

ECONOMETRIE SPATIALE SUR **DES DONNNEES GRELES**



MASTER 1 – MONNAIE BANQUE FINANCE ASSURANCE

Promotion 2019-2020

Mémoire présenté par Alioune NDOYE

Professeur référent

Monsieur Martial PHELLIPE-GUINVARC'H

Table des matières

INTRODUCTION	4
I – Présentation du phénomène de la grêle et de la garantie TGN (Tempête Grêle Neige).....	5
1 – La formation de la grêle	5
2 - Les indices de grêle	6
3 - Les moyens d'observations : les radars météorologiques	6
4 - Intensité des chutes de grêles.....	8
5 – La garantie TGN (Tempête Grêle Neige)	9
II – Analyse et cartographie des données	10
1 – Analyse descriptive de la base de données « grêle »	11
A – Répartition annuelle de la grêle	11
B – Répartition mensuelle de la grêle	12
C – Analyse des différentes classes de diamètre de grêlons	13
2 – Cartographie de la France face à la grêle	14
A – Exposition des communes de France au risque grêle	14
B – Répartition des grêlons selon leur classe.....	18
C – Les évènements marquants.....	21
3 – Cartographie des conditions météorologiques des communes françaises	24
A – Distance entre les communes et les stations météorologiques.....	24
B – La fusion des tables créées	25
C – Cartographie des conditions météorologiques	26
CONCLUSION.....	31
BIBLIOGRAPHIE.....	32
ANNEXES	34

Figure 1 - Processus de formation de la grêle.....	5
Figure 2 - Le fonctionnement du radar météorologique	7
Figure 3 - Echelle grêle ANELFA	8
Figure 4 - Répartition annuelle de la grêle.....	12
Figure 5 - Répartition mensuelle de la grêle.....	13
Figure 6 - Répartition de la grêle selon les régions	15
Figure 7 - Exposition des communes de France à la grêle	17
Figure 8 - Répartition des grêlons de la classe A1.....	19
Figure 9 - Répartition des grêlons de la classe A2.....	19
Figure 10 - Répartition des grêlons de la classe A3.....	20
Figure 11 - Répartition des grêlons de la classe A4.....	20
Figure 12 - Répartition des grêlons de la classe A5.....	21
Figure 13 - Cartographie de l'évènement du 6 au 7 juillet 2019	22
Figure 14 - Cartographie des évènements du 18 août 2019.....	23
Figure 15 - Cartographie de la température moyenne par département.....	27
Figure 16 - Cartographie de la température par commune	27
Figure 17 - Répartition de la variable ww	28
Figure 18 - Répartition de W1	29
Figure 19 - Répartition de W2	29
Tableau 1 - Fréquence des classes diamètres de grêlons	14
Tableau 2 - Fréquence des chutes de grêles par date	22
Annexe 1 - Répartition de WW	34
Annexe 2 - Répartition de W1	34
Annexe 3 - Répartition de W2	35
Annexe 4 - Répartition des mois dans la table GRMF « météo ».....	35
Annexe 5 - Découpage départemental de la France.....	36
Annexe 6 - Répartition des altitudes en France	37
Annexe 7 - Position des stations météorologiques en France.....	38

INTRODUCTION

La grêle peut être définie comme étant un type de précipitation sous forme solide et constituée d'une chute de grêlons qui sont des billes de glace. Ces grêlons ont généralement un diamètre compris entre 5 millimètres et 5 centimètres. Des grêlons de plus grande taille peuvent tomber lors de ces chutes. En effet, des observations grandes de 15 à 20 centimètres ont déjà été faites même si cela arrive rarement. D'ailleurs, suite à une étude parue dans le « bulletin of the American meteorological society », un grêlon d'une taille de 23.7 centimètres est déjà tombé en Argentine. D'un autre côté, les particules ayant un diamètre inférieur à 5 millimètres sont appelés grésil.

La grêle peut être particulièrement destructeur pour les biens et récoltes. C'est la raison pour laquelle il est important de s'assurer contre ce risque d'où l'existence de la garantie TGN.

Nous allons dans les lignes qui suivent, présenter d'une part le phénomène de la grêle notamment sa formation et ses caractéristiques avant de présenter la garantie TGN.

D'autre part, nous présenterons une étude sur des données grêles par l'intermédiaire de différentes cartographies notamment de conditions météorologiques observées en France.

I – Présentation du phénomène de la grêle et de la garantie TGN (Tempête Grêle Neige)

1 – La formation de la grêle

La grêle se forme lorsqu'on est en présence d'orages violents, précisément à l'intérieur des cumulonimbus. C'est un type de nuage avec une grande épaisseur, de l'ordre de 5 à 12 kilomètres. Son altitude peut aller jusqu'à 15 kilomètres. A l'intérieur de ces nuages, il y a des courants ascendants et descendants pouvant atteindre une vitesse de 150 kilomètres par heure. Ce sont ces courants qui sont en partie responsable de la formation de la grêle sachant qu'au début, le grêlon n'est rien d'autre qu'une petite particule d'eau qui va subir une condensation à l'intérieur du nuage, c'est-à-dire un passage de l'état gazeux à l'état solide. Cette condensation est dûe à la différence de température à l'intérieur du cumulonimbus. En effet, il a une base chaude avec des températures positives tournant autour de 8 degrés Celsius et plus l'altitude augmente, plus la température diminue et ce, jusqu'à environ -40 degrés Celsius. En subissant donc les différents courants ainsi que les changements de températures, les particules d'eaux passent à l'état solide et grossissent à la rencontre de vapeur d'eau dans les courants descendants et remontent grâce aux courants ascendants. Cette remontée provoque ainsi de nouveau la congélation. Ainsi, au bout d'environ 30 minutes, la grêle se forme et se transforme en averse car devenue trop lourde.

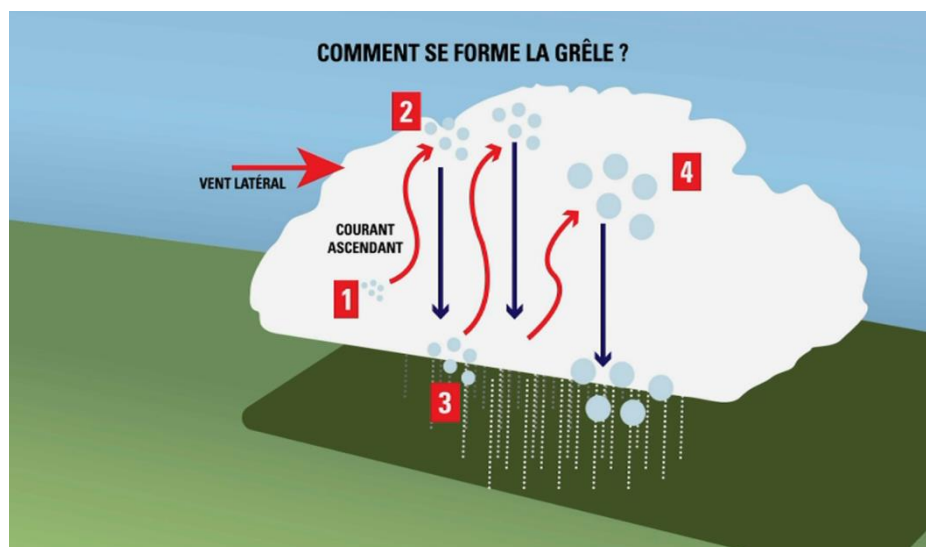


Figure 1- Processus de formation de la grêle

2 - Les indices de grêles

Les précipitations de grêles sont difficilement prévisibles. En effet, on sait déjà que le premier critère nécessaire à des chutes de grêle est la présence d'un orage violent. Or, d'après les estimations, seulement 10% des nuages d'orages provoquent ces chutes. Sachant que la prévision de l'intensité d'un orage est assez difficile, mesurer le risque d'une chute de grêle devient encore plus compliqué de nos jours sachant que les instruments de prévisions actuels sont efficaces à l'échelle régionale ou départementale et que la formation des orages se fait plutôt à l'échelle locale.

Dès lors, des indices de grêle ont été retenus pour évaluer le risque grêle dans une zone tempérée comme la France. Ces indices prennent en compte différentes caractéristiques :

- La saison ; on doit se trouver entre la fin du printemps et le début de l'été.
- La situation géographique ; les régions continentales sont plus exposées au risque grêle que celles maritimes.
- Le nuage doit être d'une grande taille. Ce dernier grandit principalement à cause de la différence de température entre le cumulonimbus dégageant de la chaleur provenant du passage de l'état gazeux à l'état liquide de l'eau contenu dans le nuage et l'air ambiant. Il atteint donc le stade de l'enclume lorsqu'on est à grande altitudes, la température de l'air ambiante étant stable (environ -40 degré Celsius), celle du nuage aussi se stabilise.
- La taille des grêlons est influencée par la hauteur de l'isotherme 0 degré Celsius. Ils deviennent plus gros lorsqu'on se rapproche de 8000 pieds correspondant à environ 2.5 kilomètres.
- Présence de vents très fort.

3 - Les moyens d'observations : les radars météorologiques

Les radars météorologiques sont présents sur l'ensemble du territoire français et servent à détecter des précipitations puis d'évaluer leur force en temps réel à l'aide d'un système utilisant les ondes électromagnétiques. Pour la mesure de la quantité de précipitation, ils ont des

capacités qui s'étendent sur un rayon de 100 kilomètres. Avec les versions les plus récentes, il est même possible de dire le type de précipitation rencontré, à savoir s'il s'agit de pluie, neige, ou grêle par exemple.

Le fonctionnement de ces radars peut être résumé de manière assez simple. Tout d'abord, il faut savoir qu'il utilise le principe de la réflectivité qui est définie comme étant « la proportion d'énergie électromagnétique réfléchi à la surface d'un matériau ayant une épaisseur telle que ce facteur de réflexion ne change pas en augmentant son épaisseur ». De ce fait des ondes sont envoyées depuis le radar et seront réfléchies au contact de leurs cibles. Suite à cela, les échos radar, données qui ont été enregistrées pourront être explorées par le récepteur. Grâce à ces données, il sera possible de calculer la distance en s'aidant du temps aller-retour. On sera également en mesure de déterminer la direction, la force et le type de précipitation.

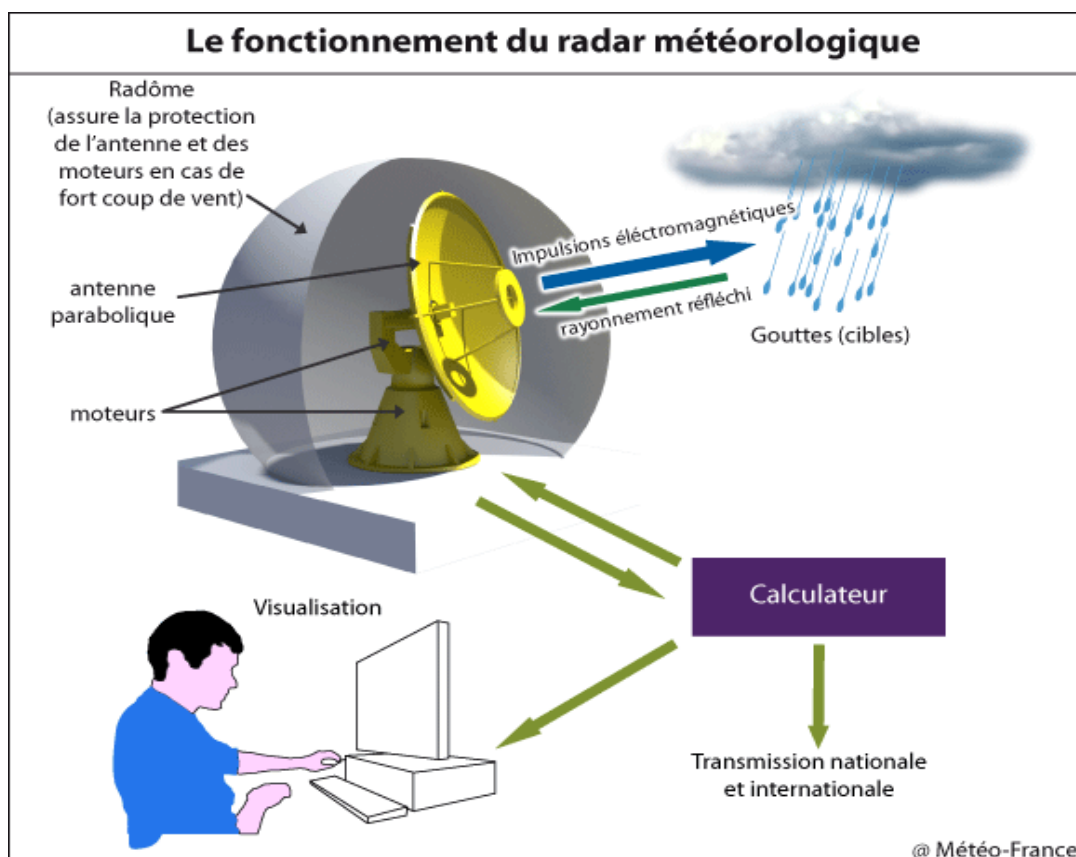


Figure 2 - Le fonctionnement du radar météorologique

4 - Intensité des chutes de grêles

Comme dit plus haut, la grêle a un caractère particulièrement difficile à prévoir et même dans le cas où des prévisions sont faites, il est possible de ne pas avoir assez de temps pour prendre des mesures pour se protéger. Il peut ainsi coûter très cher, que ce soit pour les particuliers, les entreprises ou encore les agriculteurs.

Les dommages suite à une chute de grêle vont être en fonction de deux facteurs : la taille des grêlons et donc aussi de leur vitesse qui peut être mesurée en énergie cinétique qui est « l'énergie que possède un corps du fait de son mouvement par rapport à un référentiel donné ». Ainsi l'association nationale d'étude contre les fléaux atmosphériques (l'ANELFA) a classé l'intensité des chutes de grêles selon ces deux critères. Il en ressort ainsi 6 classes nommées A0 pour les plus petits grêlons appelés grésil et ainsi de suite jusqu'à A5 pour les plus gros grêlons pouvant avoir la taille d'une balle de tennis et sont très dangereux.

CLASSE	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Diamètre maximal des grêlons	<1	1-1.9	2-2.9	3-3.9	4-4.9	>=5
Terme usuel	grésil, petit pois	bille, grain de raisin, cerise	œufs de pigeon, pièce de 2 euros	noix, balle de ping-pong	œuf de poule, balle de Golf	pêche, pomme, orange, balle de tennis
Energie cinétique moyenne	10 J.m ⁻²	50 J.m ⁻²	200 J.m ⁻²	500 J.m ⁻²	800 J.m ⁻²	
dommages types	accidents de la route, fleurs coupées	dommages aux vignes, vergers, tabac	dommages importants aux céréales, légumes, arbres	dommages à 100% sur toute culture, vitres cassées, voitures endommagées	Paysage d'hiver, animaux tués, personnes blessées, avions au sol endommagés	Évènement extrêmement dangereux, risque mortel
couverture moyenne du sol	0.1	0.15		0.35	0.35	

Figure 3 - Echelle grêle ANELFA

5 – La garantie TGN (Tempête-Grêle-Neige)

Les aléas en lien avec les risques naturels provoquent beaucoup de sinistres chaque année. Les pertes encourues sont prises en charge par les assureurs, pour ceux ayant souscrits à des contrats d'assurance multirisques habitations (MRH), automobiles, dommages ou encore dans des polices destinées aux professionnels (entreprises ou agriculteurs). Ces contrats comportent entre autres la garantie TGN qui protègent des dégâts causés par le vent, le poids de la neige et la grêle.

Dans le cas des contrats d'assurances dommages, le risque grêle est mutualisé sachant qu'il est mélangé avec d'autres risques (tempête, neige et incendie) ce qui permet de réduire le risque encouru par l'assureur. La même démarche est empruntée avec le multirisque habitation et l'automobile sachant que des dégâts causés par la grêle sur la carrosserie d'une voiture par exemple peuvent être comptabilisés comme dommage à la carrosserie. Ce type de comptabilisation fait que ce risque est difficilement quantifiable par les assureurs.

Au niveau des professionnels, les principaux concernées par cette garantie sont les constructeurs automobiles, les concessionnaires ou loueurs de voitures sachant qu'il arrive souvent que ces derniers entreposent leurs véhicules à découvert. Les agriculteurs aussi sont concernés même s'ils ne sont pas aussi couverts que les particuliers et professionnels. En effet, on estimait en 2017 que seulement 60 % d'entre eux avaient souscrits à une police d'assurance. Cela s'explique d'une part, par le prix de souscription qui est repoussant pour certains. D'autre part, une partie d'entre eux ne se sent pas forcément en danger sachant que, comme nous le verrons dans la suite de cette démonstration, les régions françaises ne sont pas toutes exposées de la même manière au risque grêle. Une autre raison pourrait être le fait que certains agriculteurs s'autoassurent. Par exemple, les arboriculteurs utilisent des filets de protection, les maraichers de leur côté aménagent des serres. Dès lors, ces derniers n'ont plus besoin de s'assurer.

En 2018, les cotisations collectées par rapport à la garantie TGN (hors automobile) s'élèvent à 1.6 milliards d'euros ce qui représente 8.9% des collectes de l'assurance de dommages aux biens. Suivant les sociétés, le poids cette garantie peut varier. En effet, les sociétés qui sont

plus orientés vers les risques agricoles ou encore ce qui présent dans les DOM-TOM recevront plus de cotisations. La répartition des cotisations est faite comme suit :

- Les particuliers participent à hauteur de 1 130 millions d'euros
- Les entreprises cotisent 285 millions d'euros
- Le domaine agricole suit avec la plus petite participation étant 195 millions d'euros hors assurances sur les récoltes.

Pour ce qui est des indemnisations reçues, on a en tout 1 275 millions d'euros distribués de la manière suivante :

- Les particuliers ont bénéficié de 915 millions d'euros
- Les entreprises ont eu au total 235 millions d'euros
- La domaine agricole (hors assurances sur les récoltes) comptabilise 125 millions d'euros

II – Analyse et cartographie des données

Pour cette partie, le travail sera fait à partir de plusieurs bases de données mais la principale concerne des données grêles. Elle est composée de plusieurs variables étant la date de l'observation, allant de l'année 2000 à 2019, la commune, le numéro de département et région concernée. Le code INSEE est également donné pour chaque commune. Ce dernier permet de classer les villes de France selon leur département et leur « ordre alphabétique ». En effet, on peut facilement remarquer que les deux premiers chiffres correspondent au département où se trouve la commune observée. Par exemple, le code INSEE de la ville de Paris est 75 056. Nous trouvons également dans notre base de données, la population pour chaque commune à une date précise ainsi que leur latitude et longitude qui permettent de déterminer la position de chaque commune. Enfin, nous avons la classe de diamètre des grêlons observés lors des chutes.

La deuxième base de données nommée « synop » concernent les données météorologiques. Elle est composée de plusieurs variables mais celles qui nous intéressent sont pmer (pression

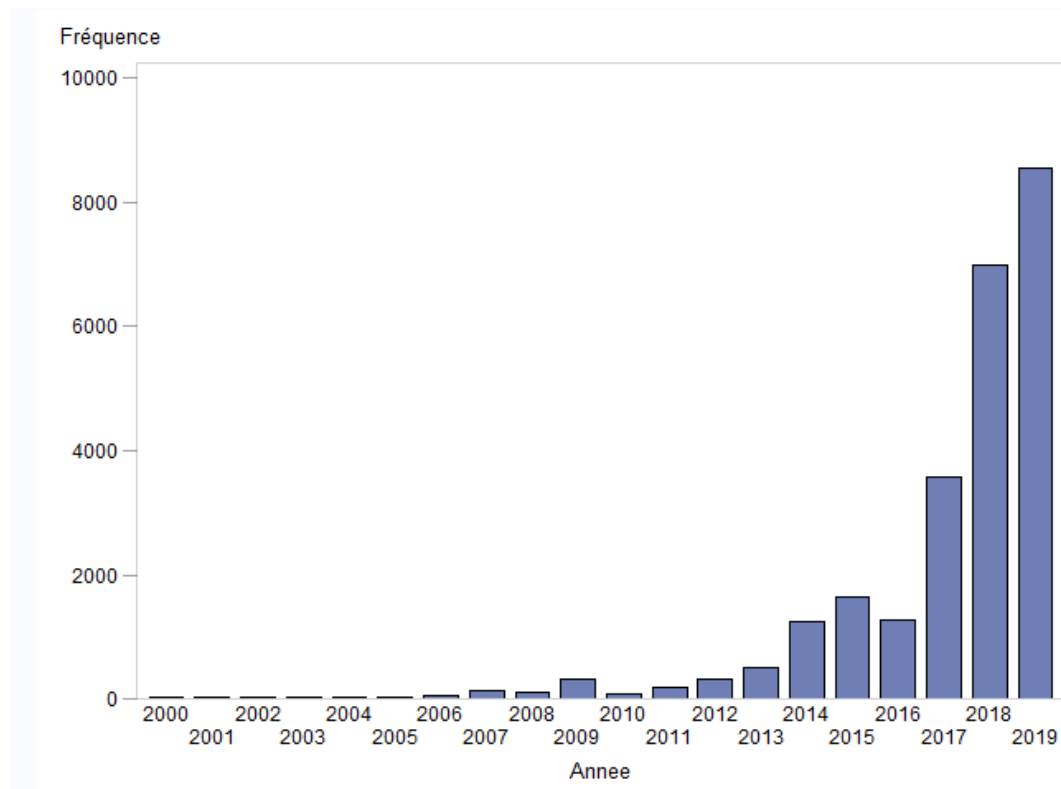
au niveau de la mer mesurée en Pascal, t (température), ww (le temps présent), w1 (le temps passé 1) et w2 (le temps passé 2).

1 – Analyse descriptive de la base de données « grêle »

A – Répartition annuelle de la grêle

La principale particularité de la grêle est qu'elle est très différente des sinistres comme les accidents automobiles par exemple qui sont peu volatiles. En effet, la grêle dépend des conditions météorologiques. La fréquence de survenance des grêles peut donc être très différentes d'une année à l'autre si bien que les coûts à la charge des assureurs changent aussi.

Néanmoins, on constate que la fréquence des chutes de grêles a beaucoup augmenté en 19 ans. Celle-ci avoisine le néant durant le début des années 2000 et a augmenté à partir de l'année 2012 jusqu'à atteindre environ 9000 sinistres en 2019.



Le réchauffement climatique que subit actuellement le globe pourrait être la raison de cette augmentation. On pourrait donc s'attendre à voir plus de chutes de grêles à l'avenir et ces derniers pouvant augmenter en intensité.

Des efforts ont mis en place pour limiter la puissance des chutes de grêles en diminuant la taille des grêlons. Ceci peut être très important sachant que durant la période concernée, la culture des vignes par exemple arrive à une étape déterminante ce qui permettrait de diminuer les pertes.

B – Répartition mensuelle de la grêle

De manière générale, on voit que la fréquence des chutes de grêles est beaucoup plus grande à partir du mois de mai. Il y a alors un peu plus de 4000 chutes de grêle durant ce mois sur les 19 ans. Au mois de juin, ce nombre passe à presque 6000 et atteint environ 8000 en juillet. En août, la fréquence des chutes de grêles diminue et passe à environ 4500. A partir du mois de septembre, le nombre de chutes diminue brusquement (environ 500).

On peut donc en conclure que la grêle tombe plus durant les périodes chaudes ce qui colle avec l'indice de grêle basé sur la saison disant la période allant de la fin du printemps à l'été est plus favorable aux chutes de grêles. Cela s'explique par le fait que la formation des cumulonimbus est provoquée par les différences de températures qui sont plus grandes durant ces mois.

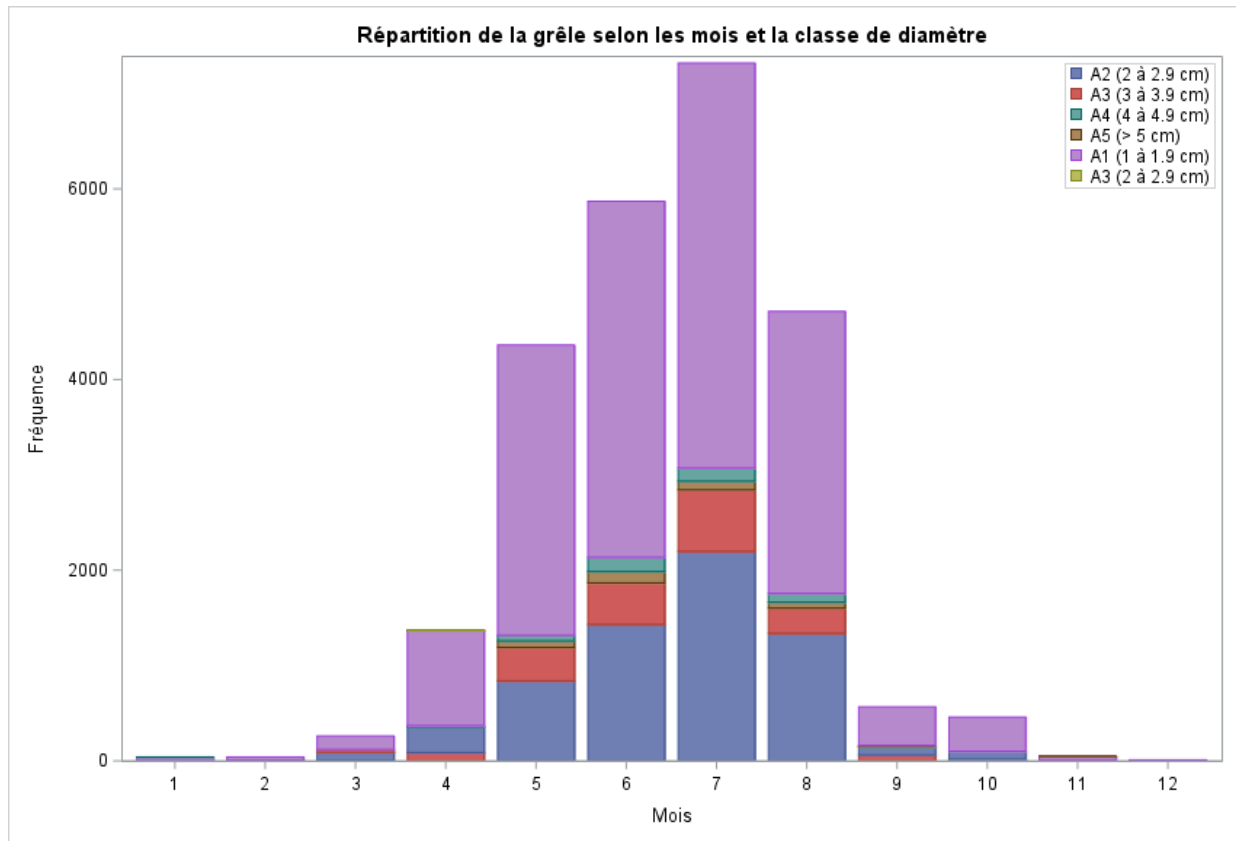


Figure 5 - Répartition mensuelle de la grêle

C – Analyse des différentes classes de diamètre de grêlons

La classe A1 est prépondérante dans nos données avec 15 979 observations. Elle est suivie de la classe A2 avec 6 357 observations puis A3 et ainsi de suite jusqu'à A5. On peut voir que plus la classe de diamètre est grande, moins les observations de la classe apparaissent. Nous pouvons arriver à la même à la remarque en analysant le graphique dessus.

Cela nous permet de dire que les chutes de grêles violentes sont rares ce qui est rassurant sachant les gros grêlons provoquent beaucoup de dégâts et sont très dangereux. Ainsi, on en comptabilise 2730 sur la période des 19 ans étudiées.

Classe_de_diametre	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
A1 (1 à 1.9 cm)	15979	63.74	15979	63.74
A2 (2 à 2.9 cm)	6357	25.36	22336	89.10
A3 (3 à 3.9 cm)	1896	7.56	24232	96.66
A4 (4 à 4.9 cm)	475	1.89	24707	98.56
A5 (> 5 cm)	359	1.43	25066	99.99
A3 (2 à 2.9 cm)	3	0.01	25069	100.00

Tableau 1 - Fréquence des classes diamètres de grêlons

2 – Cartographie de la France face à la grêle

Afin de pouvoir cartographier les données grêles que l'on détient, il faut en amont, faire un travail de manipulation des données qui va permettre de construire les tables nécessaires à la cartographie. Pour cela, il est intéressant d'utiliser le logiciel SAS qui a différentes procédures. Pour ce qui est de la cartographie en elle-même, nous allons nous aider du logiciel R.

A – Exposition des communes de France au risque grêle

Les communes françaises ne sont pas toutes exposées de la manière à la grêle sachant que cette dernière dépend des conditions météorologiques. Le graphique ci-dessous nous permet de constater cela. On peut voir que la région la plus touchée est l'Auvergne-Rhône-Alpes avec 5 483 observations sur la période étudiée. L'Occitanie vient en seconde position (4 634) suivie par la Nouvelle Aquitaine (3 364) et la Bourgogne-Franche-Comté avec 2 326 observations.

Afin de mieux visualiser cette exposition à la grêle, nous allons cartographier les différents points qui ont été touchés sur cette période. Pour avoir la meilleure représentation possible et donc prendre en compte les fréquences de chaque commune, nous pouvons utiliser au préalable une étape DATA qui va compter le nombre de fois que les communes apparaissent.

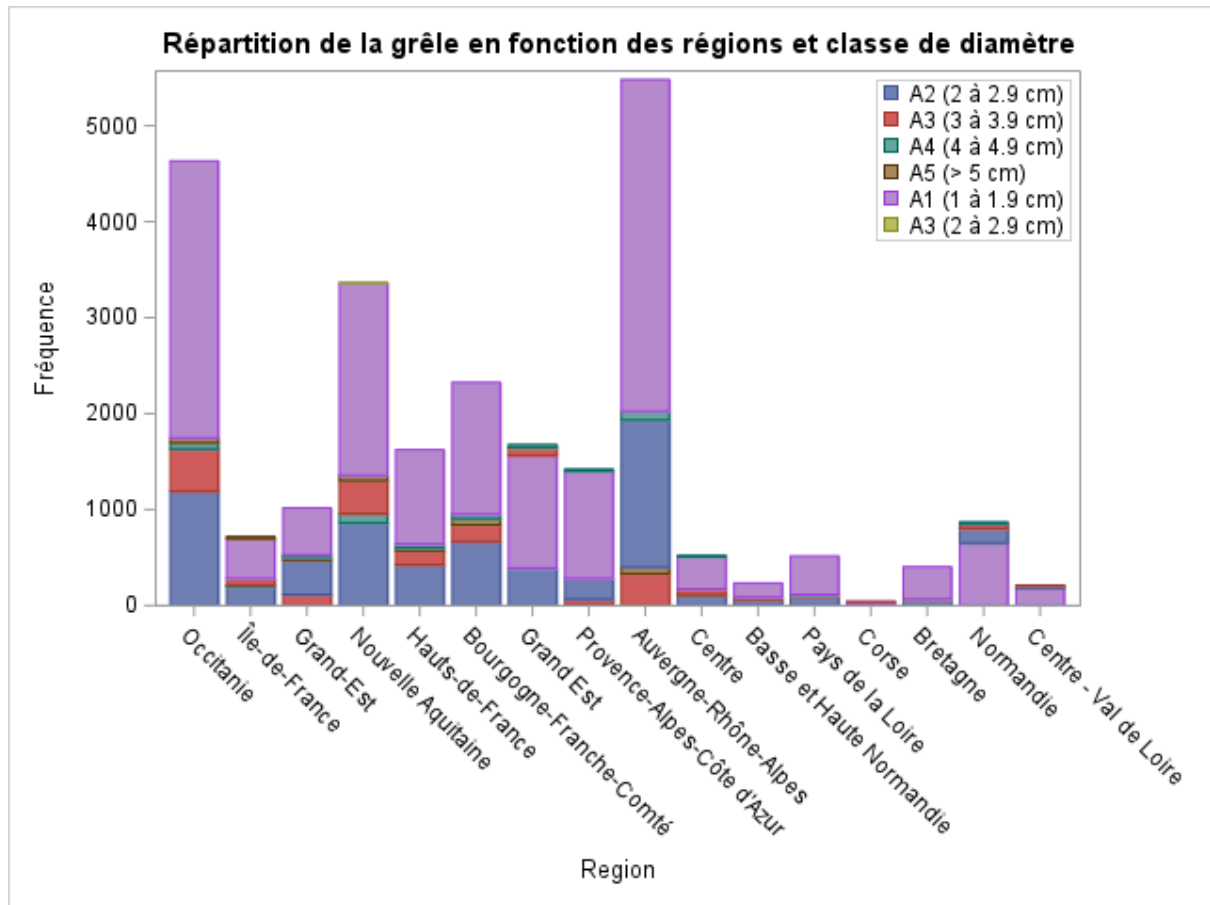


Figure 6 - Répartition de la grêle selon les régions

Nous pourrions ensuite alors nous en servir pour adapter la dimension de chaque point sur la carte. Le programme pour le décompte avec l'utilisation des marqueurs « first. » et « last. » est le suivant :

```
data nombre_commune;
set grele;
by commune;
if first.commune then n = 1;
else n + 1;
if last.commune;
run;
```


NB : Au préalable, la table utilisée doit être trier en fonction de la variable sur laquelle on souhaite faire le décompte. Ici, la variable concernée est « commune ».

A partir de là, nous pouvons exporter notre table sous un format Excel avant de pouvoir l'importer sur R grâce à la fonction « *read_xlsx* » de la librairie « *readxl* ». La table utilisée contient toutes les variables de la base de données « grêle » mais celles qui seront principalement utilisées pour la cartographie sont la latitude, la longitude et « n » qui représente le résultat du décompte effectué avec le programme ci-dessus.

```
#Import des données----
nombre_commune <- read_xlsx("C:/SAS/MEMOIRE GRELE/
                             Donn--es Gr--les/nombre_communes.xlsx")

#Carte de la France----

FranceFormes <- getData(name="GADM", country="FRA", level=1)

#Exposition des communes de France à la grêle----

plot(FranceFormes, border="black", col="white", bg="white",
      main="Exposition des communes de France à la grêle")

points(nombre_commune$Longitude, nombre_commune$Latitude, pch=20,
        col=rgb(red=1, green=0, blue=0, alpha=0.2), cex=nombre_commune$n)

|
```

Le programme sur R est constitué de la manière suivante. La fonction « *getdata* » permet d'importer la carte de la France et l'option « *level = 1* » indique que la carte aura un découpage régional.

Grâce à l'utilisation de « *plot* », on représente la carte importée puis on représente les points concernés dans la table « commune » avec « *points* ». On peut également modifier la transparence des points et voir quelles régions sont les plus touchées par la grêle.

Le résultat est donc visible sur la figure ci-dessous.

En regardant la carte, on voit bien que les régions qui présentent le plus de risque sont bien celles citées plus haut : le sud-ouest, le centre-est ainsi que le sud-est. Ce qui sont moins touchés

sont donc le nord-est, la région centre accompagnée de celle parisienne. On remarque que le nord-ouest et la corse ont l'air d'être les moins exposées au péril grêle. Cette répartition s'explique notamment par les grandes différences de températures entre les basses plaines et les endroits en altitude comme les montagnes.

Dans certaines régions, il y a une présence de vents soufflants d'ouest en est et pouvant atteindre la vitesse de 360 kilomètres par heure. Ces vents proviennent à la fois de l'océan atlantique mais aussi de la mer méditerranée. Le rassemblement de ces paramètres favorisent grandement la formation de gros nuages et donc potentiellement d'averses de grêles.

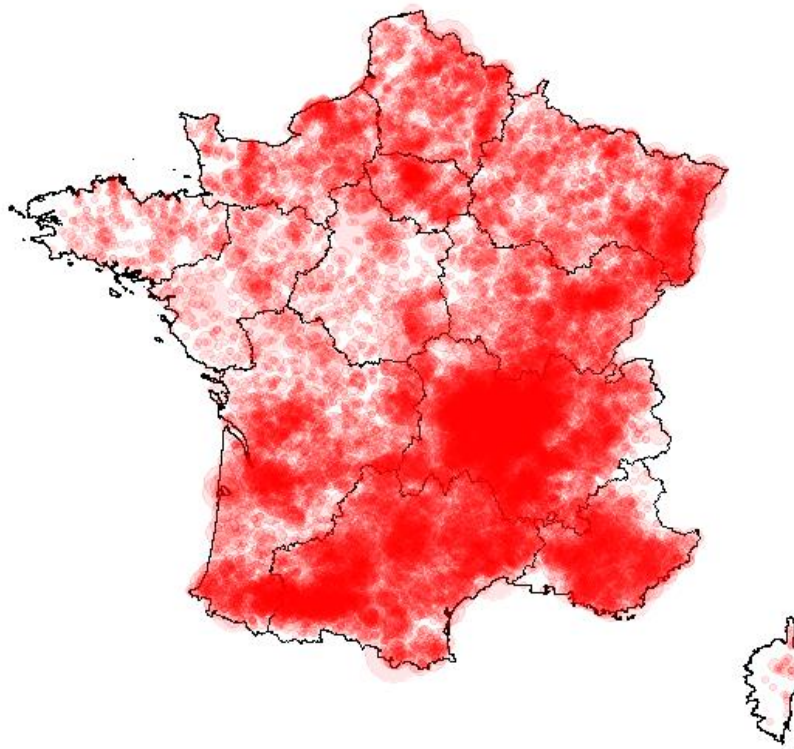


Figure 7 - Exposition des communes de France à la grêle

L'observation de cette carte nous ramène à rendre compte que l'une des caractéristiques principales du risque grêle, après la faible fréquence d'occurrence, est la dépendance géographique. Cela fait qu'il est important pour les assureurs de bien se préparer contre les sinistres issus d'averses de grêles sachant qu'on est susceptible d'avoir un grand nombre de sinistres à la fois.

B – Répartition des grêlons selon leur classe

- Classe A1

Afin de pouvoir cartographier la répartition des grêlons de cette classe, il faut d'abord extraire les observations qui ont comme valeur A1 pour la variable « classe simple ». Ce travail doit se faire à partir de la table « grêle ». Pour cela, on peut utiliser une étape DATA avec des instructions adaptées. Le programme sur SAS est le suivant :

```
data carte1;  
set bd;  
where classe_simple = 'A1';  
run;
```

Après avoir isolé les observations concernées, on utilise le raisonnement qu'on avait eu à avoir plus haut pour calculer la fréquence d'occurrence de chaque commune avec le programme suivant :

```
data donnees.carte11;  
set carte1;  
by commune;  
if first.commune then n = 1;  
else n + 1;  
if last.commune;  
run;
```

Suite à cela, nous pouvons importer la table construite sur R afin de la cartographier.

NB : La même démarche qui était utilisée pour cartographier l'exposition des communes de France face au risque grêle est la même ici. Pour les cartes qui suivront, c'est-à-dire pour celles

de la classe A2, A3, A4 et A5, le raisonnement sera toujours le même. Le résultat de ces différentes cartographies est ci-dessous.

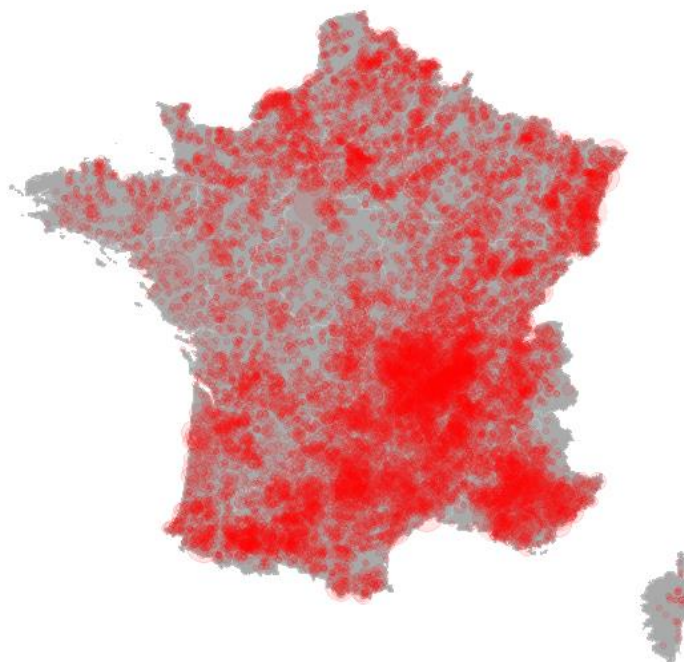


Figure 8 - Répartition des grêlons de la classe A1

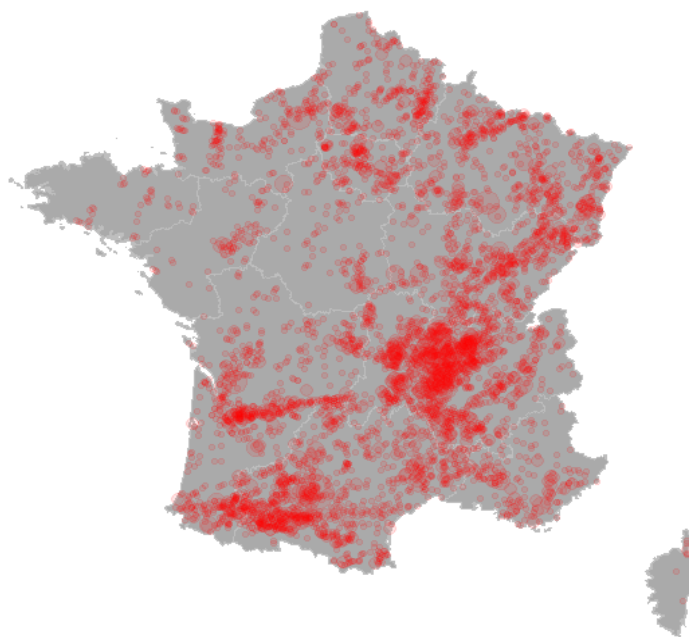


Figure 9 - Répartition des grêlons de la classe A2

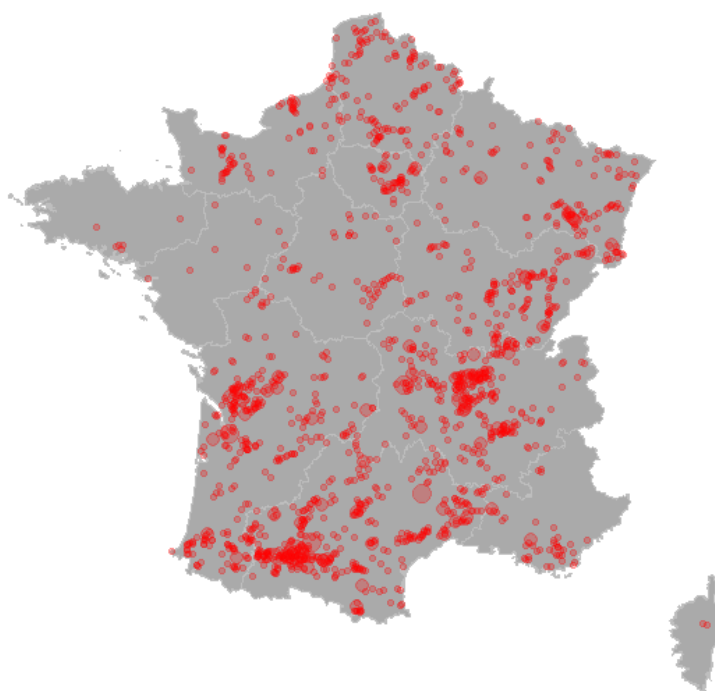


Figure 10 - Répartition des grêlons de la classe A3

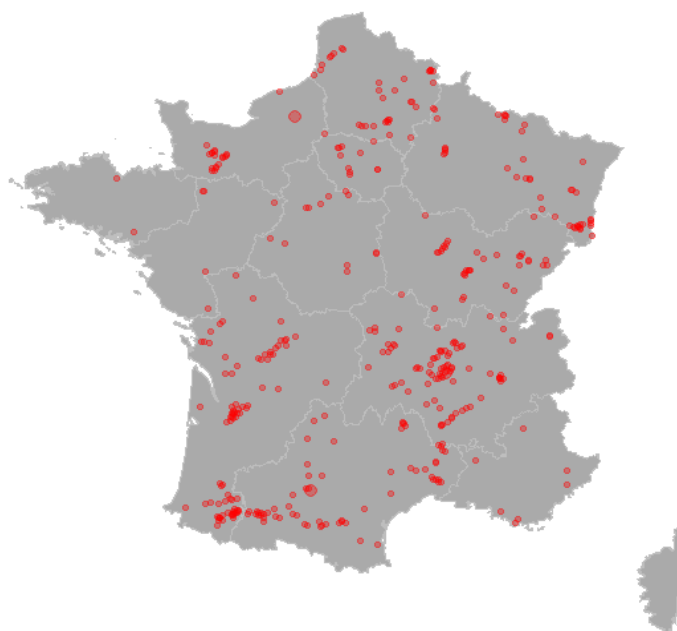


Figure 11 - Répartition des grêlons de la classe A4

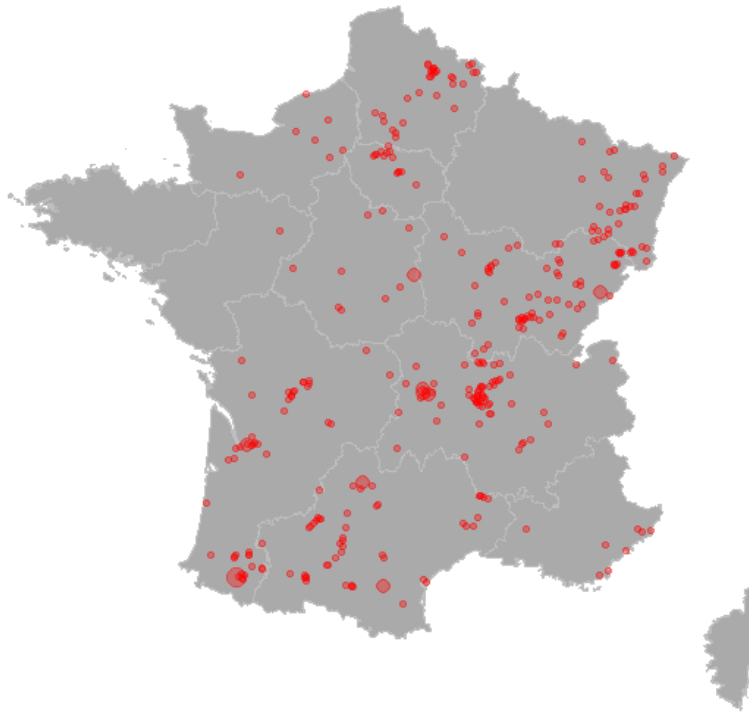


Figure 12 - Répartition des grêlons de la classe A5

C – Les évènements marquants

En assurance ou réassurance, le terme *évènement* est utilisé pour parler d'une multitude de sinistres s'étant réalisés sur une période courte et causés par le même phénomène naturel. Ici, le phénomène en question est la grêle. Sur la période étudiée, il y a plusieurs évènements qui peuvent retenir l'attention du fait du grand nombre de chutes de grêles enregistrés pour certaines dates. Afin de voir, quelles sont les dates les plus marquantes, l'utilisation de la PROC FREQ de SAS est efficace sachant qu'elle nous donne la fréquence pour chaque date observée. Pour se faciliter la tâche, nous allons utiliser l'option « freq=order » qui permet d'afficher les résultats par ordre décroissant. La syntaxe est la suivante :

```
proc freq data = bra.grele order = freq;  
tables date;  
run;
```

Une partie du résultat obtenu est sur le tableau ci-après.

Date	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
06/07/2019	721	2.88	721	2.88
18/08/2019	608	2.43	1329	5.30
04/07/2018	429	1.71	1758	7.01
09/08/2019	402	1.60	2160	8.62
25/07/2019	400	1.60	2560	10.21

Tableau 2 - Fréquence des chutes de grêles par date

Ainsi, on peut voir la date du 6 juillet 2019 compte le plus d'observations donc nous allons l'étudier grâce à une cartographie.

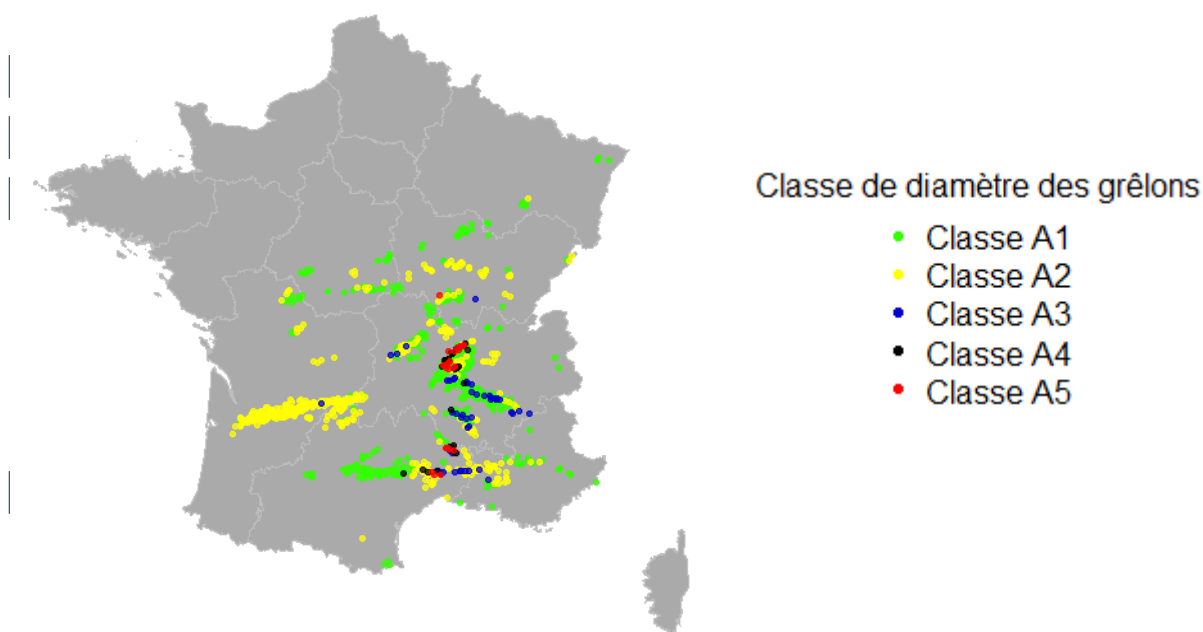


Figure 13 - Cartographie de l'évènement du 6 au 7 juillet 2019

Les régions les plus touchées par cet évènement sont la Nouvelle Aquitaine, l'Auvergne Rhône Alpes, l'Occitanie, la Provence Cote d'Azur, la Bourgogne Franche Comté ainsi qu'une partie de la région Centre. Quelques observations isolées sont également à noter pour le Grand Est. Les grêlons tombés font partie de toutes les classes mais les classes A1 et A2 sont plus représentées. En Auvergne Rhône Alpes, Occitanie ainsi qu'en Provence Cote d'Azur, on

retrouve des chutes de gros grêlons ce qui a sans doute fait beaucoup de dégâts. On pourrait penser aux voitures, toitures et cultures qui seront les principales victimes.

On remarque également que les chutes de grêles suivent parfois des trajectoires comme c'est le cas en Occitanie et Nouvelle Aquitaine. Ces trajectoires pourraient être le fruit des vents violents durant les averses.

Le deuxième événement ayant enregistré le plus d'observations date du 19 août 2019 avec un total de 608 chutes de grêle.

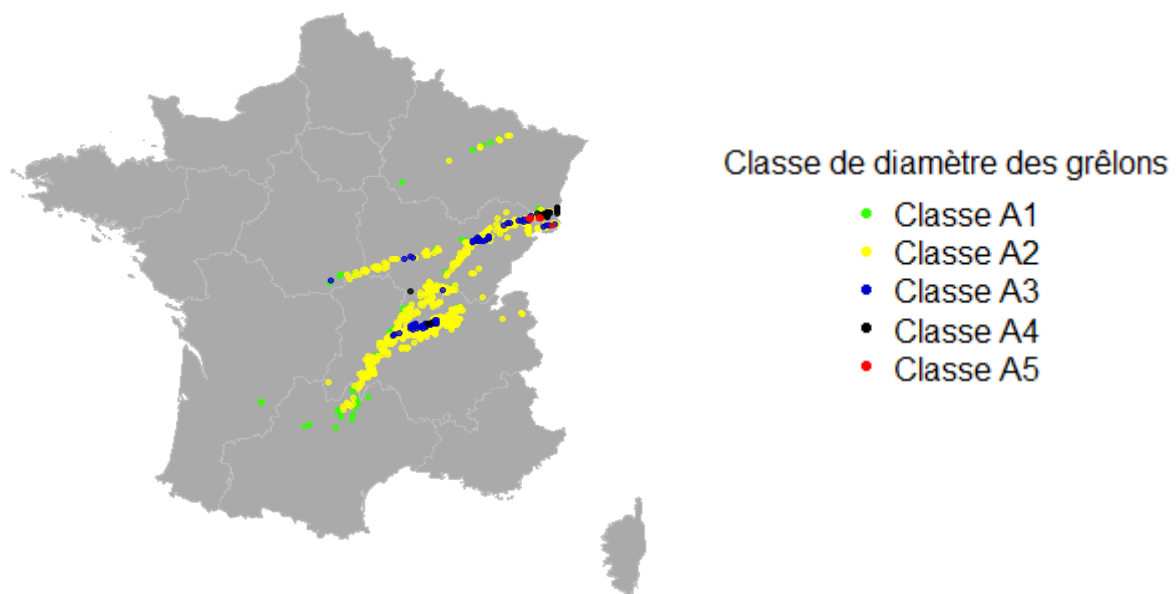


Figure 14 - Cartographie des événements du 18 août 2019

Pour cette date-là, les grêlons de la classe A2 ayant une taille allant de 2 à 2.9 centimètres sont les plus nombreux avec 464 observations. L'Auvergne Rhône Alpes et la Bourgogne ont été les principaux concernés. On remarque aussi une trajectoire des averses en forme de « Z ». On voit aussi que le Doubs et le territoire de Belfort situés en région de Bourgogne ont eu droit à des grêlons pouvant atteindre une taille de 8 centimètres.

3 – Cartographie des conditions météorologiques des communes françaises

L'objectif dans cette partie est de cartographier, pour chaque grêle, les conditions météorologiques de la station la plus proche. Pour cela, on utilise les données de la table « GRMF » qui ont été obtenues en important d'abord les conditions météo enregistrées par les différentes stations françaises et ce, de l'année 2000 à 2019. On a ensuite choisi de garder les observations qui prennent les suivantes pour « ww » qui représente le temps présent : 27, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 96 et 99. Il faudra ensuite fusionner ces données avec la table « grêle ».

Ces valeurs ont des significations bien précises. Par exemple le code 27 signifie « averse (s) de grêle, grésil ou neige roulée ou de pluie et de grêle ; au cours de l'heure précédente mais non au moment de l'observation ». Donc la table « GRMF » est constituée uniquement par des observations où on a de la grêle.

A – Distance entre les communes et les stations météorologiques

Sachant que l'on doit utiliser les conditions météo de la station la plus proche pour chaque grêle, il faut donc au préalable calculer la distance sphérique entre les communes et les stations météo avant de déterminer les correspondances pour chacune.

Définition¹ :

« Soit deux points A et B sur une sphère respectivement de latitude ϕ_A et ϕ_B et de longitudes λ_A et λ_B , la distance entre le point A et le point B en kilomètres, $S(A, B)$ est obtenue par la formule suivante :

$$d\lambda = \lambda_B - \lambda_A : S(A, B) = 6371 * (\arccos(\sin \phi_A \sin \phi_B + \cos \phi_A \cos \phi_B \cos d\lambda))$$

Le 6371 est la distance en kilomètres d'un rayon de la terre ce qui permet d'obtenir la même unité pour le résultat.

¹ Définition sur https://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/Distance_longitude_latitude.pdf

Ainsi, on utilise une PROC SQL qui va nous permettre de créer une table qui nous donne la distance entre les communes représentées par leur code INSEE et les stations, représentées par leur numéro. Mais avant cela, nous avons besoin de créer la variable « geo_point_2d » pour la table « grêle » mais aussi pour celle « GRMF », issue de la concaténation entre la latitude et la longitude de chaque variable. La fonction « catx » nous permet d'effectuer cette concaténation. Le programme est :

```
data bra.grele_geo;  
set bra.grele;  
geo_point_2d = catx(',',latitude,longitude);  
run;
```

C'est cette variable qui sera ensuite utilisé dans la procédure SQL. La table obtenue au terme du calcul des distances contient environ 1 539 460 observations issues des différents croisements possibles. Nous pouvons ensuite utiliser une PROC MEANS (avec une option MIN), servant aidant à obtenir des statistiques descriptives, pour avoir la distance minimale pour chaque commune. La syntaxe utilisée est la suivante :

```
proc means data = distancestationcommune min noprint;  
class code_insee ;  
ID id_station ;  
var dist;  
output out = corresp_station MINID = code_station;  
run;
```

B – La fusion des tables créées

Arrivé à ce stade, il faut fusionner cette table à celle « météo » obtenue après quelques modifications de « GRMF ». Pour pouvoir réaliser cette tâche, on utilise l'instruction MERGE de SAS dans une étape DATA. Cependant, il faut au préalable trier les tables (avec la PROC

(SORT) que l'on veut fusionner en fonction de la variable clé. Elle correspond à la variable que les deux tables ont en commun. Ici, il s'agit du numéro de station. Ces deux étapes sont notées ci-dessous.

```
proc sort data = rica.meteo;  
by numero_station;  
run;  
proc sort data = rica.corresp_station;  
by numero_station;  
run;  
  
data rica.ensemble;  
merge rica.meteo rica.corresp_station;  
by numero_station;  
run;
```

A partir de là, il faut fusionner la table « ensemble » obtenue avec la table « grêle » de départ grâce aux étapes ci-dessus à la seule différence qu'ici, la variable clé sera « INSEE ».

C – Cartographie des conditions météorologiques

- Représentation de la température (t)

Pour commencer, nous pouvons cartographier la température pour chaque commune présente dans la table « grele_meteo ». Pour cela, nous avons utilisé deux méthodes pour voir si les résultats se rapprochent. L'une nécessite l'utilisation de la fonction *qtm* de la librairie *tmap* avec la température moyenne pour chaque département. Pour pouvoir appliquer cette méthode, il faut fusionner les données à représenter avec le slot *data* de la carte qu'on utilise par une variable clé, ici le nom du département. La deuxième méthode correspond à celle utilisée plus haut avec la fonction *plot* et *points*. Les deux cartes obtenues sont ci-dessous.

La différence qui ressort ainsi est que la deuxième carte est plus précise sachant que les communes sont représentées une à une ce qui nous permet d'exclure celles non observées de la carte contrairement à la première qui prend en compte le département en entier.

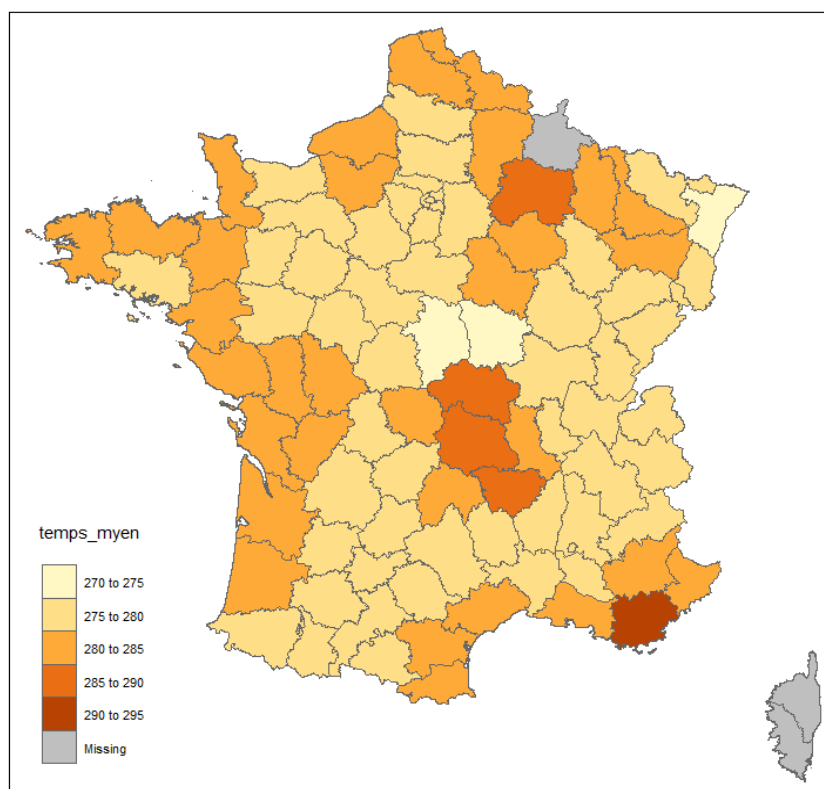


Figure 15 - Cartographie de la température moyenne par département

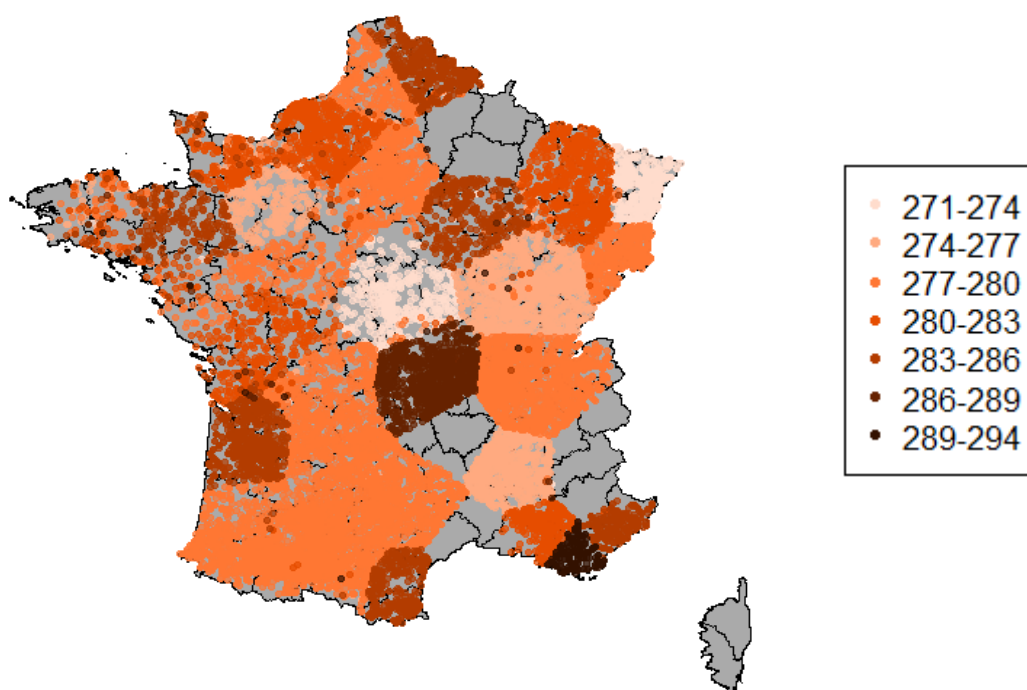


Figure 16 - Cartographie de la température par commune

Les mesures de la température sont comprises entre 271.55 et 294.35 degrés Kelvin ce qui correspond à -2.15 et 20.85 degrés Celsius. On peut donc en déduire que ces mesures ont été prises durant des périodes où il ne fait pas extrêmement chaud.

- Représentation du temps présent (ww)

La variable ww est une variable catégorielle composée de plusieurs facteurs. Ils sont répartis comme suit.

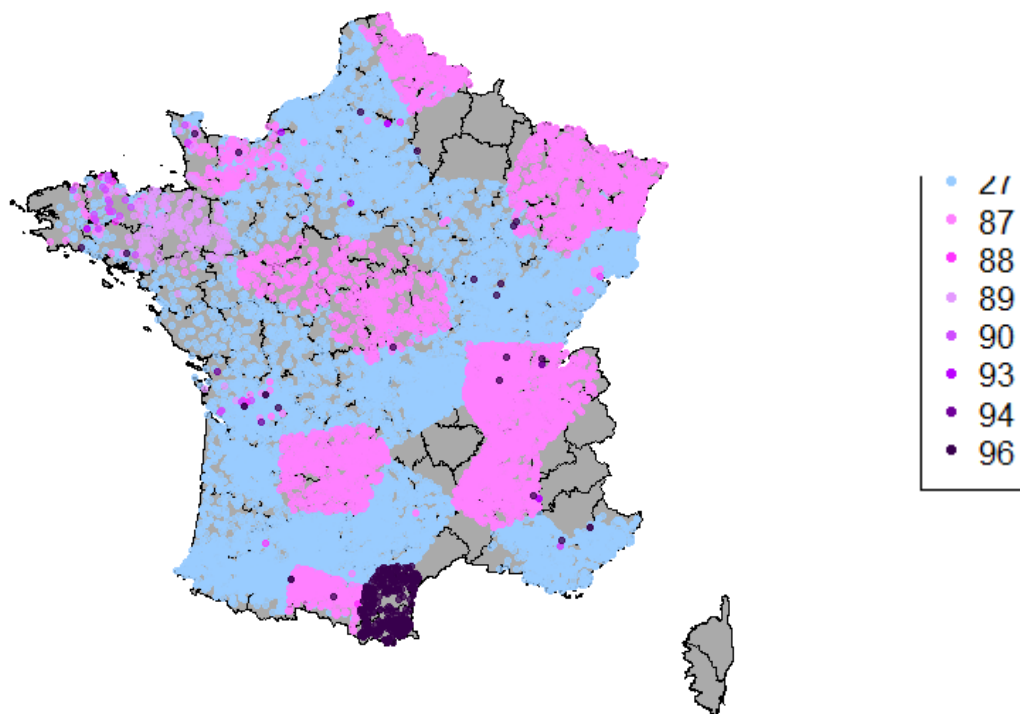


Figure 17 - Répartition de la variable ww

Le facteur « 27 » défini plus haut est le plus représenté suivi du « 87 » qui montre qu'il y a eu « une ou des averse(s) faible(s) de grésil ou de neige roulée avec ou sans pluie ou pluie et neige mêlées ² ». Les valeurs « 93 » et « 94 » représentant généralement des faibles

² Définition des différents codes météo prises sur
http://www.meteo.fr/meteonet/DIR_reso40/fichiers_obs_france_web_reso40_f.htm

chutes de pluies, neige ou grêle sont les moins présentes. Le code « 96 » est lui particulièrement présent dans l'Aude et les Pyrénées Orientales situés en Occitanie. Il nous indique qu'on est en présence « d'orage faible ou modéré, avec grêle, grésil ou neige roulée au moment de l'observation ».

- Représentation du temps passé 1 et 2 (w1 et w2)

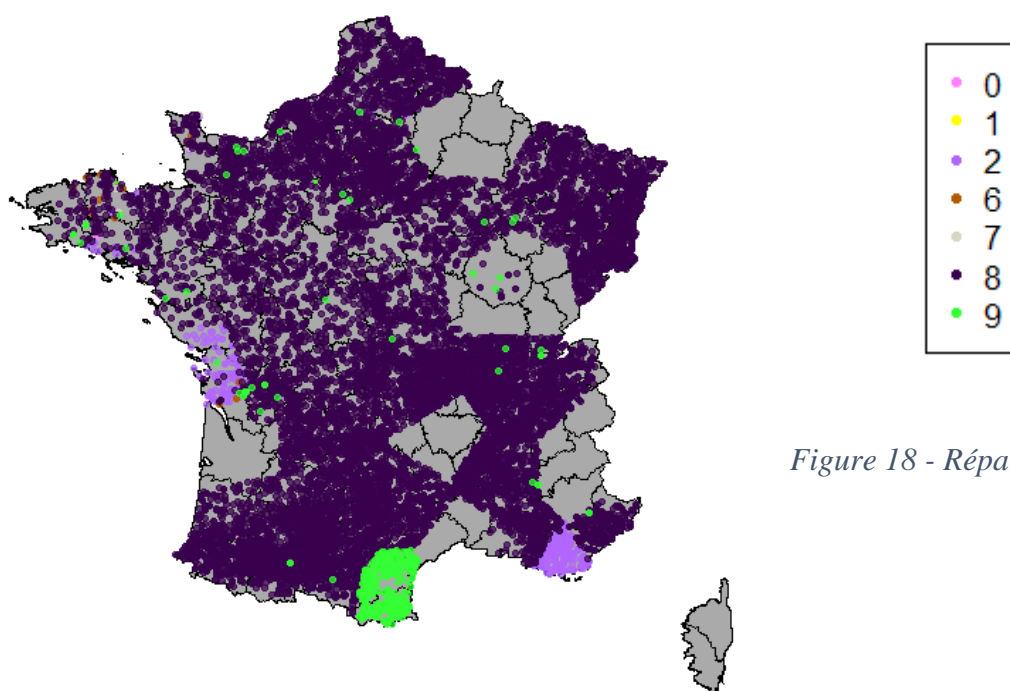


Figure 18 - Répartition de W1

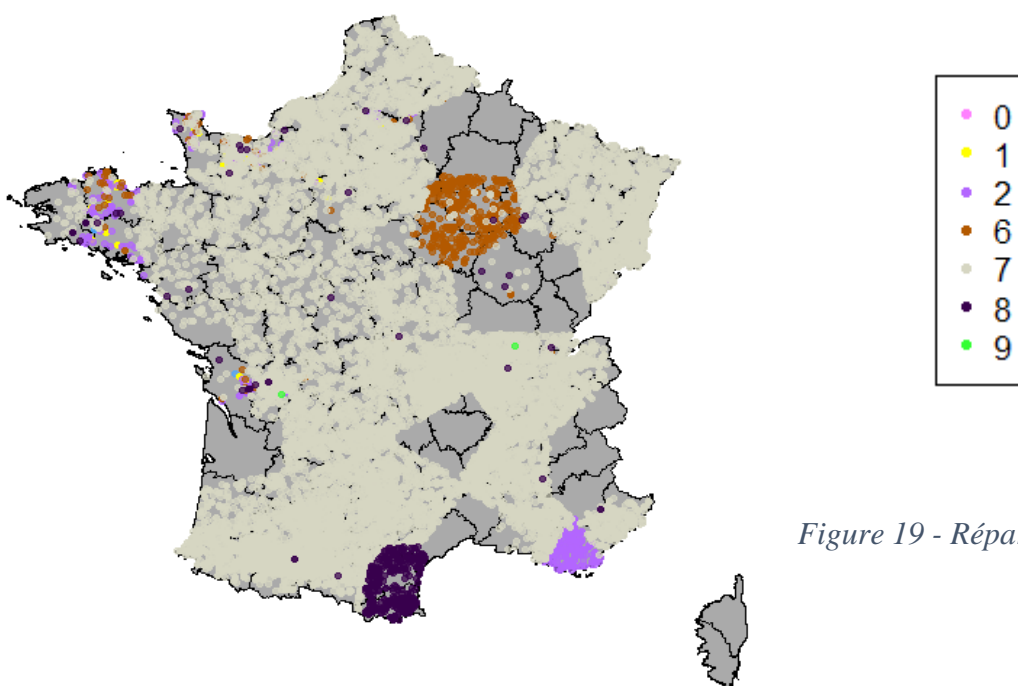


Figure 19 - Répartition de W2

Le temps passé (W1 et W2) peuvent être considéré comme des éléments complémentaires de WW. En effet, ils servent à retracer de la meilleure manière les conditions météorologiques qui ont précédées l'observation.

En observant nos trois dernières cartes, on pourrait dire qu'il existe un lien entre le temps passé et celui présent ce qui paraît logique. Par exemple, pour la partie au sud de l'Occitanie, on constate que ses conditions météorologiques sont différentes du reste de la France en général, que ce soit pour le temps passé 1, 2 ou bien le temps présent.

Pour le temps passé 2, son code est « 8 » faisant référence à des « tourbillons de poussières ou de sables ». Pour le temps passé 1, nous avons le code « 9 » ce qui veut dire qu'une « tempête de sable ou de poussière a été observé à ces endroits durant l'heure précédente ». Nous voyons bien qu'il y a une dégradation des conditions météo pour cette partie si bien que pour le temps présent, nous avons le code « 96 ». Cela veut donc dire qu'on a été en présence d'orage pas fort, accompagné de grêle, grésil ou de neige.

Pour la plus grande partie des observations sur le territoire, nous avons le code « 7 » pour la variable W2. Dans ces territoires, le vent a soulevé de la poussière ou du sable sans pour autant provoquer des tourbillons ou tempête. Pour W1, nous observons le code « 8 » avant d'avoir majoritairement « 27 » puis « 87 » pour le temps présent.

On pourrait donc croire que le temps observé dans le sud de l'Occitanie est un peu plus dégradé que dans le reste de la France en général sachant qu'on y note la présence d'orage même s'ils ont une puissance moyenne voire faible.

Également, dans les départements Var et Bouches-du-Rhône, il y a un phénomène pouvant attirer l'attention. En effet, on voit que pour W2 et W1, le ciel est identique. Cependant, pour le temps présent, on observe le code « 27 » ce qui veut dire que les conditions météorologiques ont changées très rapidement ce qui peut surprendre les habitants de ces régions. D'ailleurs, pour ce qui est de la température, on remarque qu'il s'agit de la zone où il fait le plus chaud ce qui pourrait expliquer ces changements rapides.

Il y a aussi une partie de la Nouvelle Aquitaine qui est concernée par ces changements radicaux même si on manque de données pour W2 en ce qui concerne cette partie de la France.

CONCLUSION

L'objectif de ce mémoire est de décrire au mieux le risque grêle, l'exposition de la France face à ce dernier ainsi que de faire une étude sur les conditions météorologiques étant susceptibles d'être observées en temps de grêle. Nous avons ainsi pu expliquer au préalable quelques caractéristiques de la grêle, notamment sa formation, ses moyens de mesures ainsi qu'un moyen de protection contre cet aléa : la garantie TGN des assureurs.

Nous pouvons donc en conclure que c'est un phénomène qui est assez rare et très localisé d'où les difficultés de prévoir les chutes de grêles. Ainsi, on a pu remarquer que les régions les plus touchées sont principalement l'Auvergne-Rhône-Alpes, l'Occitanie, la Nouvelle Aquitaine. On pourrait ainsi croire à une corrélation entre les hautes altitudes³ comme les zones montagneuses et une augmentation de l'exposition aux chutes de grêles. En observant une carte des altitudes françaises, il est possible de faire cette remarque même si les observations sur la Corse ne confirment pas cette théorie. On voit qu'elle fait partie des régions les moins touchées avec le Nord-Ouest de la France (Pays de la Loire, Bretagne), avec une bonne partie de la région Centre Val de Loire.

On constate également que l'on manque de données pour une partie des Alpes avec plus de 2000 mètres d'altitudes. Cela peut s'expliquer par des difficultés à faire des mesures dans ce type d'endroit.

Pour ce qui est des conditions météorologiques, nous n'avons pas beaucoup d'observations (1027). De plus, les dates où les observations ont été faites ne correspondent pas avec celles de notre base de données « grêle ». En effet, la majorité de nos observations dans la table « grêle » ont été réalisées entre le mois de Mai et Août alors que pour la table « grmf », on se retrouve avec une plus grande fréquence des mois de Novembre, Décembre, Janvier à Avril. Néanmoins, nous avons donc pu voir comment évoluer le temps jusqu'à l'apparition de faibles chutes de grêle même si nous sommes en manque d'information concernant les orages violents par exemple qui ont l'air de se produire dans les moments plus chauds de l'année. Cela nous montre encore une fois que le risque grêle est un phénomène difficile à appréhender.

³ Voir annexe 6

BIBLIOGRAPHIE

La grêle, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%A4le> , Wikipédia

Record des plus gros grêlons jamais tombés, <https://www.futura-sciences.com/planete/breves/orage-record-monde-plus-gros-grelon-jamais-tombe-2493/>, Futura Science

Qu'est ce qu'un cumulonimbus, <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/meteorologie-cumulonimbus-2037/> Futura Science

Comment se forme la grêle ? <https://www.bfmtv.com/planete/violents-orages-comment-se-forme-la-grele-1713569.html>, BFM TV

Fiche sur la grêle, https://aviation.meteo.fr/documentation/fiche_grele.pdf , Aviation Météo

Les radars météorologiques, <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/moyens/les-radars-meteorologiques>, Météo France

Difficulté sur la prévision de la grêle, <https://actualite.lachainemeteo.com/actualite-meteo/2019-08-05/grele-pourquoi-sa-prevision-est-difficile-47449>, La chaîne Météo

Définition d'un radar, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Radar>, Wikipédia

La réflectivité, <https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9flectivit%C3%A9>, Wikipédia

La grêle : un aléa extrême, <https://www.argusdelassurance.com/acteurs/risques-climatiques-la-grele-l-alea-extreme.120031>, Argus de l'assurance

Article sur les codes postaux et code INSEE,
http://www.lion1906.com/Pages/francais/infos/article_codes_postaux_et_codes_insee_definitions_et_precisions.html, Lion 1906

Mémoire d'actuariat
https://www.institutdesactuaire.com/global/gene/link.php?news_link=mem%2F4913232c68d7d27000e5185420afa987.pdf&fg=1, Institut des actuaire

Fichier observation sur les données SYNOP,
http://www.meteo.fr/meteonet/DIR_reso40/fichiers_obs_france_web_reso40_f.htm, Météo France

Calcul de la distance sur une sphère,
https://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/Distance_longitude_latitude.pdf, Géodésie

ANNEXES

ww	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
27	12672	61.10	12672	61.10
87	7289	35.15	19961	96.25
88	25	0.12	19986	96.37
89	285	1.37	20271	97.74
90	36	0.17	20307	97.92
93	7	0.03	20314	97.95
94	4	0.02	20318	97.97
96	421	2.03	20739	100.00

Annexe 1 - Répartition de WW

w1	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
0	3	0.01	3	0.01
1	15	0.07	18	0.09
2	383	1.85	401	1.93
5	1	0.00	402	1.94
6	19	0.09	421	2.03
7	11	0.05	432	2.08
8	17649	85.10	18081	87.18
9	456	2.20	18537	89.38
mq	2202	10.62	20739	100.00

Annexe 2 - Répartition de W1

w2	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
0	5	0.02	5	0.02
1	33	0.16	38	0.18
2	358	1.73	396	1.91
6	515	2.48	911	4.39
7	17050	82.21	17961	86.60
8	446	2.15	18407	88.76
9	3	0.01	18410	88.77
mq	2329	11.23	20739	100.00

Annexe 3 - Répartition de W2

date	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
5	35	3.41	35	3.41
10	21	2.04	56	5.45
11	99	9.64	155	15.09
12	117	11.39	272	26.48
1	142	13.83	414	40.31
2	226	22.01	640	62.32
3	238	23.17	878	85.49
4	135	13.15	1013	98.64
7	8	0.78	1021	99.42
8	3	0.29	1024	99.71
6	2	0.19	1026	99.90
9	1	0.10	1027	100.00

Annexe 4 - Répartition des mois dans la table GRMF « météo »

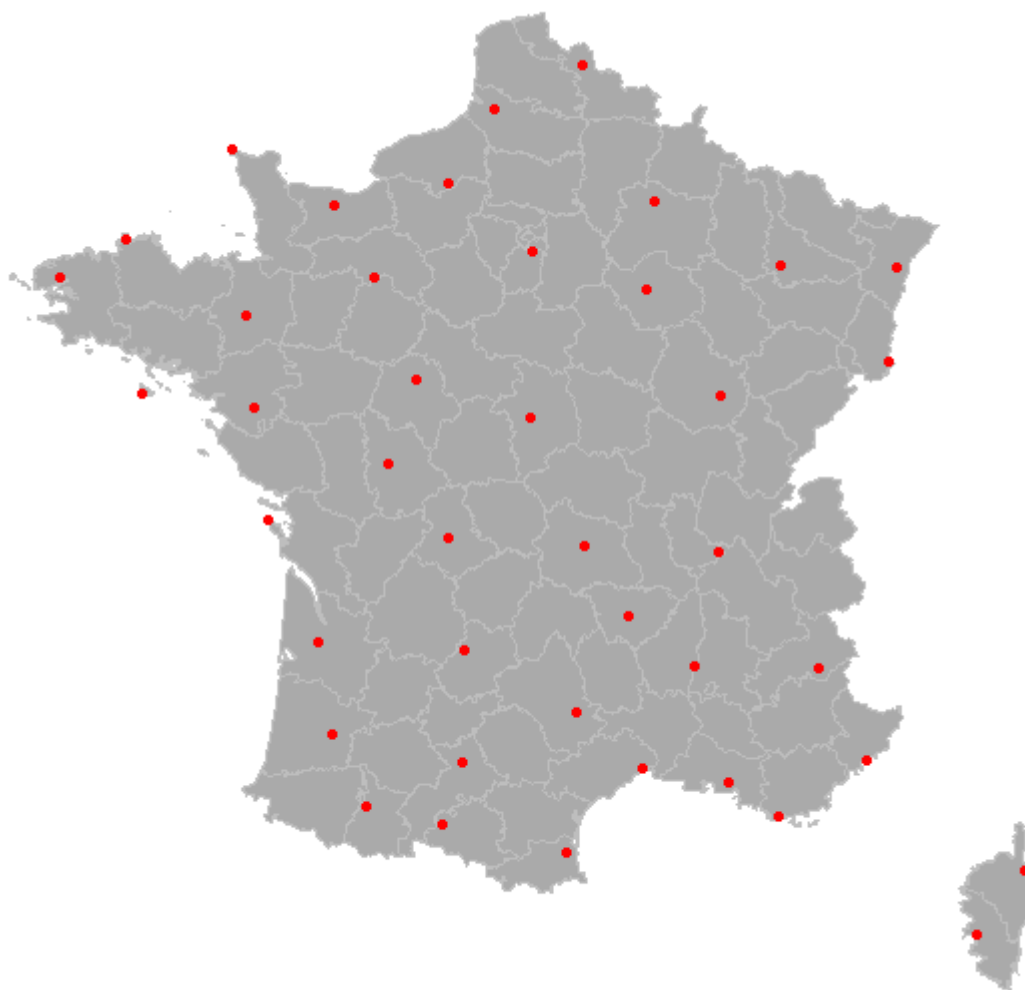


Fotolia © Brad Pict

Annexe 5 - Découpage départemental de la France



Annexe 6 - Répartition des altitudes en France



Annexe 7 - Position des stations météorologiques en France