonction des conditions météorologiques et des cultures qu'ils affectent.

Dans les régions françaises productrices de fruits de la moyenne **Garonne et de la vallée de l'Ebre** en Espagne, les épisodes de gel printanier les plus importants se produisent généralement au **début du mois d'avril**. Les épisodes les plus récents ont eu lieu les 3 et 4 avril 2022 et les 5 et 6 avril 2021, ce qui a entraîné des pertes de production importantes dans les deux zones.

Dans la région de **Murcie** en Espagne, les gelées les plus sévères se produisent généralement **en janvier** (10-12 janvier 2019 et 23-24 janvier 2023) car la phénologie des arbres fruitiers dans cette région est beaucoup plus précoce que dans d'autres régions.

En revanche, au **Pays basque**, les gelées de la **mi-avril à la fin avril** sont les plus dangereuses, car elles affectent les vignes, qui sont déjà dans un état sensible.

Dans la région des châtaigniers de **Dordogne et des arbres fruitiers du Portugal**, les gelées du **début et de la mi-avril** ont le plus d'impact.

Les gelées de février 1956 restent dans les mémoires de toutes les régions car, à la suite d'une vague de froid polaire qui a touché toute l'Europe, les températures ont été inférieures à -20°C pendant plusieurs jours consécutifs, ce qui a entraîné la disparition de nombreuses espèces méditerranéennes dans toutes les régions.

## D. Principes du gel

---

La connaissance des principes physiques du gel est essentielle pour comprendre le fonctionnement du gel et les possibilités des différents systèmes de lutte contre le gel.

Les gelées se produisent lorsque l'équilibre entre l'énergie reçue et stockée par un organe sensible de la plante et l'énergie émise par cet organe est négatif et que la perte d'énergie provoquée par ce processus entraîne une baisse de la température en dessous des seuils de sensibilité et des dommages aux organes. Ces seuils varient en fonction de l'espèce et du stade phénologique des plantes, la période la plus sensible dans le cas des arbres fruitiers étant celle de la floraison et de la nouaison.

D'un point de vue conceptuel, le gel est produit par des processus physiques de rayonnement, d'advection et/ou d'évaporation. Dans le premier cas, l'abaissement de la température est le résultat d'une perte de chaleur par le processus de **radiation**, où le bilan entre l'énergie émise par le sol et les plantes vers l'environnement par rapport à l'énergie reçue par l'environnement et celle stockée dans ces corps est tellement négatif qu'il provoque un abaissement de la température qui, s'il est inférieur à la température seuil des cultures, cause des dommages à la production ou à la qualité. Ce sont les gelées les plus fréquentes dans les zones incluses dans le projet. Elles se produisent dans des situations anticycloniques avec la présence d'air froid et sec dans toute l'épaisseur de l'atmosphère, avec un ciel clair et l'absence de nuages qui empêcheraient la perte d'énergie par rayonnement. Dans ces conditions, il se produit une inversion thermique qui fait que les couches d'air en contact avec le sol et les plantes sont plus froides que celles situées à une certaine hauteur. C'est le type de gel qui est le plus accessible pour combattre ses effets avec les différents systèmes de défense.

Les gelées d'**advection**, également appelées "gelées noires", sont provoquées par un déplacement horizontal d'une masse d'air froid qui, dans nos régions, correspond à une invasion d'air du nord au nord-est, provoquant une température négative, quelle que soit la couverture du ciel ou l'humidité de l'air. Ce type de gel peut survenir à tout moment de la journée et se produit plutôt en hiver et dans l'est de la France. En apportant de l'air sec et froid, il crée souvent des conditions propices aux gelées de rayonnement les nuits suivantes lorsque le vent s'arrête, augmentant considérablement les dégâts (comme ce fut le cas en février 1956 ou en janvier 1985).

Les gelées par **évaporation** se produisent lorsque les plantes sensibles sont couvertes de rosée ou d'eau après une averse ou une irrigation interrompue, et que la température ambiante avoisine 0°C à -2°C. Si, dans ces conditions, l'air est légèrement agité et que l'air plus sec entre en contact avec les plantes humides, une partie de l'eau se transforme en vapeur et de l'énergie est extraite des plantes humides. Cela provoquera une baisse soudaine de la température des cellules végétales qui causera des dommages si elle descend en dessous du seuil de sensibilité pendant un temps suffisant.

Si ces trois types de gel peuvent être identifiés et expliqués objectivement, dans la réalité, ils peuvent se produire simultanément ou successivement au cours d'une même nuit, ce qui rend difficile leur analyse et leur interprétation sur le moment.

## E. Systèmes de défense contre le gel

Les méthodes **passives de défense contre** le gel sont les systèmes, activités et pratiques que l'on pourrait également qualifier de "préventifs" et qui seraient appliqués avant que le gel ne se produise afin d'essayer d'en minimiser les effets s'il se produit.

Une bonne protection contre le gel commence dès la planification d'un projet de plantation. L'étude de la probabilité de gel et du risque de dégâts dans la zone, ainsi que l'étude microclimatique de la parcelle, sont essentielles pour garantir une localisation correcte des plantations et éviter des bouleversements économiques une fois que l'investissement dans la plantation (parfois très élevé) a déjà été réalisé.

Après la plantation, un certain nombre d'activités et de pratiques ont un effet sur les dégâts causés par le gel et pourraient réduire la nécessité de mesures de lutte active. Dans nos conditions, voici quelques méthodes de protection passive :

- Une **alimentation correctement équilibrée** sans excès de produits fertilisants
- **Systèmes de formation et de taille adaptés**. Par exemple, les grands arbres ou la taille tardive dans les vignobles.
- **Gestion correcte du sol**. Un sol compacté, sans enherbement (ou avec un enherbement très faible) et avec une teneur en eau correspondant à la capacité du champ serait la situation la plus favorable pour la capacité de stockage et de transmission de la chaleur du sol.

Les systèmes de **protection active** sont ceux qui s'activent en cas de gel afin d'en prévenir au maximum les effets néfastes. Il en existe plusieurs types en fonction du principe physique sur lequel repose leur action.

Les premiers systèmes sont basés sur l'apport d'eau, en continu et en quantité suffisante, afin que la chaleur latente générée par le gel de cette eau maintienne la température des organes sensibles au-dessus du seuil qui les endommagerait. Pour ce faire, on utilise des systèmes d'irrigation **par aspersion** (avec des débits compris entre 35 et 45 mm/heure). Pour les secteurs moins gélifs, et là où la ressource en eau est moindre, la **micro-aspersion** continue ou intermittente (avec des débits compris entre 12 et 30 mm/heure et une pression de fonctionnement moindre) est utilisée sous-frondaison et des essais sont encore en cours pour le sur-frondaison. Ce sont les systèmes de défense les plus avantageux car ils permettent une augmentation considérable des températures dans tous les types de gel et leur coût est le plus bas par rapport à la protection obtenue (entre 600 et 1 200 €/ha et par an). Leur principale limite est la grande quantité d'eau (ainsi que la sécurité de sa disponibilité) nécessaire pour que le système puisse fonctionner sans interruption pendant les heures nécessaires. Certaines espèces de fruits ne supportent pas le phénomène d'asphyxie racinaire qui existe momentanément.

Les systèmes de **ventilation fixes ou portables ne fonctionnent que dans des situations d'inversion thermique**, sans vent, et leur efficacité dépend largement de la différence de température entre les couches d'air et de la distance par rapport au ventilateur. Leur coût de fonctionnement est plus élevé que celui des systèmes à eau (environ 1700-1800 €/ha/an pour 10 heures de gel) et le niveau de protection qu'ils offrent est limité et souvent incertain.

Les systèmes avec **chaufferettes ou chauffages mobiles** fournissent de la chaleur sous forme de rayonnement ou de convection par la combustion de divers matériaux : mazout, gaz, pellets,

## An-Gel Sudoe

briquettes ou résidus de biomasse végétale. Les bougies de paraffine (bidons) sont également largement utilisées. L'efficacité dépend du nombre de points d'émission installés et de la puissance calorifique de chacun d'entre eux. Pour obtenir des augmentations de température appréciables (2,5-3°C), un grand nombre d'unités est nécessaire (60 à 400 par ha selon le modèle) et leur coût d'exploitation est assez élevé (entre 2500 et 5000 €/ha et par an avec 10 heures de gel par an). Le fonctionnement, l'allumage et l'entretien de ces systèmes nécessitent beaucoup de main-d'œuvre, et les carburants à base de pétrole ne sont pas très durables et génèrent une grande quantité de fumée. Ils conviendraient pour les petites parcelles, les cultures de grande valeur et les gelées peu fréquentes, là où d'autres méthodes ne sont pas possibles.

En résumé, il n'existe pas de système universellement adaptable et tous présentent des aspects positifs et négatifs ainsi que des limites qui les rendent plus ou moins applicables dans différents contextes de production. Quoi qu'il en soit, **lorsque l'eau est disponible, les systèmes basés sur sa contribution sont généralement les plus intéressants.**

En ce qui concerne l'utilisation de produits chimiques dans la protection contre le gel, il existe une large gamme de produits sur le marché international qui sont vendus sous l'allégation d'atténuer les dommages causés par le gel. Le mode d'action de ces produits varie en fonction du type de produit et de sa formulation. Traditionnellement, l'éthéphon et d'autres phytorégulateurs ont été utilisés pour retarder la date de floraison et échapper à la période de risque de gel, mais l'utilisation de ce phytorégulateur n'est pas autorisée dans certains pays et son application peut présenter un risque de réduction du rendement. Le paclobutrazol, l'acide abscissique (ABA) et les huiles minérales (et végétales) ont également été testés comme retardateurs de végétation.

La capacité de certains nutriments minéraux (potassium, calcium, bore et acide ortho-silicique) à protéger les cultures contre le stress dû au froid et à réduire les dommages causés par le gel a été évaluée par différents auteurs. Cependant, les résultats de la littérature scientifique montrent que l'efficacité de ces nutriments est variable et dépend du type de nutriment, des conditions de culture et d'application et de l'évolution du gel. Au niveau expérimental, certaines molécules organiques telles que les acides aminés libres, les polyamines, les protéines antigél, les oligosaccharides ou les nanocristaux de cellulose se sont avérés avoir un certain effet sur l'augmentation de la résistance au gel de certaines cultures.

Actuellement, on trouve sur le marché des produits anti-transpirants et biostimulants qui revendiquent commercialement une activité de résistance au gel. Les anti-transpirants sont généralement basés sur des résines de type bêta-pinène tandis que les biostimulants consistent en une combinaison de différents types de composants (polyéthylène glycol, sels minéraux, antioxydants tels que l'alpha-tocophérol, phospholipides ou hydrates de carbone). Dans certains cas, il existe des études scientifiques qui confirment l'efficacité de ces produits (*Basfoliar® Frost Protect ; Kryoss*) mais, dans de nombreux cas, ce n'est pas le cas et il existe peu d'informations fiables sur leur mode d'action et l'amélioration qu'ils apportent. Il serait intéressant de poursuivre l'expérimentation en conditions contrôlées de ces produits qui pourraient apporter une protection (même partielle) dans le cadre d'une stratégie combinée de lutte contre le gel.

## F. Aspects sociaux du gel et de son contrôle

Les gelées, les mesures adaptées pour les combattre et leurs effets sur la production et la qualité des cultures touchées ont un impact social important tant sur les producteurs touchés que sur la société qui vit avec eux, mais sans avoir de relation directe avec la production agricole.

Le **point de vue des producteurs** sur la gestion des risques de gel et l'utilisation des moyens de défense sont d'une grande importance pour garantir la production de certaines cultures et pour leur développement et leur durabilité à long terme.

D'autre part, compte tenu du fait que la population active consacrée à la production agricole est de moins en moins nombreuse (en Catalogne, elle dépasse à peine 1 % de la population active totale) et représente un pourcentage de plus en plus faible de l'économie, la **réponse sociale** des personnes non liées à l'agriculture dans les aspects liés à l'apparition du gel et aux mécanismes de défense contre celui-ci peut conditionner de plus en plus l'application de cette mesure.

La présence de fumées ou de particules provenant de la combustion des produits phytosanitaires en raison de l'apport de chaleur, le bruit généré par les tours de ventilation ou la concurrence entre l'utilisation de l'eau pour la protection des cultures et d'autres utilisations peuvent conditionner la possibilité d'utiliser ces systèmes de défense et, dans certains cas, compromettre la viabilité de certaines cultures ou variétés dans certaines zones.

En ce sens, dans les différentes régions où le projet est mis en œuvre, une évaluation a été faite des facteurs de conditionnement social et des réactions qui se produisent en relation avec le gel et son contrôle.

Au **Pays basque**, les cultures sensibles aux effets du gel (vignes destinées à la production de vin) sont concentrées dans des zones très spécifiques de la Rioja Alavesa, qui sont essentiellement rurales et où la production de vin est à la base de l'économie locale. Dans ce contexte, la protection contre le gel est connue, acceptée et suscite très peu de réactions sociales.

Malgré la valeur significative de la production, la grande majorité des producteurs n'utilisent pas actuellement de systèmes actifs de lutte contre le gel sur les vignes.

Dans la région de **Murcie**, la production de fruits et légumes primeurs est l'une des principales activités agricoles. **La valeur élevée de ces produits signifie que la protection contre le gel est une activité importante pour maintenir la production.** Le problème le plus important est généré par l'incinération de substances très fréquemment utilisées pour lutter contre le gel dans la Vega de Murcia, avec **la génération de fumées** qui en découle. Cette situation affecte à la fois la santé publique et l'environnement des populations les plus proches des zones de production (Cieza, Abarán ou Molina de Segura) et génère parfois des controverses à caractère social. La mise en œuvre de meilleures pratiques agricoles et l'adoption de technologies propres seront essentielles pour atténuer les effets négatifs sur les populations environnantes.

**Lleida** est connue dans le monde entier pour ses fruits sucrés, qui occupent quelque 34 000 hectares, soit environ 82 % de la surface fruitière catalane totale, et constituent une référence en matière de culture fruitière dans l'ensemble de l'Espagne.

**La protection contre le gel de ces cultures a toujours été une préoccupation des producteurs**, qui s'est accrue ces dernières années en raison des différents épisodes de gel importants qui se sont produits. Cela s'est traduit par un investissement accru dans les systèmes de défense active, en particulier dans les **installations d'arrosage et de micro-aspiration** (dans les zones où l'eau est disponible) et, dans une moindre mesure, dans les tours d'aération, les voiles ou les chaufferettes.

## An-Gel Sudoe

Par ailleurs, la question du gel et les méthodes de contrôle utilisées ne provoquent généralement pas de conflits sociaux au-delà des nuisances générées par l'utilisation de systèmes de production de fumée à proximité des grandes villes et surtout de la capitale provinciale.

Dans la zone de production de châtaignes du sud-ouest de la **France**, l'effet du gel sur la diminution de la production est très important (jusqu'à 70 % dans les pires conditions). Malgré cela, **les producteurs n'appliquent pas de systèmes de lutte active et se contentent d'essayer d'équilibrer la balance économique de la production**, sachant que beaucoup d'entre eux ont d'autres activités que la production de châtaignes. Pour la vigne et les vergers, la lutte est appliquée sur les parcelles à haut revenu comme les kiwis et la pomme et privilégie l'eau comme moyen de lutte. Lorsque des tours à vent sont utilisées il existe souvent des problèmes de voisinages qui peuvent être réduits par une bonne communication. Les fumées ne sont plus considérées comme un moyen efficace de lutte ce qui annule les griefs vis à vis des problèmes de santé ou simplement de risque d'accident de la route par diminution de la visibilité.

Au **Portugal**, bien que les gelées de printemps soient très fréquentes dans certaines régions, notamment à l'intérieur du pays et en particulier dans le nord-est, où la production fruitière revêt une importance économique et sociale considérable, **l'utilisation de méthodes actives de protection contre le gel est négligeable et limitée à quelques producteurs**. Par conséquent, les aspects sociaux ou économiques les plus pertinents sont liés aux pertes de production et à leurs conséquences pour la viabilité économique des producteurs, des coopératives et des autres entreprises du secteur. L'assurance récolte minimise ces impacts, mais elle n'est pas suffisante pour garantir la durabilité de l'activité agricole à moyen et long terme.

### G. Le rôle de l'assurance agraire dans la gestion des risques liés au gel

L'assurance agricole est un élément essentiel de la couverture des dommages causés par le gel dans les différents pays. Le système est très développé dans les trois pays du projet. Dans tous les cas, il existe une base législative importante pour son fonctionnement.

Le nombre de contrats augmente surtout en Espagne et au Portugal, où les agriculteurs bénéficient d'une subvention importante sur les primes d'assurance, pouvant aller jusqu'à 70 % de leur valeur.

Dans le contexte actuel, avec un risque croissant d'augmentation des phénomènes extrêmes, tous les systèmes cherchent des mécanismes pour **assurer leur durabilité** en sélectionnant les risques assurables et en adaptant la couverture à la nouvelle situation climatique, avec en contrepartie un soutien et des subventions accrues à la souscription de polices, en particulier dans le cas de groupes prioritaires tels que les jeunes agriculteurs professionnels et les exploitations agricoles prioritaires.

## H. Conclusions et visions pour l'avenir des problèmes liés au gel

Après avoir passé en revue les différents aspects liés à l'incidence du gel sur les cultures et les méthodes de défense disponibles, il est possible de tirer quelques conclusions et réflexions sur la situation actuelle, l'évolution et les aspects les plus pertinents qui devraient être pris en compte dans la gestion future de ces événements.

**Malgré l'augmentation globale des températures, les dégâts causés par les gelées de printemps pourraient croître de manière significative.** La combinaison de températures hivernales plus douces qui modifient la phénologie des cultures, en avançant l'apparition des stades les plus sensibles, avec des épisodes sporadiques mais intenses d'invasion d'air polaire, peut augmenter les pertes économiques des cultures dues à ces gelées.

C'est pourquoi les méthodes de défense contre le gel joueront un rôle clé dans les années à venir.

Les méthodes de défense passive deviendront de plus en plus importantes car elles constituent le moyen le plus efficace et le plus économique de prévenir les dégâts causés par le gel. Les **connaissances microclimatiques** au niveau des parcelles de production, ainsi que des études de risque **actualisées**, seront fondamentales pour prendre des décisions concernant les nouvelles plantations. En ce sens, les récents travaux réalisés en Murcie dans ce but peuvent servir d'exemple à suivre dans d'autres zones de production.

De même, l'étude de l'impact au niveau local d'autres **techniques de défense passive peu coûteuses et faciles à appliquer** (retardement de la taille, gestion du sol et de la couverture végétale, gestion de l'irrigation lorsqu'elle est disponible) devrait être une priorité. De même, l'effet sur le gel et la gestion optimale des structures de protection des cultures telles que les couvertures en plastique, les couvertures thermiques ou les filets anti-grêle sont également intéressants.

Dans cette optique, parmi les activités de ce projet An-Gel Sudoe figure l'étude de la **taille tardive appliquée** aux vignobles du Pays basque et de l'effet sur le bilan thermique des parcelles de différentes installations et systèmes de gestion (structures de protection combinées à la gestion de la couverture végétale et de la teneur en eau du sol).

De même, l'utilisation de la **cartographie thermique** est un bon outil pour déterminer les différences de température au niveau des parcelles en fonction de la position géographique et de la gestion du sol et de l'eau. Dans le cadre du projet An-Gel Sudoe, de telles mesures seront également effectuées sur de grandes surfaces dans différentes zones de production.

L'amélioration des modèles de prévision météorologique et des systèmes d'alerte au gel répartis dans la région de production (stations pilotes), coordonnés avec les alertes via des bulletins techniques et des moyens de transmission numériques, permettra aux professionnels de la culture de mieux anticiper et planifier la mise en œuvre des stratégies de protection contre le gel.

En ce qui concerne les techniques de protection, la stratégie active visant à **augmenter la capacité radiative du sol** en maintenant sa saturation en eau pendant la période critique des gelées de printemps semble être une approche prometteuse. Elle doit cependant être adaptée à la physiologie des cultures (notamment le châtaignier qui ne tolère pas l'excès d'humidité) et aux capacités techniques d'application de l'eau. L'application de cette technique, combinée à la gestion du couvert pour concilier l'optimisation des conditions thermiques du sol (meilleure avec un sol nu) avec les avantages du maintien du couvert, est un enjeu majeur pour l'amélioration de la lutte contre le gel.

L'optimisation des principales techniques de protection active est également un autre défi à relever dans le cadre de ce projet.

Le système de protection basé sur l'**application d'eau sur les plantes par aspersion** ou micro-aspersion est celui qui permet un plus grand degré de couverture dans les différentes conditions climatiques dans lesquelles le gel peut se produire. Cependant, dans un contexte de pénurie et de pression sociale pour réduire la consommation et augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau, l'utilisation de nouveaux systèmes d'application (micro-aspersion pulsée à faible volume et micro-aspersion localisée) sera essentielle. Pour ce faire, il est nécessaire d'expérimenter ces systèmes afin de déterminer leur comportement et leurs limites et d'optimiser la conception et la gestion des installations. Dans ce sens, dans le projet An-Gel Sudoe, plusieurs parcelles pilotes seront installées avec différents systèmes de ce type qui permettront d'accroître les connaissances à leur sujet.

Compte tenu de l'apparition continue de **produits chimiques** ayant différents systèmes d'action et dont l'argument de vente est la protection contre le gel, il serait hautement souhaitable d'effectuer des tests d'efficacité contrôlés afin de valider leur efficacité réelle.

L'utilisation de la cartographie par drone avec une caméra thermique permettra de vérifier l'efficacité des **tours de ventilation** le long du terrain environnant et en même temps de voir l'effet de la dessiccation produite par le flux d'air sur la résistance au gel. A cet égard, l'effet de ce phénomène sur les bactéries de congélation sera intéressant.

Fin 2026, après la mise en œuvre des expérimentations et l'échange de données et d'expériences entre les différentes zones, nous aurons progressé dans la connaissance et dans la proposition de solutions efficaces pour le contrôle et la réduction des dégâts causés par les gelées de printemps.