



LIFE FROSTDEFEND



Layman's Report

LIFE20 CCA/GR/001747

IDENTITÉ DU PROJET

Durée

01/09/2021-31/08/2026

Bénéficiaire coordinateur

NCSR «Demokritos»

Bénéficiaires associés

Université Agricole d'Athènes

Union des Coopératives Agricoles
d'Aigio

Institut National de Recherche pour
l'Agriculture, l'Alimentation et
l'Environnement (INRAE)

MSSENSIS SA

Budget total éligible

1,941,770 €

Contribution financière de l'UE

1,032,674 €

Avec le soutien financier du Green
Fund

PROJECT IDENTITY

Duration

01/09/2021-31/08/2026

Coordinating Beneficiary

NCSR «Demokritos»

Associated Beneficiaries

Agricultural University of Athens

Agricultural Cooperatives' Union of
Aeghion

France's National Research Institute
for Agriculture, Food and
Environment (INRAE)

MSSENSIS SA

Total Eligible Budget

1,941,770 €

EU Financial Contribution

1,032,674 €

With contribution from the Green
Fund



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

INRAE



msensis



Le défi : les dégâts du gel dans les cultures fruitières

Le changement climatique accroît la variabilité des conditions météorologiques, provoquant des événements extrêmes de plus en plus fréquents et intenses. Ses effets se font notamment sentir dans l'agriculture, un secteur directement dépendant des ressources naturelles.

Bien que les températures moyennes augmentent, le gel reste un risque majeur pour les cultures. Les arbres fruitiers sont en effet particulièrement vulnérables lors de certaines phases de développement, telles que la floraison et la nouaison.

Des hivers plus doux entraînent une floraison plus précoce, à une période où des gelées tardives peuvent toujours survenir, augmentant ainsi le risque de dégâts et de pertes de production.

The challenge: Frost damage in fruit crops

Climate change is making weather patterns more unstable, leading to more frequent and intense extreme weather events. Its impact is particularly visible in agriculture, a sector that depends directly on natural resources.

Although average temperatures are rising, frost remains a serious risk for crops. For example, temperate fruit crops are particularly vulnerable during critical growth stages, such as flowering and fruit set.

Milder winters can trigger earlier plant growth, while late spring frost (LSF) may still occur, increasing the risk of damage and production losses.



ÉPISODES DE GEL: DES CONSÉQUENCES GRAVES POUR L'AGRICULTURE

FROST EVENTS: SEVERE IMPACTS ON AGRICULTURE



2017



Un seul épisode de gel tardif en Europe au printemps 2017 a entraîné des pertes économiques de **3,3 milliards d'euros**, dont seulement 18 % étaient assurés.

A single LSF across Europe in spring 2017 resulted in economic losses of **3.3 billion euros**, of which only **18%** were insured



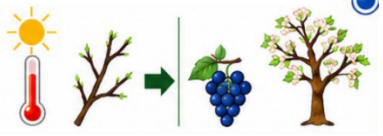
3,3 milliards € de pertes
3.3 billions losses



18 % seulement couverts par une assurance
Only 18% insured

2021

En 2021, les températures exceptionnellement élevées de mars ont accéléré la croissance des plantes dans de nombreuses régions d'Europe. Peu après, le gel qui a suivi a causé des dégâts dans les vignobles et les vergers de plusieurs pays européens.



In 2021, the unusually high temperatures in March accelerated plant growth in many parts of Europe. Shortly after, the frost that followed caused damage to vineyards and fruit trees in several European countries

2022

En Grèce, un épisode de gel sévère en janvier 2022 a fortement affecté les régions de production d'agrumes en Argolide, Laconie, Achaïe et Arta, réduisant la qualité et de la valeur commerciale des fruits.

In Greece a severe frost event in January 2022 significantly affected citrus growing regions in the Regional Units of Argolida, Laconia, Achaea, and Arta reducing the quality and market value of the fruit.



➤ **10 millions € d'indemnisation**

➤ **10 million € in compensation**

Selon les statistiques de l'Organisation hellénique des assurances agricoles, au cours de la période 2015-2024, plus de 35 millions d'euros ont été versés en indemnisation pour les dommages causés aux cultures d'agrumes.

According to the Hellenic Agricultural Insurance Organization, during the period 2015-2024, more than 35 million € were paid in compensation for damage to citrus fruits



Les épisodes de gel représentent une menace importante pour les cultures, la qualité des récoltes et les revenus des agriculteurs.

Frost events pose a serious threat to agricultural production, product quality and farmers' income



La surveillance et les systèmes d'alerte précoce peuvent contribuer à limiter les dégâts et à renforcer la capacité du secteur agricole.

Monitoring and early warning can reduce damage and strengthen the resilience of the agricultural sector.



Le projet LIFE FROSTDEFEND développe et teste des outils et des solutions pour mieux se préparer aux épisodes de gel et améliorer la protection des cultures.

LIFE FROSTDEFEND develops and tests tools and solutions to improve preparedness and crop protection against frost.

Tolérance au gel

Chaque culture possède son niveau maximum de tolérance au gel. La température à partir de laquelle les dommages commencent à apparaître, ou température critique, n'est pas fixe : elle varie selon l'espèce, la variété, le tissu concerné et le stade de développement.

Pendant la dormance hivernale, les arbres

fruitiers des régions tempérées peuvent tolérer des températures plus basses. Cependant, lorsque la croissance reprend au printemps, leur tolérance au gel diminue. Les

bourgeons, les fleurs, les jeunes feuilles et les petits fruits sont généralement plus sensibles que les tissus dormants. Ainsi, une température sans conséquence en hiver peut devenir préjudiciable plus tard dans la saison, lors d'un épisode de gel printanier tardif.

Les agrumes sont également sensibles au gel, notamment lorsqu'ils sont exposés au froid pendant plusieurs heures. Les agrumes résistent au froid grâce à deux mécanismes : l'acclimatation au froid et la surfusion des tissus. Leur tolérance au gel peut ainsi varier en fonction des températures auxquelles ils ont été exposés au cours des semaines précédant un épisode de gel.

Le risque de gel doit donc être évalué en tenant compte du type de culture, du porte-greffe, du stade phénologique et de la durée d'exposition des plantes aux basses températures.

Cold hardiness

Each crop has its own level of maximum frost tolerance. The temperature at the onset of damages, or critical temperature, is not fixed: It changes depending on the species, variety, plant tissue and growth stage.

During winter dormancy, temperate fruit trees can tolerate lower temperatures. However, as

plants start growing in spring, their cold hardiness decreases. Buds, flowers, young leaves and small fruits are usually much more sensitive than dormant tissues. This means that a temperature that may not cause damage in winter

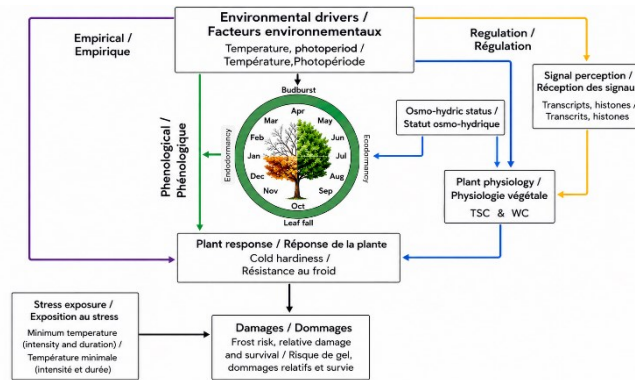
can become harmful later in the season (late spring frost).

Citrus crops are also sensitive to freezing conditions, especially when they are exposed for several hours. Citrus tolerate frost thanks to two mechanisms: cold acclimation and supercooling. Their cold hardiness can thus

vary depending on the temperatures they experienced in the days or weeks before a frost event.

Therefore, frost risk must be assessed based on crop type, rootstock, phenological stage and the duration of plant exposure of low

temperatures.



Le rôle des bactéries dans le risque de dommages liés au gel

Chez les plantes, la formation de glace est un processus complexe, dépendant de la température de l'air, mais aussi du type de gel, de la durée d'exposition, de la structure des tissus, du stade de développement et du microclimat.

La formation de glace nécessite un point d'initiation, ou noyau. Ce phénomène, appelé nucléation hétérogène de la glace est déclenché par des points de nucléation externes, comme des agents nucléateurs de glace (micro-organismes ou particules présents en surface de la plante). Ils peuvent également être internes, liés à la structure des tissus végétaux mais qui ne sont pas encore bien identifiés.

Un intérêt particulier est porté à certaines bactéries épiphytes qui colonisent naturellement les surfaces des plantes. Parmi celles-ci figurent les bactéries actives dans la nucléation de la glace (INA), telles que certaines souches de *Pseudomonas syringae*. Elles favorisent la formation de glace sur les tissus végétaux à des températures légèrement inférieures à 0 °C. En termes simples, elles peuvent faciliter la congélation de l'eau à une température moins froide que lorsqu'elles sont absentes.

Lorsque la glace se forme dans ou à proximité des fleurs, elle peut provoquer des dommages cellulaires ce qui se traduit en perte de production. La réduction de l'abondance des bactéries INA en surface des plantes peut abaisser la température de formation de la glace de 1 à 1,5 °C. Cela est particulièrement important pendant la floraison, la nouaison et les premiers stades de développement des fruits, lorsque les tissus sont plus vulnérables.

The role of bacteria in the risk of frost damage

In plants, ice formation is a complex process. It does not depend only on air temperature, but also on the type of frost, the duration of exposure to low temperatures, the structure of plant tissues, the developmental stage of the plant, and the local microclimate.

Ice formation requires a starting point, such as a surface or a small particle that comes into contact with water. This process is called heterogeneous ice nucleation. The starting points may be external, that is, ice-nucleating agents such as microorganisms or particles on the surface of leaves, flowers, and fruits. They may also be internal, meaning that they are associated with structures within plant tissues, which have not yet been fully identified.

Of particular interest are certain epiphytic bacteria that naturally colonize plant surfaces. These include ice-nucleation-active (INA) bacteria, such as specific strains of *Pseudomonas syringae*. They facilitate ice formation on plant tissues at temperatures slightly below 0 °C. In simple terms, they can make water freeze more easily than it would freeze without their presence.

When ice forms in sensitive plant tissues, it can cause cell damage and reduce yield. In several crops, control of INA bacteria living on the plant surface can reduce ice formation on plants by 1-1,5 °C. This is particularly important during flowering, fruit set, and the early stages of fruit development, when tissues are more vulnerable.

Le projet LIFE FROSTDEFEND

LIFE FROSTDEFEND est un projet cofinancé par l'Union européenne, visant à développer et déployer un outil de prévision du risque de gel. Cet outil fournit des alertes précoces aux producteurs et contribue à réduire les dommages liés au gel sur les cultures.

L'innovation LIFE FROSTDEFEND

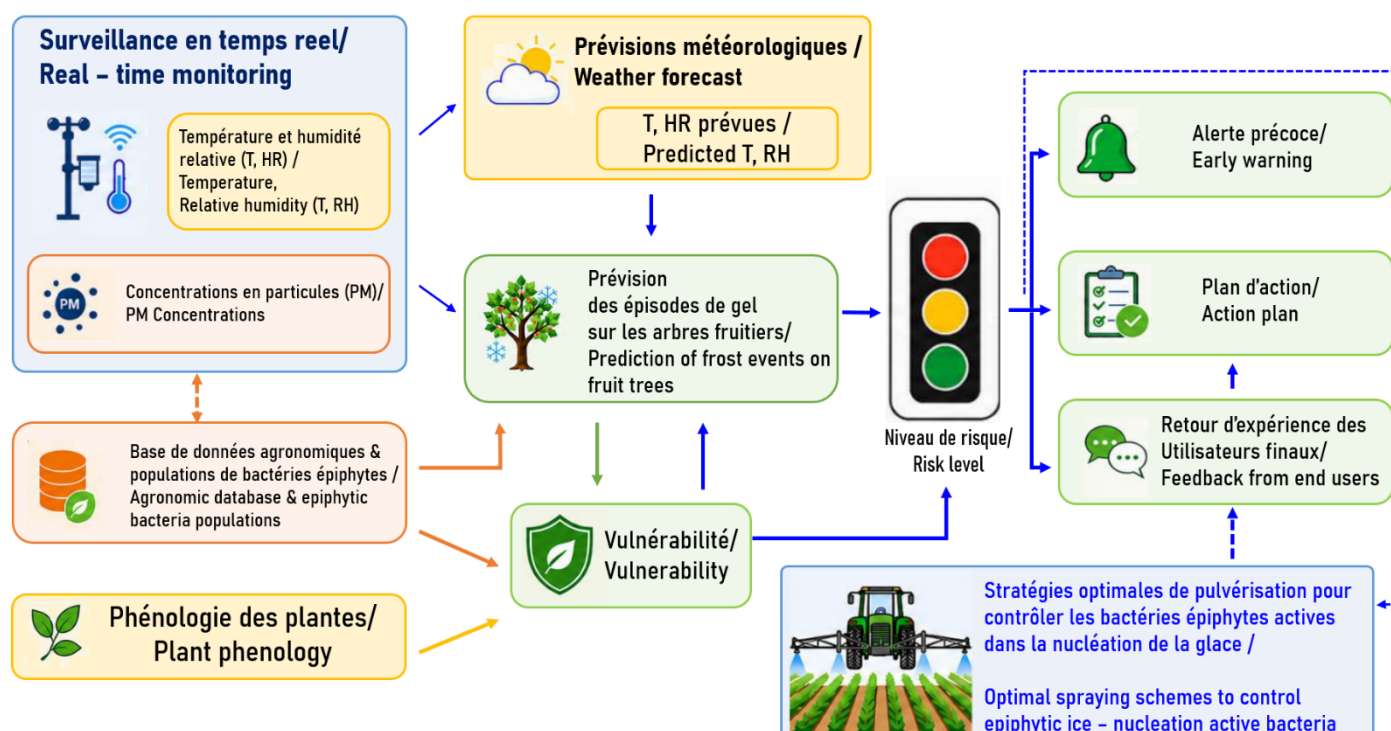
L'innovation du projet LIFE-FROSTDEFEND réside dans le développement d'une application qui combine des données météorologiques, des capteurs de terrain, des informations sur le stade phénologique du développement des plantes et leur tolérance au gel, ainsi que le nombre et l'activité des bactéries actives dans la nucléation de la glace présentes à la surface des plantes. Cette approche permet d'évaluer le risque de gel et de favoriser une préparation en temps utile des producteurs.

The LIFE FROSTDEFEND project

LIFE FROSTDEFEND is a project co-funded by the European Union, aiming to develop and demonstrate a tool for forecasting frost risk. This tool supports timely warnings for growers and helps reduce frost-related damage to crops.

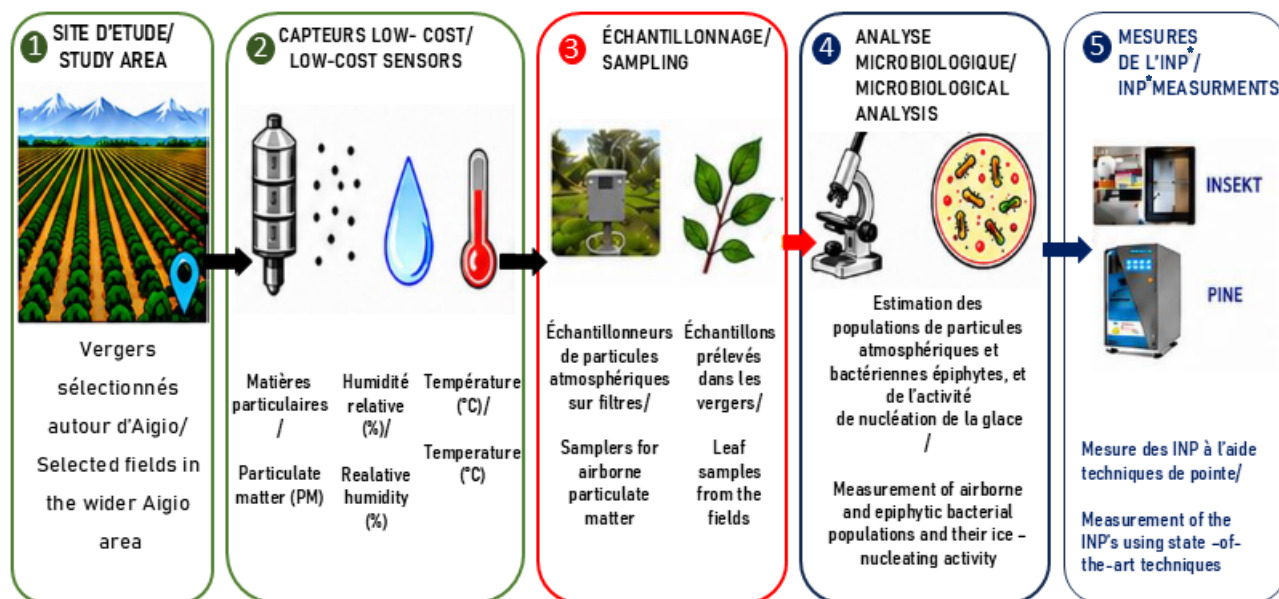
LIFE FROSTDEFEND Innovation

The innovation of LIFE-FROSTDEFEND is the development of an application that combines meteorological data, field sensors, information on the phenological stage of plant development and plant cold hardiness, as well as the numbers and activity of ice nucleation active bacteria on the plant surface, in order to assess frost risk and support growers' timely preparedness.

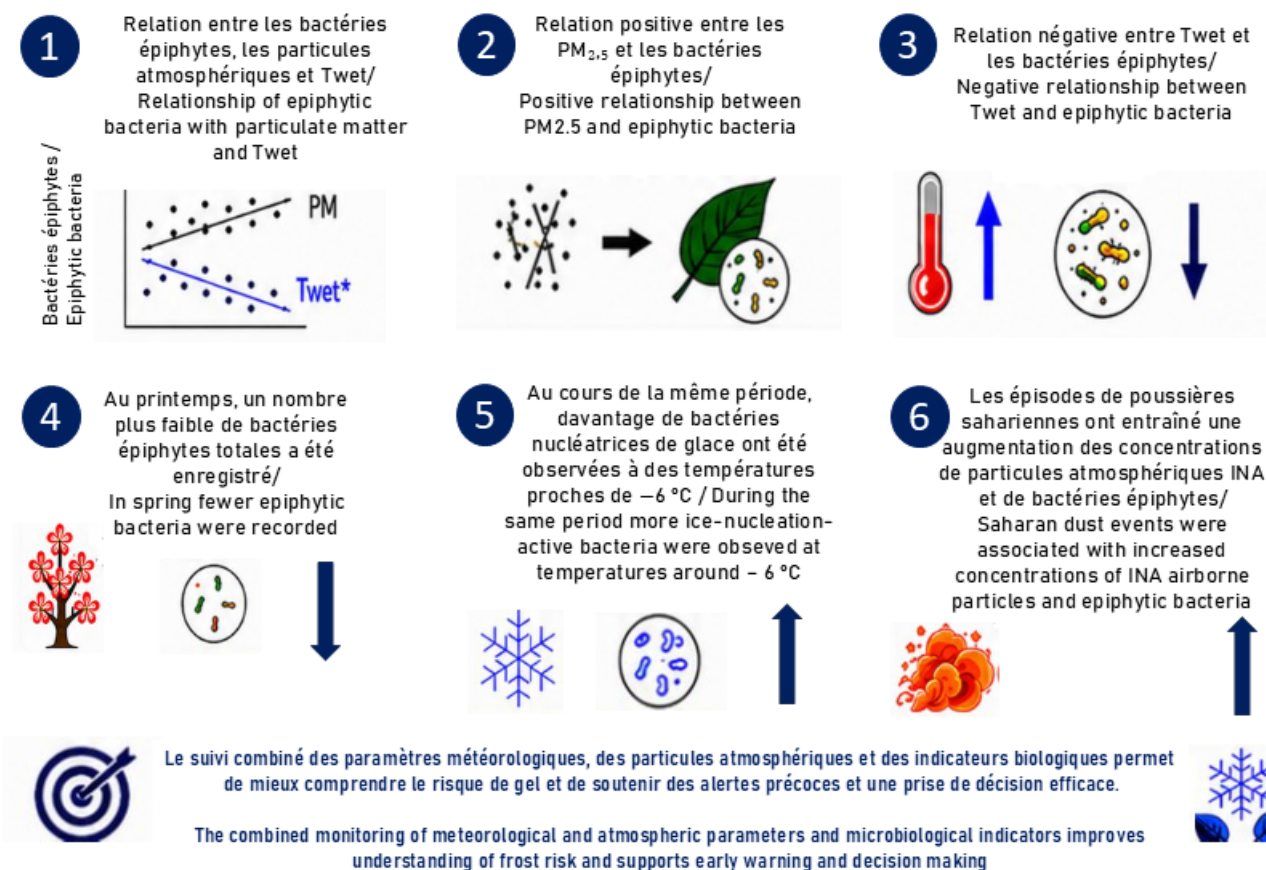


Développement de l'outil LIFE FROSTDEFEND Development of the LIFE FROSTDEFEND tool

MÉTHODOLOGIE - COLLECTE ET ANALYSE DES DONNÉES/METHODOLOGY - DATA COLLECTION AND ANALYSIS



PRINCIPAUX RÉSULTATS / MAIN FINDINGS



*INPs: Ice Nucleating Particles/Particules nucléatrices de glace; Twet: Wet-bulb temperature/Température du bulbe humide

Approche expérimentale pour prédire la vulnérabilité au gel

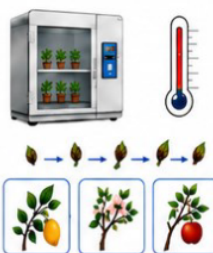
Experimental approach to predict frost vulnerability

1

Chambres à température contrôlée/
Controlled temperature chambers

Nous avons étudié la relation entre la température et la phénologie des bourgeons dans des chambres climatiques à température contrôlée.

We analyzed the relationship between temperature and bud phenology using controlled chambers.

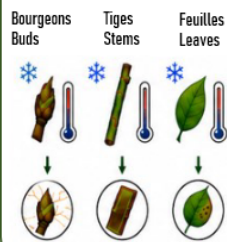


2

Températures de nucléation de la glace et dommages liés au gel/
Ice nucleation temperatures and frost damage

Nous avons mesuré les températures de nucléation de la glace et les dommages causés par le gel sur les bourgeons, les tiges et les feuilles à différents stades phénologiques.

We measured ice nucleation temperatures and frost damage on buds, stems and leaves at different phenological stages



3

Chambre de congélation dédiée à l'étalonnage
Dedicated freezing chamber for calibration

Nous avons développé une chambre de congélation dédiée permettant l'application d'agents INA et le suivi en temps réel du gel de la plante entière.

We also developed a dedicated freezing chamber that enabled INA spraying and real-time monitoring of whole plant freezing



4

Exposition d'arbres entiers dans le centre de la France
Whole - tree exposure in central France

En parallèle, nous avons exposé des arbres entiers à des hivers très froids dans le centre de la France afin d'enregistrer les températures de nucléation de la glace et les dommages causés par le froid dans des conditions plus extrêmes qu'en Grèce.

In parallel we exposed whole trees to very cold winters in central France to record ice nucleation temperatures and cold damage under more extreme conditions than in Greece

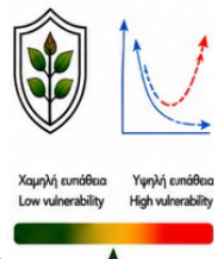


5

Résultat principal
Main outcome

Cette approche expérimentale a permis de révéler comment les plantes acclimatées réagissent aux variations de température et comment ces réponses sont liées à leur vulnérabilité au gel

This experimental approach revealed how acclimated plants respond to shifting temperatures and how this relates to their frost vulnerability



Mise en œuvre pilote et réplcation

Pilot implementation and replication



Région pilote: Achaïe (Aigio), Grèce
Pilot area: Achaia (Aigio), Greece

- Zone de culture d'agrumes avec une activité agricole importante
Citrus – growing area with important agricultural activity
- Exposition aux épisodes de gel affectant la floraison et la nouaison
Exposure to frost events affecting flowering and fruit set
- Site pilote pour le développement des outils et leur déploiement sur le terrain
Pilot site for tool development and field implementation



Zones de réplcation / Replication areas

Argolide, Grèce
Argolida, Greece

- Zone majeure de production d'agrumes/
Major citrus producing area
- Utilisée pour évaluer la transférabilité dans les conditions grecques/
Used to test transferability under Greek conditions

Laconie, Grèce
Laconia, Greece

- Zone sujette au gel avec des cultures d'agrumes/
Frost-prone area with citrus cultivation
- Soutient la validation de l'outil en conditions réelles de terrain/
Supports real field validation of the tool

Puy-de-Dôme, France
Puy-de-Dôme, France

- Contexte de cultures fruitières tempérées et viticoles/
Temperate fruit and vineyard context
- Évalue la transférabilité dans les conditions françaises/
Tests transferability under French conditions



Différentes conditions climatiques/
Different climatic conditions



Validation en conditions réelles de terrain/
Real- field conditions



Transférabilité et réplcation/
Transferability and replication

Parcelles pilotes et de réplcation équipées de stations de suivi au champ

Pilot and replication plots with field monitoring stations

Exemples de déploiements LIFE-FROSTDEFEND en Grèce et en France
Examples of LIFE FROSTDEFEND installations in Greece



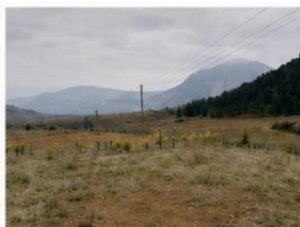
1 Parcelle expérimentale de l'INRAE à Clermont-Ferrand
 INRAE experimental plot in Clermont-Ferrand



2 Parcelle commerciale à Temeni (Aigio)
 Commercial plot in Temeni (Aigio)



3 Parcelle expérimentale à Kounina (500 m d'altitude)
 Experimental plot in Kounina (500 m.a.s.l.)



4 Parcelle expérimentale à Kounina (850 m d'altitude)
 Commercial plot in Kounina (850 m.a.s.l.)



5 Parcelle commerciale en Laconie
 Commercial plot in Laconia



6 Parcelle commerciale en Argolide
 Commercial plot in Argolida



7 Parcelle commerciale à Valimitika (Aigio)
 Commercial plot in Valimitika (Aigio)



Des stations de suivi ont été installées dans les sites pilotes et de réplcation afin de soutenir le suivi du risque de gel et les systèmes d'alerte
 Monitoring stations were installed in pilot and replication areas to support frost -risk monitoring and warning

Évaluation de l'efficacité des programmes de pulvérisation

L'un des objectifs du projet LIFE-FROSTDEFEND était d'évaluer certains produits à base de cuivre, couramment utilisés par les producteurs pour lutter contre les champignons et bactéries pathogènes, afin de déterminer leur capacité à réduire les populations de bactéries actives dans la nucléation de la glace présentes à la surface des feuilles de citronnier lorsqu'ils sont appliqués avant un épisode de gel prévu.

Dans le cadre du projet, quatre programmes de pulvérisation à base de cuivre ont été évalués sur de jeunes citronniers

soumis à des conditions de stress au champ. Tous les

traitements testés ont réduit les populations bactériennes quelques jours après leur application.

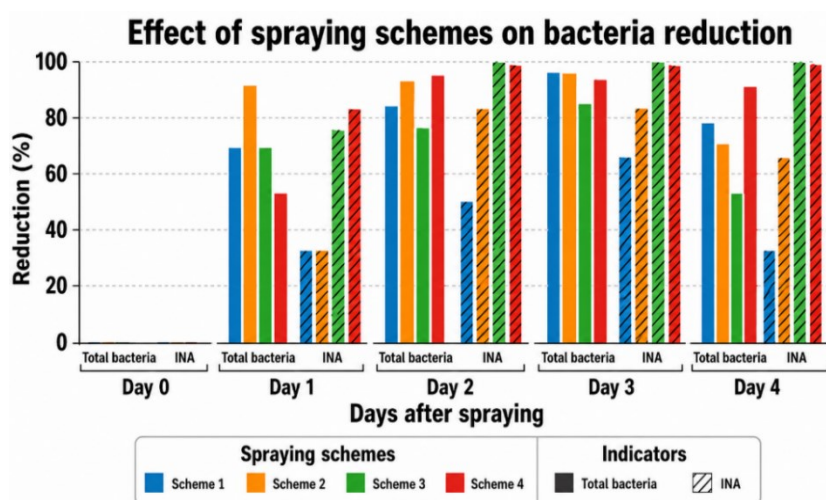
Pour deux des quatre produits, l'activité de nucléation de la glace sur les feuilles a été réduite de 100 % après 48 heures.

Les résultats obtenus sont encourageants. Lorsque la pulvérisation a été appliquée 48 heures avant un épisode de gel, les symptômes de gel ont été réduits de 35 % par rapport aux arbres non traités, démontrant qu'une application effectuée au moment opportun pourrait contribuer à protéger les cultures d'agrumes contre le gel.

Testing the efficiency of spraying scheme

One of the objectives of LIFE-FROSTDEFEND was to evaluate selected copper-based products, which are often used by growers to control pathogenic fungi and bacteria, for their ability to reduce ice-nucleation-active bacteria on lemon leaves when applied before an expected frost event.

As part of the project, four copper-based spraying schemes were tested on young lemon trees growing under field stress conditions.



All tested products reduced bacterial populations a few days after application.

For two of the four products, ice-nucleation activity on the leaves was

reduced by 100% after 48 hours.

The results were encouraging. When spraying was applied 48 hours before a frost event, frost symptoms were reduced by 35% compared with unsprayed trees, showing that timely application may help protect citrus crops from frost.



Principaux outils et activités de diffusion du projet LIFE FROSTDEFEND

Main dissemination tools and activities of LIFE FROSTDEFEND



1



Site web du projet
Project website

2



Dépliants d'information
Leaflets & information
material

3



Séminaires et ateliers
d'information
Seminars and
workshops

4



Journées d'information
& conférences
Info - days &
conferences

5



Événements agricoles
& expositions
Agricultural trade fairs
& exhibitions

6



Activités de
collaboration et de
mise en réseau
Networking activities

7



Publications
scientifiques
Scientific
publications

8



Rapports
techniques
Technical reports





Scientific output



Principales publications du projet LIFE-FROSTDEFEND
Main publications related to LIFE-FROSTDEFEND

1



Ice formation in plants

**Ice Nucleation and
Freezing Consequences
in Perennial Plants**

2



Cold hardiness

**Cold hardiness mechanisms
and modeling: existing
approaches and future avenues**

3



Ice-nucleating particles

**GloPINE dataset: model-ready
measurements of INP
concentrations using
PINE instruments**

4



Dormancy and budbreak

**Is winter coming? Minor effect
of the onset of chilling
accumulation on the prediction
of endodormancy release and budbreak**

5



Tree water status

**Dynamic modeling of stem
water content during the
dormant period in walnut trees**

Ces publications contribuent à renforcer les fondements scientifiques de
l'évaluation du risque de gel et des stratégies d'adaptation des cultures

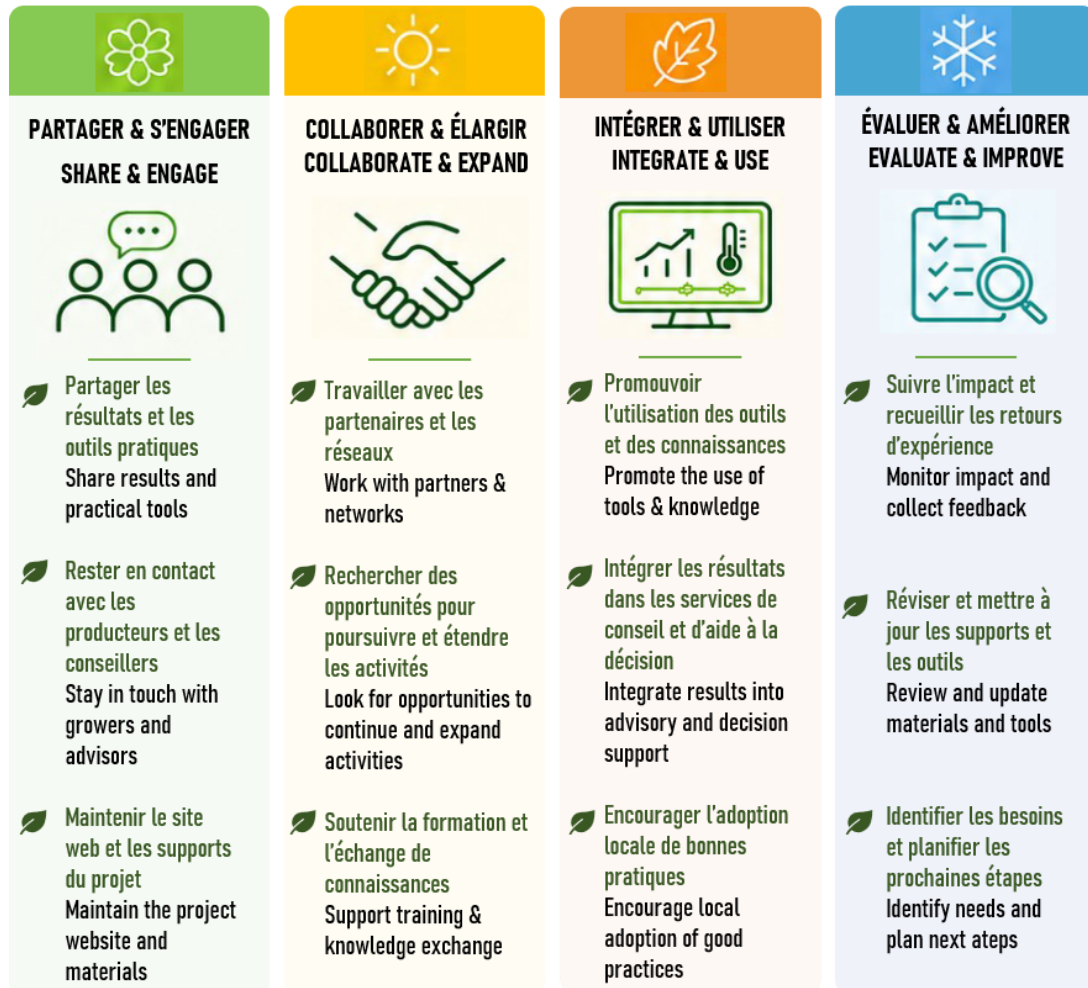
**These publications strengthen the scientific basis
of frost-risk assessment and crop adaptation.**



LIFE FROSTDEFEND AFTER LIFE PLAN



OUR MAIN ROADMAP



PRIORITÉS TRANSVERSALES – TOUT CE QUE NOUS FAISONS CROSS-CUTTING PRIORITIES – IN EVERYTHING WE DO



MESSAGE CLÉ POUR LES PRODUCTEURS, LES AGRONOMES ET LES CONSEILLERS

KEY MESSAGE FOR GROWERS, AGRONOMISTS AND ADVISORS

L'application LIFE FROSTDEFEND permet une alerte précoce et une meilleure préparation face aux épisodes de gel

The LIFE FROSTDEFEND app supports early warning and better preparedness for frost events



Le gel ne peut pas toujours être évité. Cependant, des informations fiables et disponibles en temps utile peuvent aider les producteurs et les agronomes à mieux se préparer et à réduire les risques de dommages.

Frost cannot always be avoided. However timely and reliable information can help growers and agronomists prepare better and reduce risk damage



1 CONNAÎTRE LE RISQUE KNOW THE RISK

L'outil aide les utilisateurs à comprendre quand les conditions peuvent entraîner des dommages liés au gel

The tool helps users understand when conditions may lead to frost damage



2 SE PRÉPARER À TEMPS PREPARE IN TIME

L'alerte précoce permet de disposer de davantage de temps pour organiser et mettre en œuvre les mesures de protection appropriées.

Early warning gives more time to organise and apply suitable protection measures



3 AGIR PLUS EFFICACEMENT ACT MORE EFFECTIVELY

Les informations sur le risque de gel soutiennent des décisions plus pratiques et fondées sur des connaissances scientifiques au niveau du terrain

Frost-risk information supports more practical and evidence-based decisions in the field



Ce que l'app propose



Suivi local du risque de gel

Local frost-risk monitoring



Alertes précoces

Early warning alerts



Soutien à une meilleure préparation/

Support for better preparedness



Observations et retours d'expérience du terrain/

Field observations and feedback

Comment fonctionne l'outil FROSTDEFEND

HOW THE FROSTDEFEND TOOL WORKS



Données de terrain
Field data



Prévisions météorologiques
Weather forecast



Stade de développement & indicateurs biologiques
Growth stage and biological indicators



Évaluation du risque de gel
Frost-risk assessment



Alerte précoce et meilleure préparation
Early warning & better preparedness



Scannez pour découvrir le projet et en savoir plus sur l'outil/l'application FROSTDEFEND

Scan to visit the project and learn more about the FROSTDEFEND tool/app.





LIFE FROSTDEFEND

Επικοινωνία | Contact



NCSR Demokritos

Institut des sciences & technologies nucléaires et radiologiques, de l'énergie & de la sécurité



E-mail: frostdefend@ipta.demokritos.gr



Phone: +30 210 650 3008



Plus d'informations sur le site web

<https://frostdefend.eu/en/>



NCSR Demokritos

Institute of Nuclear and Radiological Science & Technology, Energy & Safety



E-mail: frostdefend@ipta.demokritos.gr



Phone: +30 210 650 3008



More information on the website

<https://frostdefend.eu/en/>



Life-FrostDefend



Life_FrostDefend



Life-FrostDefend

FR

Le projet a bénéficié d'un financement du programme LIFE de l'Union européenne au titre de la convention de subvention n° LIFE20 CCA/GR/001747. Les points de vue et opinions exprimés n'engagent toutefois que leur(s) auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement ceux de l'Union européenne ou de l'Agence exécutive européenne pour le climat, les infrastructures et l'environnement (CINEA). Ni l'Union européenne ni l'autorité octroyant le financement ne peuvent en être tenues responsables.

EN

The project has received funding from the LIFE Programme of the European Union under GA number LIFE20 CCA/GR/001747. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or CINEA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

