

# ANELFA

études et prévention grêle



**Une association au coeur  
des enjeux climatiques  
actuels**



**05 61 52 05 65**

**[anelfa@anelfa.asso.fr](mailto:anelfa@anelfa.asso.fr)**

**[www.anelfa.asso.fr](http://www.anelfa.asso.fr)**



# SOMMAIRE

- 1** L'Anelfa **P.1**
- 2** Notre histoire **P.2**
- 3** L'organisation **P.3**
- 4** Notre mission **P.4**
- 5** La formation de la grêle **P.6**
- 6** Le dispositif de prévention **P.8**
- 7** Financements des associations locales **P.12**
- 8** Efficacité **P.13**
- 9** Environnement et santé **P.14**
- 10** Adhérer **P.16**

# L'Anelfa

est une association active au niveau national, au cœur d'enjeux climatiques, économiques et sociaux.

L'association propose à ses adhérents une méthode de prévention des dégâts causés par la grêle. Les chutes de grêle produisent des dégâts marquants sur les cultures en période de croissance, mais aussi sur les habitations et les biens publics.

En 2022, les compagnies d'assurances en France ont remboursé la somme colossale de **5 926** millions d'euros à la suite d'orages et de chutes de grêle.

**Pourtant, ces remboursements ne couvrent pas la totalité des pertes.**

Aujourd'hui, peu d'acteurs se mobilisent pour étudier les phénomènes liés à la grêle, souvent considérés comme du domaine des assurances.

Pourtant, il est possible **d'agir** plutôt que de réagir une fois qu'il est déjà trop tard.

C'est ce que nous proposons !

# 73 ans

Forte de 73 ans d'activité, l'Anelfa possède une expérience unique dans le domaine de la prévention grêle.

Grâce aux observations recueillies, l'Anelfa a constitué une base de données importante sur la fréquence et l'intensité des chutes de grêle.

En s'appuyant sur l'Université, l'Anelfa a mis au point une technique de prévention reprise par de nombreuses structures à l'étranger.

## Notre engagement

visé à comprendre les chutes de grêle et les anticiper pour protéger les adhérents. C'est un véritable défi à révéler car le processus d'ensemencement des nuages est complexe et ne fonctionne que grâce à un réseau solidaire suffisamment dense et étendu pour être à l'échelle du phénomène.

# Notre histoire

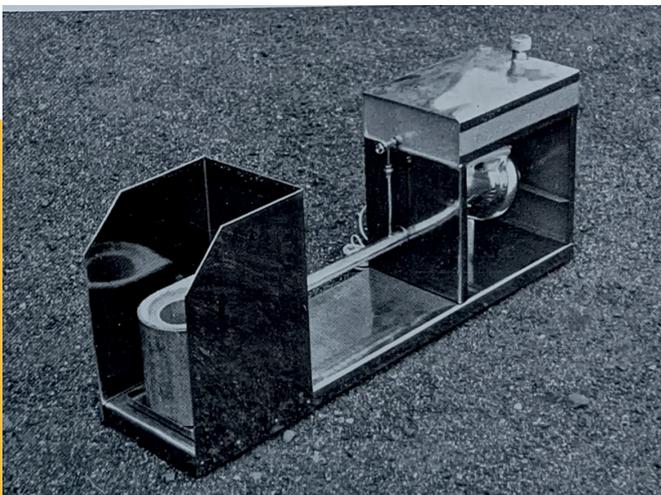
Tout commence en 1951, lorsque des élus et des personnalités du monde agricole de Haute-Garonne constatent qu'il n'existe aucune méthode scientifique de lutte contre la grêle. Ils apprennent qu'Henri Dessens, physicien et directeur de l'observatoire du Puy-de-Dôme, réalise des recherches sur la modification du temps par ensemencement des nuages. Ensemble, ils mobilisent des ressources financières et humaines pour lancer des recherches approfondies sur la grêle et les méthodes de prévention, à la fois sur le terrain et en laboratoire.

Le dispositif de prévention a évolué avec la recherche ce qui a permis d'expérimenter les meilleures solutions. D'abord, il y a eu un générateur à propane, puis un générateur à charbon de bois, un générateur à soufflerie, pour aboutir en 1963 au générateur à vortex que nous connaissons. Encore aujourd'hui, il fait l'objet d'améliorations continues pour assurer un fonctionnement optimal.

Pendant plusieurs années, l'équipe d'Henri Dessens a multiplié les travaux pour perfectionner la technologie utilisée. La diffusion des noyaux, la qualité de la solution, la prévision ont fait l'objet de publications universitaires.

La méthode de prévention adoptée consiste : à positionner stratégiquement des générateurs au sol qui diffusent des particules glaçogènes pour réduire la taille des grêlons.

Aujourd'hui, plus de 1000 générateurs à vortex sont répartis sur une vingtaine de départements du Sud-Ouest, du centre et du Sud-Est.



Générateur à propane



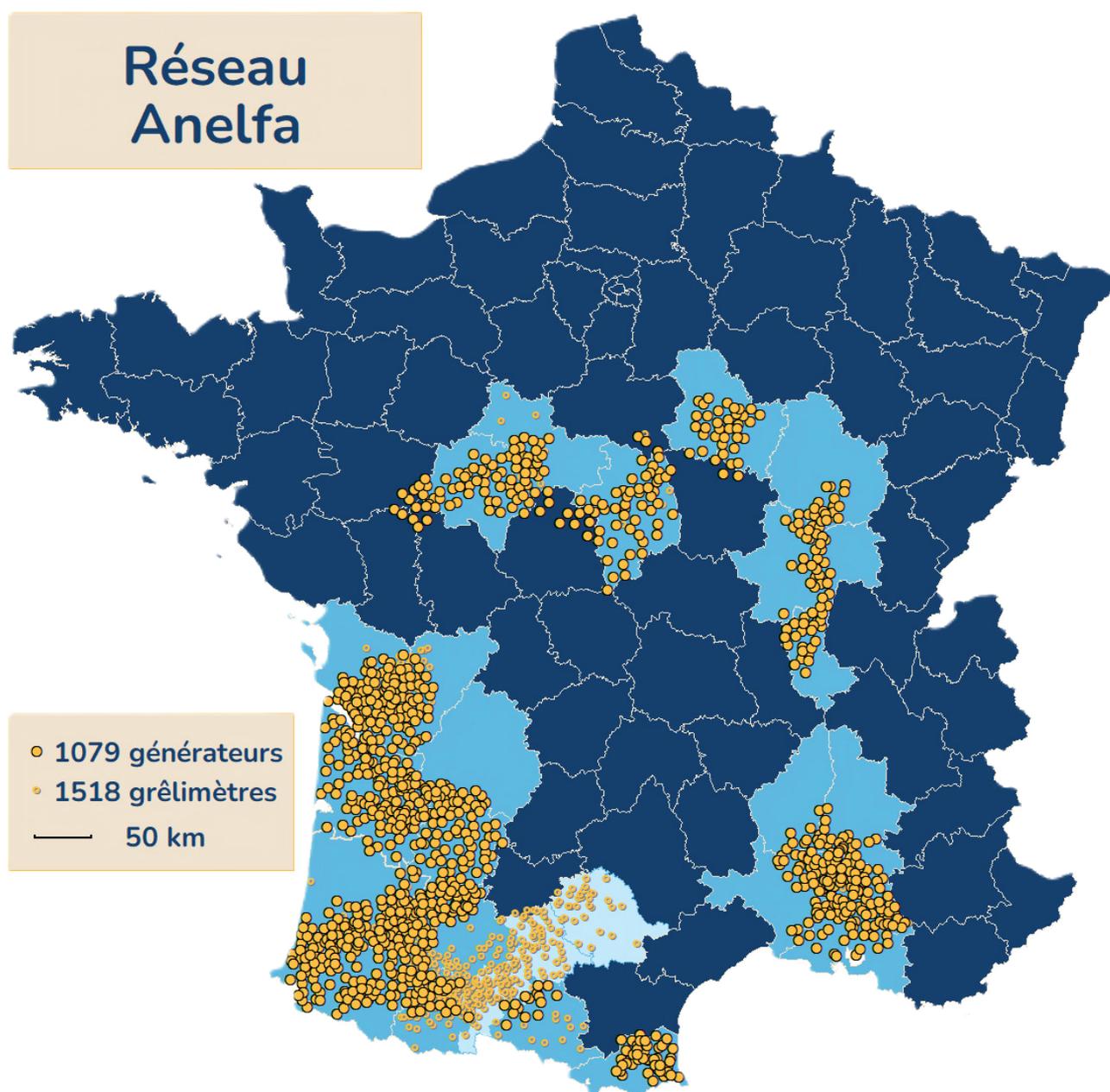
Interview du professeur Dessens

L'Anelfa a également apporté son assistance à l'implantation de la méthode à l'étranger comme en Espagne, au Brésil, en Hongrie, en Croatie et en Argentine.

# L'organisation

L'Anelfa rassemble les organismes départementaux et régionaux souhaitant mettre en commun l'ensemble des techniques et moyens nécessaires pour étudier et limiter les dégâts de la grêle. Les associations locales sont admises par décision de l'Assemblée générale et les financements de chaque structure sont indépendants.

15 associations locales composent l'association nationale. Les associations locales financent l'Anelfa proportionnellement à leur taille. En s'organisant en association, l'Anelfa garantit son engagement envers ses membres, sans objectif de gain financier. Le centre administratif de l'Anelfa est basé à Toulouse (Haute-Garonne) et le centre technique est implanté sur le plateau de Lannemezan (Hautes-Pyrénées).



# Notre mission

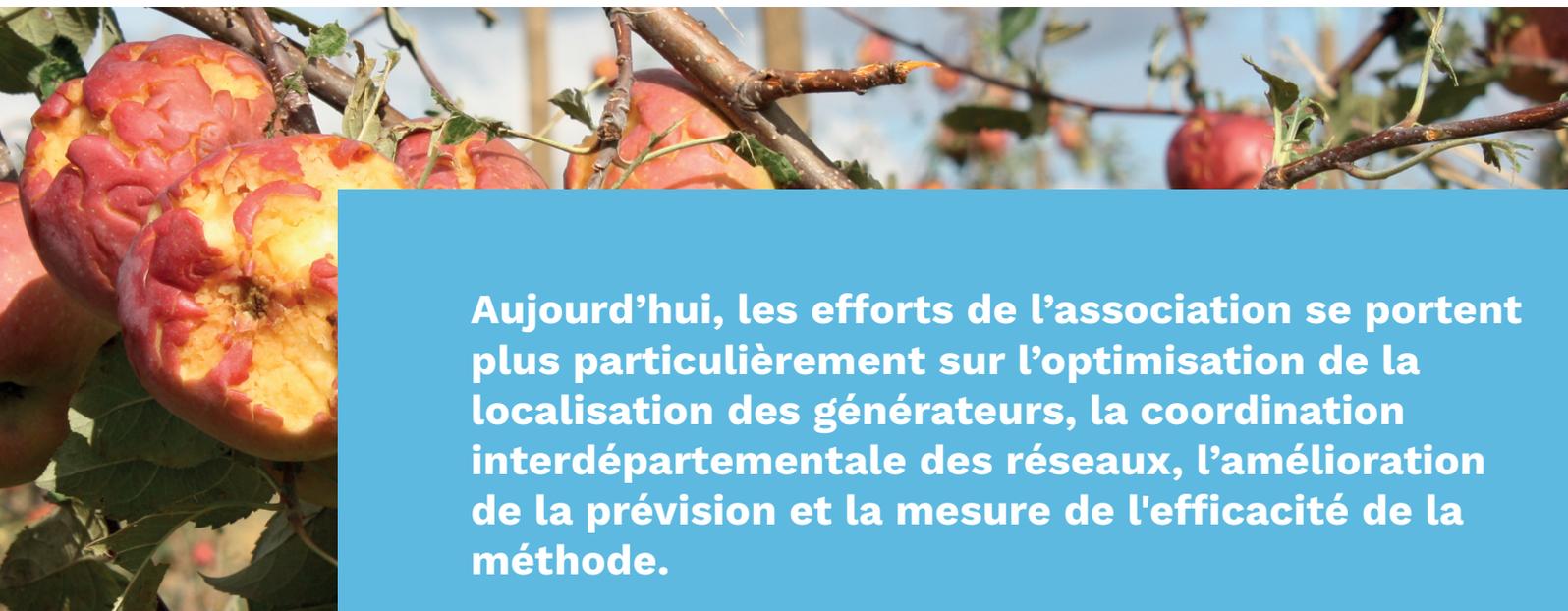
**Forte de son expérience unique et durable, l'Anelfa est engagée dans l'étude et la prévention grêle.**

Elle propose la méthode de prévention paraissant la plus adaptée aux conditions météorologiques françaises. Pour ce faire l'association apporte sa contribution aux travaux de recherche pour faire progresser les connaissances sur la grêle (connaissances du phénomène, climatologie, mise au point du système de lutte, moyens de contrôle de l'efficacité.)

L'Anelfa met à disposition les générateurs de prévention aux adhérents. Les adhérents assurent la petite maintenance.

L'association fabrique la solution utilisée pour ensemençer les nuages et la propose à prix coutant à ses adhérents.

Par ailleurs, elle assure la transmission des alertes grêles, la collecte des données et le contrôle de l'efficacité.



**Aujourd'hui, les efforts de l'association se portent plus particulièrement sur l'optimisation de la localisation des générateurs, la coordination interdépartementale des réseaux, l'amélioration de la prévision et la mesure de l'efficacité de la méthode.**





L'action de l'association ne se substitue pas à l'assurance qui reste le seul moyen d'obtenir une indemnisation en cas de pertes. **Elle est complémentaire.**

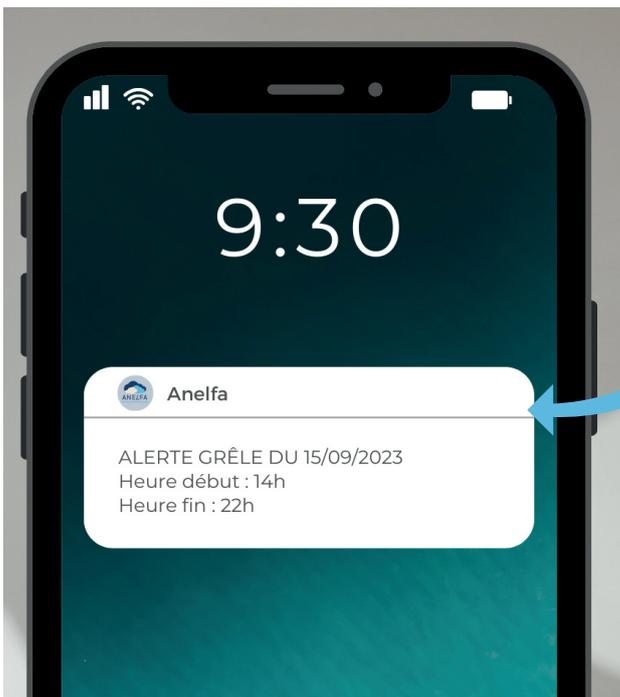
L'atténuation des dégâts grâce à une prévention active doit permettre de conserver un système d'assurance **accessible.**



## Les alertes

**D'avril à octobre a lieu la campagne de prévention grêle.**

Chaque jour, Kéraunos, le prévisionniste météo, communique les risques orageux à l'Anelfa. C'est à cette période que les cultures sont les plus vulnérables et que les chutes de grêle sont les plus fréquentes et intenses.



En cas de risque de chute de grêle, les bénévoles des associations adhérentes reçoivent des messages précisant les horaires d'activation des générateurs.

Au cours d'une campagne, les générateurs peuvent être mis en fonctionnement 15 à 30 jours selon l'activité orageuse.

**L'engagement des bénévoles 7j/7 est le pilier de notre système.**

# La formation de la grêle



**La grêle est une précipitation constituée de grains de glace d'au moins 5 mm de diamètre et de densité proche de 0.9 g/cm<sup>3</sup>.**

Lorsque la différence de températures entre l'air présent au sol et l'air au sommet des nuages est trop importante et que la partie basse de l'atmosphère est riche en humidité, les nuages se transforment. Ils se développent vers le haut pour évacuer le surplus d'énergie. **Ils sont appelés cumulus congestus et cumulonimbus .**



## D'où viennent les précipitations ?

Les précipitations proviennent des nuages composés de gouttelettes d'eau en suspension. Des processus microphysiques (pression, température, humidité) provoquent la neige, la pluie et la grêle. Nous vous expliquons les différents scénarios :

- 1** Lorsque la température est positive, les nuages ne contiennent pas de cristaux de glace. Les gouttelettes d'eau en suspension dans les nuages, n'ont pas un poids suffisant pour donner des précipitations sous nos latitudes.
- 2** Quand la partie la plus haute du nuage atteint des températures négatives, des cristaux de glace se forment autour de particules glaçogènes. Il s'agit la plupart de temps de petites impuretés comme des poussières ou encore du pollen provenant du sol. L'eau pure reste sous forme liquide malgré des températures négatives, on dit qu'elle est surfondue. En présence de noyaux glaçogène, les gouttelettes d'eau surfondue peuvent former des cristaux de glace. Ils peuvent grossir et atteindre un poids suffisant pour tomber. Dans leur chute, les cristaux fondent et donnent des précipitations au sol.

# 3

**Pour les nuages à grêle**, le principe est similaire, mais une caractéristique majeure s'ajoute le « courant ascendant ». Il maintient plus longtemps les cristaux de glace en suspension dans les nuages. L'eau se collecte rapidement sur les cristaux les faisant grossir puis geler. Une fois qu'ils sont trop lourds, ils tombent. Lorsqu'il y a beaucoup d'eau surfondue (cas des nuages à grêle) et peu de noyaux de congélation, les éléments glacés sont plus gros et destructeurs.

Des éléments glacés dans le nuage.

Un courant ascendant suffisamment fort pour maintenir en suspension des éléments glacés plus longtemps.

Un rapport eau surfondue et noyaux glaçogènes favorable au grossissement des grêlons

## Échelle grêle

À l'instar des tremblements de terre, des cyclones, des tornades, l'Anelfa a proposé d'attribuer une échelle d'intensité de la grêle.

Elle est basée sur la mesure de près de 4000 chutes de grêle enregistrées en France depuis 1988 sur ses réseaux de grêlimètres.

Facilement utilisable sur le terrain, elle a été adoptée par d'autres pays.



# Le dispositif de prévention

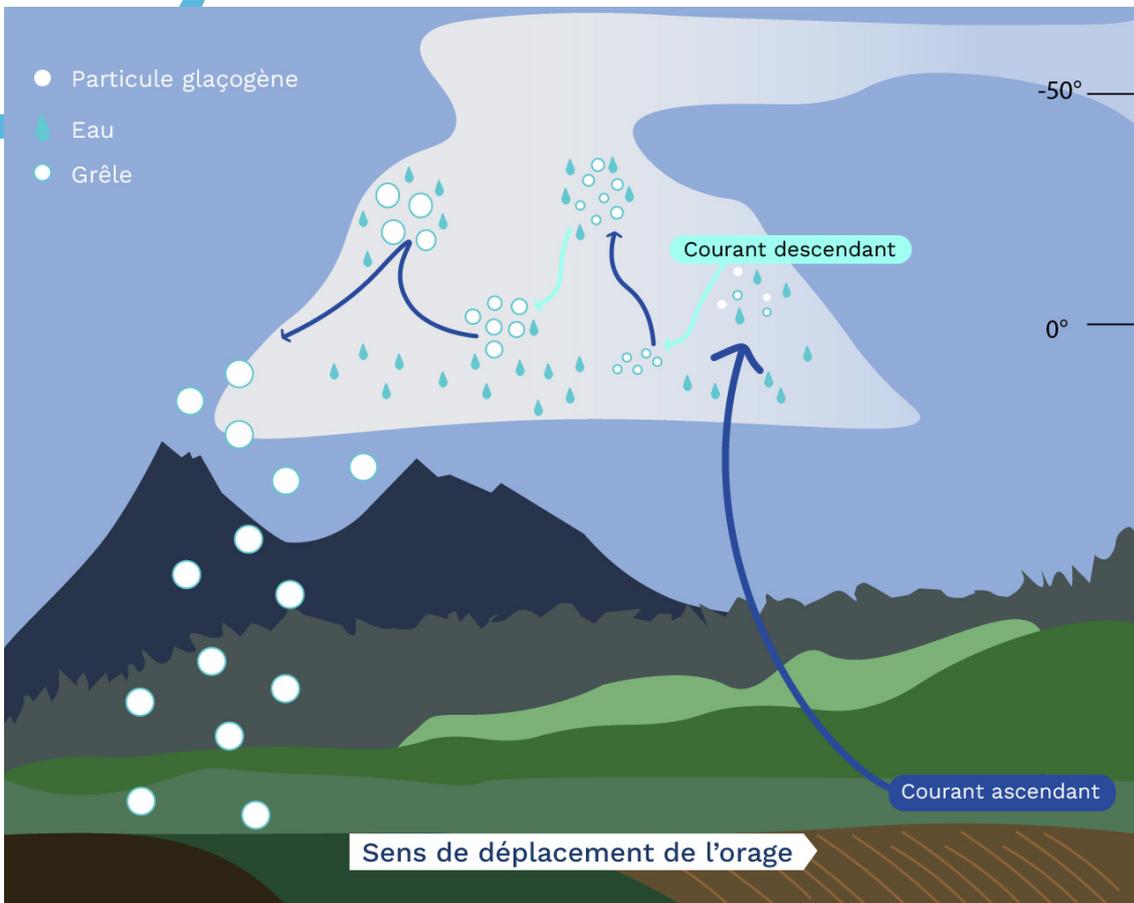
**En 1947,**

des chercheurs de General Electric ont découvert qu'il suffisait d'injecter dans une cuve frigorifique de l'iodure d'argent en très faible quantité pour transformer des nuages surfondus en cristaux de glace. En se basant sur cette découverte, les chercheurs ont proposé d'ajouter des particules glaçogènes pour pallier le manque de noyaux glaçogènes naturellement présent dans l'atmosphère.

**Ce procédé se nomme ensemencement des nuages.**

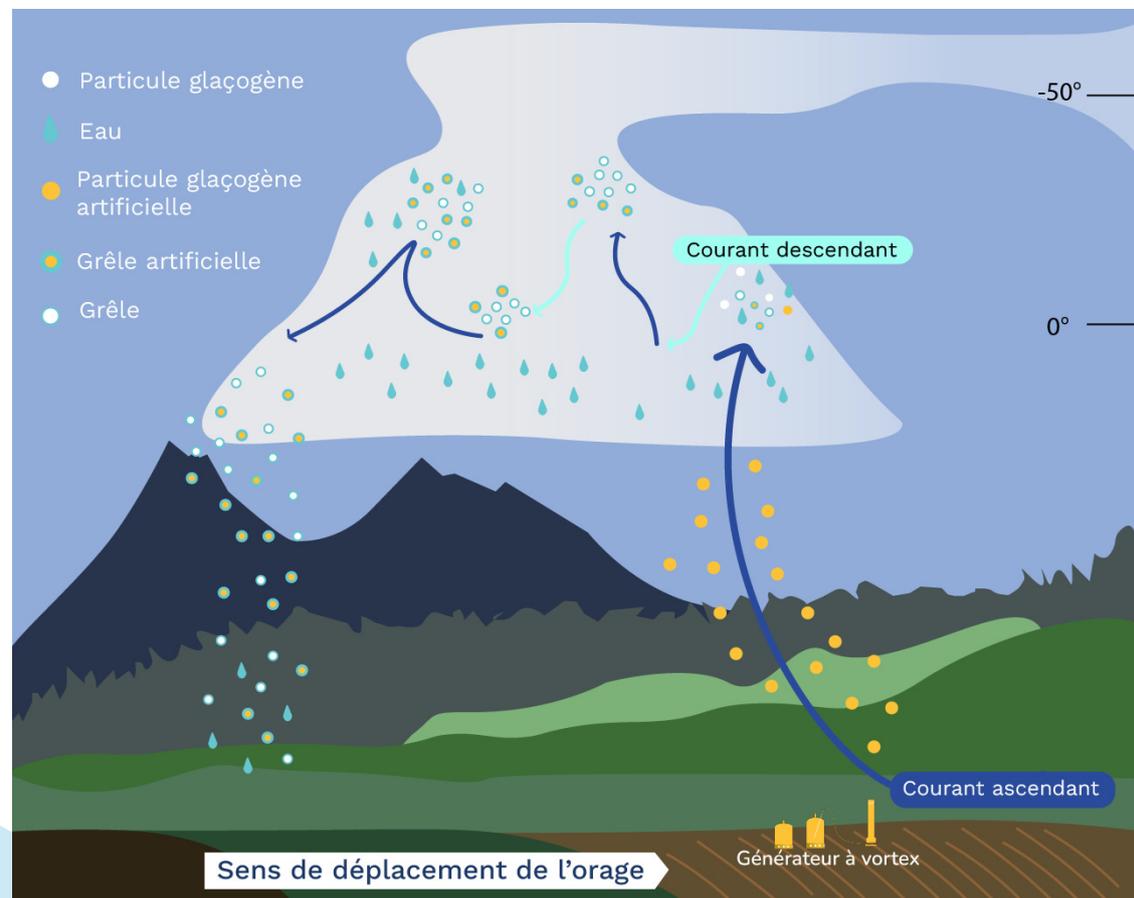
Pour réaliser cet ensemencement des nuages, l'Anelfa a mis au point un dispositif assuré par un réseau terrestre de générateurs à vortex. Ils dispersent les noyaux glaçogènes d'iodure d'argent aux racines des courants ascendants.

Les noyaux artificiels s'accumulent entre 0 et 2 km au-dessus du sol puis sont aspirés par les courants ascendants et répartis dans les nuages. Une fois qu'ils atteignent 3 à 5 km d'altitude, la surpopulation de cristaux de glace entraîne par concurrence une diminution de la taille des grêlons. Aux plus basses températures, tous les noyaux d'iodure d'argent sont actifs et l'ensemencement assure une glaciation massive des gouttelettes d'eau.



## Sans ensemencement

Les grêlons sont gros et dévastateurs



## avec ensemencement

L'ajout des particules glaçogènes réduit la dimension des grêlons. Ils sont donc moins dangereux.

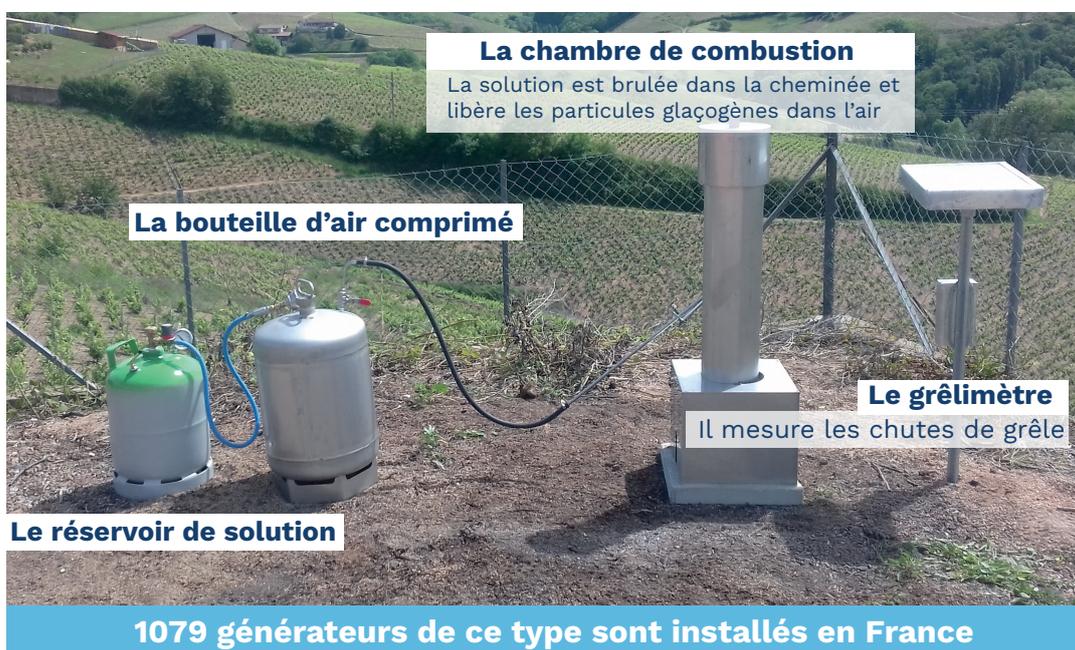
# Le générateur

## Comment il fonctionne ?

Le générateur à vortex est l'appareil qui fabrique les noyaux de congélation artificiels. Les générateurs ont été mis au point par les scientifiques pour produire et vaporiser 200 milliards de particules d'iodure d'argent par seconde. Les conditions optimales de production des particules sont obtenues par une combustion en vortex (flamme stable maintenue à distance des parois de la cheminée).



## Quelle est sa composition ?



Un appareil simple et robuste installé chez des bénévoles



**Depuis mars 2024**, des générateurs RC sont déployés sur le terrain. C'est une version contrôlée à distance (remote controlled). Alors que certaines zones peu habitées et abritant des cultures importantes peinent à trouver leurs opérateurs, ce générateur est une réelle évolution. Les opérateurs peuvent allumer les générateurs depuis n'importe où grâce à l'application conçue à cet usage. Les bénévoles n'ont qu'à se rendre environ toutes les 3 alertes sur la zone d'implantation du générateur pour le réapprovisionner en solution et en air.

## Comment définit-on les emplacements des générateurs ?

Ils sont déterminés par l'analyse des caractéristiques des orages à grêle sur la zone telles que :

- La vitesse de l'orage
- La direction de l'orage



Pour que le dispositif soit efficace, il doit couvrir des zones larges. Les générateurs sont donc installés en réseau sur les espaces à protéger et en amont en fonction du déplacement habituel des orages.

Il est préconisé de positionner un générateur **tous les 10 km**. Les générateurs doivent être mis en service 3 à 4 heures avant une chute de grêle pour un fonctionnement optimum.

32209-LELIN-LAPUJOLLE

32414-SARRAGACHIES

Image © 2024 Airbus

IGNAC

32227-MANCIET

32119-EAUZE

32113-CRAVENCERES

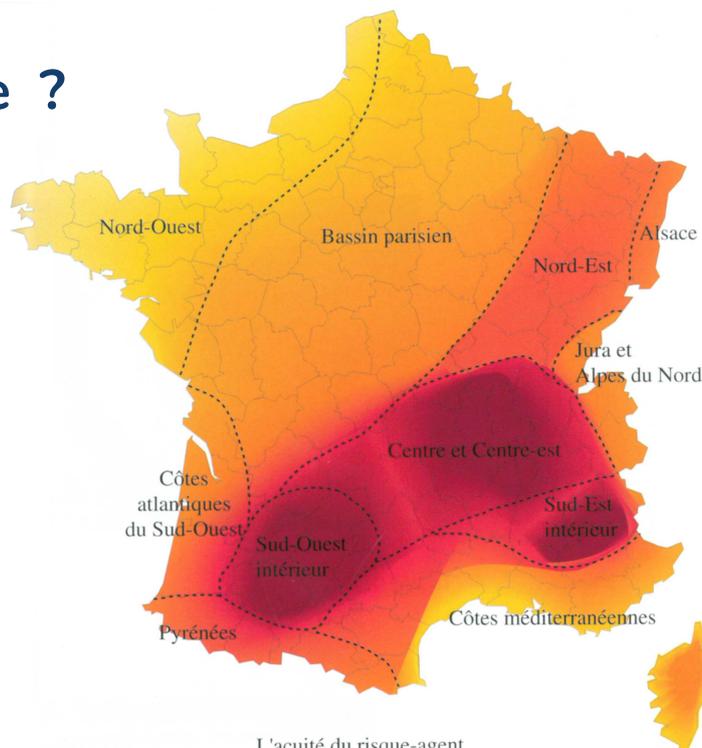
32001-AIGNAN

Google Earth

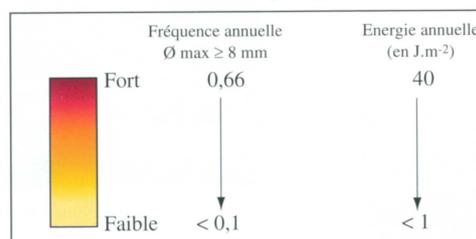
## Où tombe la grêle ?

Tout le territoire français peut-être concerné par des chutes de grêle, mais le risque est inégalement réparti. Freddy Vinet a établi en 2000 la géographie des chutes de grêle en France.

Force est de constater que les chutes les plus intenses sont situées sur un axe qui part du Sud-Ouest et qui remonte vers le Nord-Est.



L'acuité du risque-agent



# Pourquoi une association locale a-t-elle besoin de financements ?

Bien que la mise en route des générateurs soit assurée par des bénévoles, le coût de fonctionnement d'un générateur comprend d'autres aspects. Pour utiliser un générateur classique pendant un an, il faut compter entre **2000 et 2500 euros**.

**Dans ce prix sont inclus les coûts :**

## De prévision journalière

L'Anelfa alerte ses adhérents en cas de risque de chute de grêle. Elle a donc besoin de personnel d'astreinte et d'un prévisionniste météo (Kéraunos). Cette activité journalière a un coût repart sur toutes les associations adhérentes.

## De fonctionnement en alerte

La solution consommée est la source de dépense principale des réseaux. Elle peut varier pour chaque réseau en fonction du nombre d'alertes déclenchées.

## De maintenance

Une maintenance active est nécessaire au niveau local, des pièces détachées sont parfois remplacées pour garantir le fonctionnement du générateur.

## D'animation des réseaux

Derrière les actions de chaque association locale, se trouvent des personnes qui animent les réseaux, supervisent les opérateurs, réalisent les suivis administratifs et techniques.

## De recherches

Les financements sont aussi utilisés pour poursuivre les recherches sur la grêle. L'étude de la grêlimétrie représente un coût important et du temps pour les équipes de l'Anelfa qui dépouille toutes les plaques et réalise les analyses. Il est évident que la physique des nuages doit davantage entrer dans les programmes de recherche en France. L'avenir en dépend, le changement climatique entraînera des conséquences fortes. D'après l'analyse de Covéa 2022, il faut s'attendre à l'horizon 2050 à une augmentation de 20% des dégâts causés par la grêle. Continuer de comprendre et d'étudier les nuages sous nos latitudes et leurs transformations à travers le temps est crucial.



# Efficacité

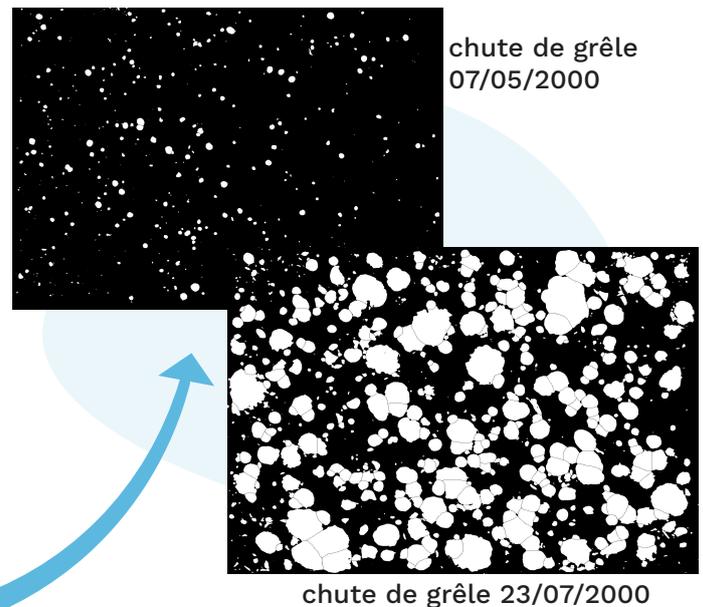
Plusieurs travaux démontrent l'efficacité de la prévention de la grêle par les générateurs au sol. Leurs résultats sont publiés dans les principales revues internationales dédiées à la météorologie expérimentale.

Les premières preuves d'efficacité du dispositif ont été établies grâce aux **Pool Grêle Concorde** qui fournissait jusqu'à 1980 les données annuelles de pertes aux récoltes dues à la grêle. En se basant sur ces données, les conseillers scientifiques de l'Anelfa ont constaté que les pertes avaient diminué de 41 % dans les départements disposant de réseaux de générateurs.

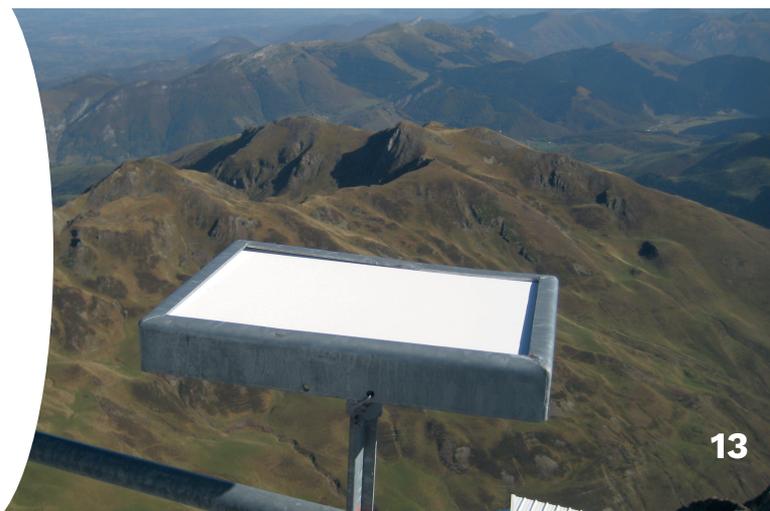
Puis en 1988, c'est le réseau de **grêlimètre** (composés d'une plaque en polystyrène extrudé) qui a permis de mettre en place un contrôle physique de la taille et du nombre de grêlons. Après trois décennies de mesures, l'Anelfa a pu montrer une réduction de 50 % de l'intensité des chutes de grêle. Plus récemment, on a constaté que simultanément à cette diminution de l'intensité, les surfaces grêlées sont réduites de 15 à 20 %

L'Anelfa a aussi développé un programme (Testo) permettant de collecter les températures des cheminées. À la fin de la campagne, l'Anelfa réalise un dépouillement qui lui permet de vérifier le fonctionnement de l'ensemble des dispositifs sur les dates des orages.

## Plaque grêlimétrique



**Ces résultats permettent de conclure que les générateurs au sol, s'ils sont mis en fonctionnement dans les zones et les délais recommandés, diminuent de moitié les dommages par la grêle.**



# Environnement et santé

Pour prévenir la grêle, l'Anelfa utilise une méthode d'ensemencement des nuages impliquant l'utilisation d'iodure d'argent. Dès 1972, des interrogations ont émergé quant à l'impact des particules glaçogènes artificielles.

Les études menées pour répondre à ces préoccupations n'ont pas démontré de conséquences négatives des activités d'ensemencement des nuages.

## L'iodure d'argent dans l'air

Au-dessus d'une zone couverte par des générateurs, la concentration d'iodure d'argent dans l'air est de 0.0001 microgramme par mètre cube ( $10^{-4}$  µg/m<sup>3</sup>) dans l'air.

Selon les hygiénistes, pour un travailleur exposé 7 heures par jour et 200 jours par an dans un milieu fermé, la concentration maximale recommandée est de 10 microgrammes par mètre cube (10 µg/m<sup>3</sup>).

En d'autres termes, la norme autorise une exposition à des quantités 100 000 fois plus importantes dans un espace fermé que la concentration produite par nos générateurs en milieu extérieur. La diffusion d'iodure d'argent en faible quantité n'est donc pas un danger pour la santé.

## L'iodure d'argent dans l'eau

La concentration maximale d'argent détectée est de 0,15 microgramme par litre dans l'eau de pluie provenant de nuages ensemencés.

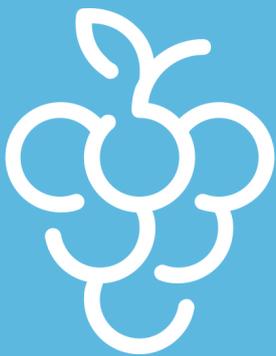
La norme admise par l'U.S Public Health Service est 50 de microgrammes par litre, soit au moins 100 fois plus que les concentrations maximales mesurées. Le seuil est donc loin d'être atteint.

## L'iodure d'argent dans le sol

La concentration d'argent naturellement présente sur les sols européens non ensemencés et la concentration d'iodure d'argent présente sur les sols ensemencés sont du même ordre de grandeur. Ce qui prouve que les impacts de nos générateurs sont infimes.

### **D'après l'organisation météorologique mondiale (OMM) :**

«Les études publiées ont montré qu'il n'y a pas d'impact significatif de l'iodure d'argent tel qu'il est utilisé dans les opérations de modification du temps. »



En 2016, Le laboratoire EPOC a examiné des grappes de raisin d'une vigne présente dans une zoneensemencée. L'étude a montré que les quantités d'iodure d'argent retrouvées ne sont pas distinguables de celles trouvées naturellement.



Cependant si l'ensemencement diminue le diamètre des grêlons, il augmente également l'efficacité avec laquelle les gouttelettes de nuages se transforment en pluie. Dans certaines situations relativement faciles à prévoir (orages stationnaires), ou lorsque de très fortes précipitations sont déjà prévues, cette augmentation peut ne pas être souhaitable, et l'Anelfa recommande alors de suspendre les opérations d'ensemencement.

# Adhérer ?

Pour adhérer à l'Anelfa, il faut d'abord définir la zone que vous souhaitez protéger

## 1. Définition du réseau

Avant de débiter toutes démarches, il faut étudier la faisabilité du projet en passant d'abord par la planification de l'implantation du réseau de générateurs. Pour ce faire, il faut étudier les principaux orages à grêle de la région. On en déduit alors le maillage optimal de générateur pour protéger la zone définie.

## 2. Financement du dispositif

Un budget prévisionnel est établi à partir du projet du réseau. Il convient ensuite de solliciter les structures qui peuvent apporter leur soutien. Vos objectifs (protection des biens, des personnes, des cultures...) orientent les demandes vers :

- le Conseil Départemental, le Conseil Régional,
- une participation des communes ou communauté de communes,
- les Chambres d'Agriculture,
- des Syndicats agricoles, des ODG, des coopératives,
- des assurances, des banques, des sociétés privées (ex: Airbus)...

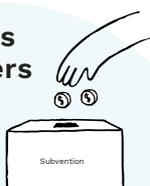
## 3. Constituer un organisme

Ces deux étapes réalisées, il est temps de constituer un organisme, structuré le plus souvent en association. Un technicien devra assurer le lien sur le terrain avec les opérateurs bénévoles chargés du fonctionnement des générateurs.

## 4. Intégrer l'Anelfa

Ensuite vous devez effectuer une demande auprès de l'Anelfa, votre structure pourra être admise en tant qu'adhérent institutionnel.

### Soutiens financiers



Conseil départemental, conseil régional  
Communes et communautés de commune  
Chambre d'agriculture, structures agricoles (ODG, syndicats..)  
Entreprises privées,  
Assurances, banques



### Apport de l'Anelfa à l'association

Fabrication de la solution, montage du générateur, stockage du matériel, soutien administratif, information chute de grêle, lien technique...



### Contribution aux charges

Achat du matériel et de solution à prix coûtant, personnel d'alerte 7j/7, grêlimétrie...

### Association départementale



Président et conseil d'administration  
Technicien  
Réseau d'opérateurs bénévoles

# Nos ressources scientifiques

Depuis 1952, chaque année des comptes-rendus de campagne sont rédigés pour faire le bilan annuel des chutes de grêle et des évolutions.

Une quarantaine d'articles scientifiques ont été publiés sur les travaux de l'Anelfa et grâce aux mesures de la grêle collectées par l'association. On peut par exemple citer les suivants :



Dessens, J., Berthet, C., Sanchez, J.L., Hermida, L., Merino, A., 2016 : Hail prevention by ground-based silver iodide generators : Results of historical and modern field projects. *Atmos. Res.*, 170, 98-111.

Berthet, C., Wesolek, E., Dessens, J., Sanchez, J.L., 2013. Extreme hail day climatology in Southwestern France. *Atmos. Res.*, 123, 139-150. doi:10.1016/j.atmosres.2012.10.007

Dessens, J., Berthet, C., Sanchez, J.L., 2007 : A point hailfall classification based on hailpad measurements : The ANELFA scale. *Atmos. Res.*, 83, 132-139.

Dessens, J., Berthet, C., Sanchez, J.L., 2015 : Change in hailstone size distributions with an increase in the melting level height. *Atmos. Res.*, 158-159, 245-253, doi:10.1016/j.atmosres.2014.07.004

Fraile, R., Berthet, C., Dessens, J., Sanchez, J.L., 2003. Return periods of severe hailfalls computed from hailpad data. *Atmos. Res.*, 67-68, 189-202.

Dessens, H., 1961. Le générateur de noyaux d'iodure d'argent de l'Association d'Etudes. *Bull. Obs. Puy de Dôme*, N°1, 23-40.

Consultez toutes les références sur le site internet de l'Anelfa.

## Ressource externe

ASCE, 2015. Guidelines for operational hail suppression programs, American Society of Civil Engineers, ANSI/ASCE/EWRI 39-15, 51 p.



- ↪ **Accompagner les réseaux et mutualiser les outils de prévention**
- ↪ **Alerter des risques d'orages à grêle**
- ↪ **Former les acteurs de terrain**
- ↪ **Assurer la recherche et le développement de notre dispositif d'ensemencement et une veille sur les autres techniques développées.**
- ↪ **Développer les connaissances sur ce phénomène climatique**



Des questions ? **Contactez-nous**

---



**05 61 52 05 65**

**[anelfa@anelfa.asso.fr](mailto:anelfa@anelfa.asso.fr)**

[www.anelfa.asso.fr](http://www.anelfa.asso.fr)

