

## LES TORNADES EN FRANCE : ÉTUDE SPATIO-TEMPORELLE D'UN PHÉNOMÈNE SOUS-ESTIMÉ

Matthieu LACROIX <sup>1</sup>, Saïda KERMADI <sup>1</sup>, Agnès TAMBURINI <sup>2</sup>, Benoît THOMÉ <sup>2</sup>

(1) Université de Lyon, 5 Avenue Pierre Mendès, 69500 Bron, France. [matthieu.lacroix@univ-lyon2.fr](mailto:matthieu.lacroix@univ-lyon2.fr)

(2) Direction Inter-Régionale Centre-Est, Météo-France, 18 Avenue Louis Mouillard, 69500 Bron, France

**Résumé :** Chaque année, la France connaît environ 22 tornades d'intensité faible à modérée. Leur distribution spatio-temporelle, ainsi que les raisons pour lesquelles elles sévissent dans certaines zones plus que d'autres, reste une interrogation majeure dans la compréhension de ces phénomènes. Le but principal de cette étude est d'améliorer nos connaissances climatiques des tornades en France, non seulement dans leur répartition spatio-temporelle, mais également dans leur évolution sur le court, moyen et long terme en relation avec le changement climatique. Si l'étude temporelle, notamment mensuelle, a permis de mettre en valeur une concentration de tornades durant la saison chaude, leur répartition spatiale reste tributaire de certains facteurs géographiques ; c'est ce que nous montrerons dans cette étude.

**Mots-Clés :** Tornades, répartition spatio-temporelle, France, SIG.

**Abstract:** Each year, France experiences about 22 tornadoes of low to moderate intensity. Their spatio-temporal distribution, as well as the reasons why they occur in certain areas more than others, remains a major question in the understanding of these phenomena. The main aim of this study is to improve our climatic knowledge of tornadoes in France, not only in their spatio-temporal distribution, but also in their short, medium and long-term evolution in relation to climate change. If the temporal study, particularly monthly, has made it possible to highlight a concentration of tornadoes during the warm season, their spatial distribution remains dependent on certain geographical factors; this is what we will show in this study.

**Keywords:** Tornado, spatio-temporal distribution, France, GIS.

### Introduction

Les tornades sont des événements météorologiques extrêmes, qui ont lieu à toute période de l'année, sur divers continents. Bien que les États-Unis soient le lieu de toutes les attentions pour les recherches sur ces phénomènes, l'Europe, pionnière dans ces recherches au XIX<sup>ème</sup> siècle, se retrouve délaissée. La France est un pays très varié : avec un relief diversifié et plusieurs domaines climatiques, elle se prête bien à une étude de ces phénomènes. Néanmoins, les tornades restent des phénomènes sous-estimés aussi bien en France qu'en Europe ; aucun système d'alerte ou de prévention n'est disponible. Pour comprendre l'évolution spatio-temporelle de ces phénomènes dans un futur proche, il est donc primordial de faire un état actuel des tornades en France. Cette étude permettra d'une part de caractériser l'aléa tornadique en France, et d'autre part de poser les bases pour une étude potentielle en lien avec le changement climatique.

D'un point de vue historique, les tornades en France ont été étudiées à plusieurs reprises : Jean-Charles Peltier en 1840, Alfred Wegener en 1917, et plus récemment Jean Dessens et John Snow en 1989. Les recherches de ces deux derniers climatologues ont permis de distinguer les régions de

France les plus touchées par ces phénomènes. On y trouve notamment l'ouest de la France (Poitou-Charentes), la région Parisienne mais également les Hauts-de-France.

Afin de mettre à jour cette climatologie des tornades, qui comportait 107 observations, nous avons eu recours à l'utilisation d'un Système d'Information Géographique et de plusieurs bases de données : la Base de Donnée des Évènements Marquants (BDEM) de Météo-France, celle de l'ESSL (European Severe Storm Laboratory) et celle de Keraunos (bureau d'étude spécialisé dans les phénomènes météorologiques violents).

## **1. Méthodologie et mise en place d'une base de données sous SIG**

Pour étudier la répartition spatio-temporelle des tornades en France, il convient d'analyser ces phénomènes dans un Système d'Information Géographique. Nous avons rassemblé une base de données, la plus complète possible, sur une longue période. C'est donc la période 1811 à 2020 qui a été retenue. Cette période permet de comptabiliser un certain nombre de tornades, même s'il est compliqué d'avoir un aperçu convenable de ces phénomènes dans le temps. En effet, les tornades sont des phénomènes difficiles à observer. Ils sont généralement petits, ne dure pas longtemps (quelques minutes généralement) et leur caractérisation en tant que tornade est soumise à une enquête. Cette enquête permet de conclure si les vents sont tourbillonnaires ou non, permettant de différencier les tornades d'autres phénomènes venteux.

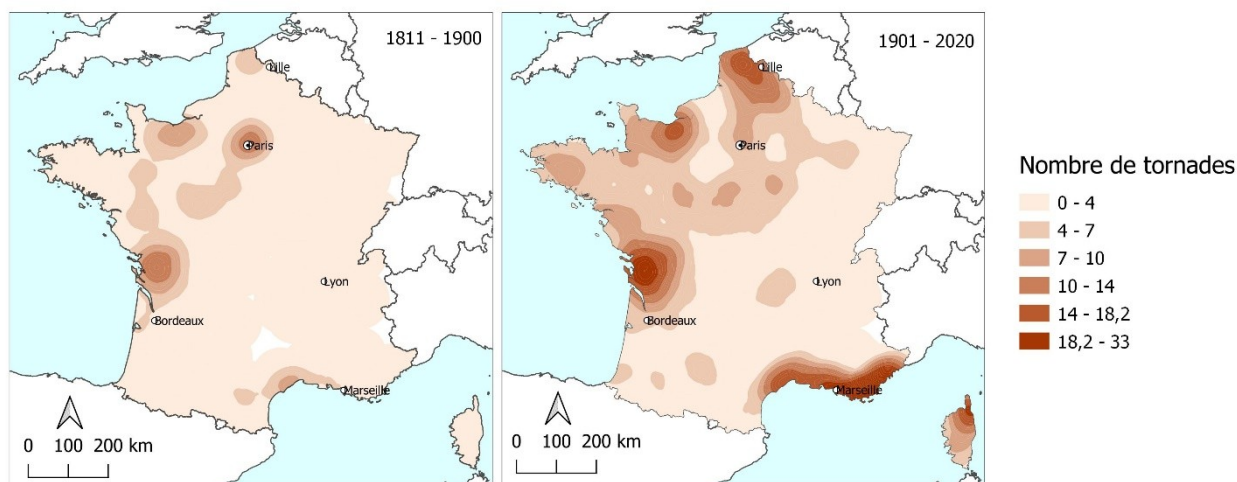
Pour mener à bien la constitution d'une base de données complète, trois sources ont donc été croisées.

Pour commencer, il a fallu implémenter les données de la base des événements marquants (BDEM) de Météo-France dans un SIG. Cette base de données interne rassemble plus de 18 000 faits météorologiques notables, tels que les pluies intenses, les canicules ou encore, ce qui nous intéresse, les tornades et autres épisodes venteux en tout genre. Sur les 668 potentielles occurrences listées comme suite à la requête « tornade », un tri et une vérification ont été effectués, permettant de valider 426 signalements de la base. Ces vérifications ont été faites grâce à la BD complète sur la France de Keraunos et aux ressources fournies par la BDEM à chaque événement (coupures de journaux, rapports météorologiques, enquêtes de terrain). D'autre part, pour compléter ces observations, une demande a été faite auprès du European Severe Storm Laboratory (ESSL) pour récupérer les données de leur base. Cet organisme, fondé en 2006 et référent dans ce domaine, rassemble une base de données à l'échelle Européenne sur les tornades, la grêle ou encore les coups de vent.

À la suite de cette demande, 482 phénomènes ont été partagés en format géographique à l'échelle de la France, ce qui a permis, après suppression des doublons, un ajout de 304 nouvelles observations. La base de données finale est portée donc à 730 événements. Leur représentation est ponctuelle, la précision de leur position allant de quelques dizaines de mètres à une centaine de mètres pour les plus incertaines. Le point donné représente le lieu de formation de la tornade, qui est le point de contact entre le sol et le tuba en rotation. Dans cette base de données, la quasi-totalité des tornades est caractérisée par une date, une heure de formation, une trajectoire et une largeur. Les trajectoires ont été obtenues d'après les rapports d'enquêtes de Keraunos et Météo-France, et numérisées sur un fond de carte Open Street Map. Quant à l'échelle d'intensité, avec Fujita ou Fujita améliorée, elle est renseignée lorsque celle-ci est disponible.

L'analyse spatiale est faite sous le logiciel libre Qgis 3. Ce logiciel regroupe tous les outils nécessaires à de telles analyses. L'outil carte de chaleur a notamment été utilisé.

## 2. Résultat et analyse des tornades en France



Source : Météo-France / ESSL / Keraunos  
Réalisation : Matthieu Lacroix, 2022

**figure 1.** Densité de tornades en France. Densité pour un rayon de 75 km, évolution par siècle.

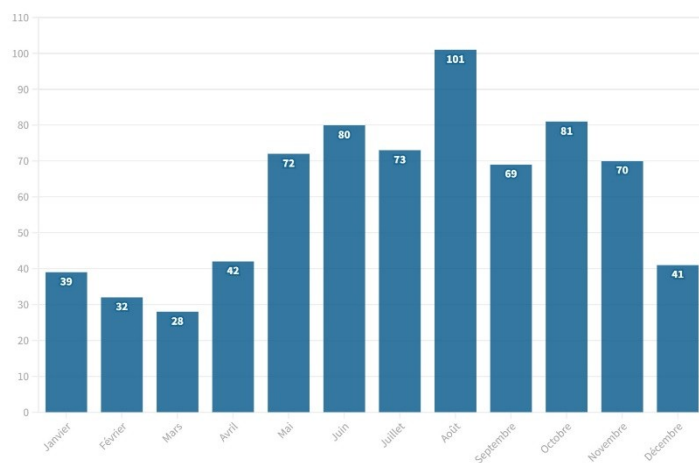
### 2.1. Répartition spatiale des tornades en France

Afin de faire ressortir les zones à forte densité, nous avons utilisé la technique dite des « points chauds » qui consiste à analyser des entités spatiales par rapport à leurs voisins en fonction d'une distance, ici un rayon de 75 km. Cette distance permet d'avoir un compromis entre un lissage des données (simplification des données lorsque le rayon choisi est trop grand) et des données comportant une multitude de détails si le rayon pris en compte est trop petit. Ce rayon de 75 km permet d'avoir des résultats plus précis sans toutefois être trop simplifiés. Il permet notamment de faire apparaître de petits clusters qui sont effacés si le rayon est important. La figure 1 ci-dessous présente les densités de tornades pour les périodes 1811-1900 et 1901 à 2020.

Comme nous pouvons le voir sur ces deux cartes, certaines zones se dégagent bien par rapport aux autres. Pour la période 1800-1900, comportant 49 observations, quatre zones se détachent avec une densité supérieure à 10 tornades pour ladite période. Dans ces zones se retrouvent Paris et la région Île-de-France, la Basse-Normandie, la zone occidentale du Poitou-Charentes et la zone méridionale, notamment le département de l'Hérault. Pour la seconde période, de 681 observations, les mêmes zones, citées ci-dessus, sont accentuées avec des densités importantes allant de 18 à 33 tornades par endroits.

La comparaison des deux cartes permet de mettre en évidence plusieurs constats. Le premier étant que quatre zones distinctes se détachent clairement quelques soit les époques : il s'agit du nord de la France, dites région des Hauts-de-France, la basse Normandie, la région du Poitou-Charentes, et enfin le littoral autour de la méditerranée. L'autre fait intéressant est la concentration autour de la région parisienne, notamment, entre 1811 et 1900.

Ces répartitions sont influencées par des facteurs spatiaux telles la topographie, l'occupation des sols, les variations mensuelles ou saisonnières. Ces facteurs spatio-temporels seront analysés dans le point ci-dessous.



Source : Météo-France, ESSL, Keraunos • Matthieu Lacroix, 2021  
Université Lumière Lyon 2

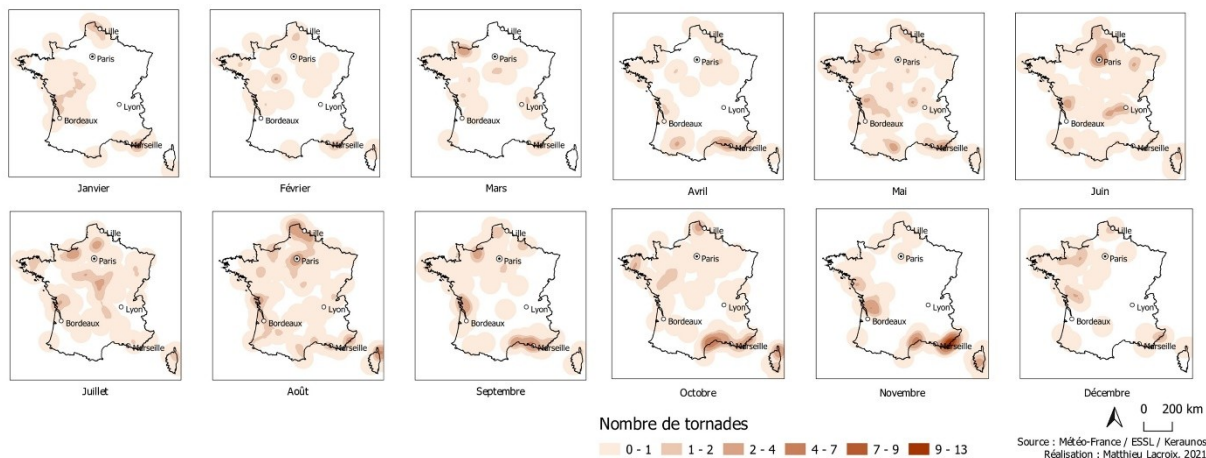
**figure 2.** Nombre de tornades par mois en France.

## 2.2. Analyse des variations mensuelles et saisonnières des tornades

Après la présentation spatiale des tornades, ce deuxième point se concentre sur leur évolution temporelle. La figure 2, présentant leur répartition mensuelle, montre une distribution inégale. Les tornades sont plus présentes durant les mois les plus chauds de l'année (juin-juillet-août) que durant la période froide (décembre, janvier, février). Un maximum de 101 observations est relevé pour le mois d'août, suivi du mois d'octobre avec 81 observations. À l'inverse, les mois les plus froids connaissent peu de tornades : c'est le cas des mois de janvier, février et mars avec respectivement 39, 32 et 28 évènements. D'une manière générale, les périodes chaudes, propices aux développements d'orages en France, sont favorables à la formation des tornades.

Si la répartition mensuelle permet de comprendre leur temporalité, la figure 3 permet d'observer les changements spatiaux au fil des mois.

Ces changements spatio-temporels sont corrélés aux masses d'air prédominantes de la période. La saison froide, avec plus de masses d'air froides et de perturbations, est peu caractérisée par ces phénomènes, alors que celle chaude avec plus de masses d'air tropical est plus propice au développement des tornades. D'autre part, l'analyse spatio-temporelle de ces tornades montre une certaine relation avec la carte des zones climatiques définies par Joly et *al.* En 2010.

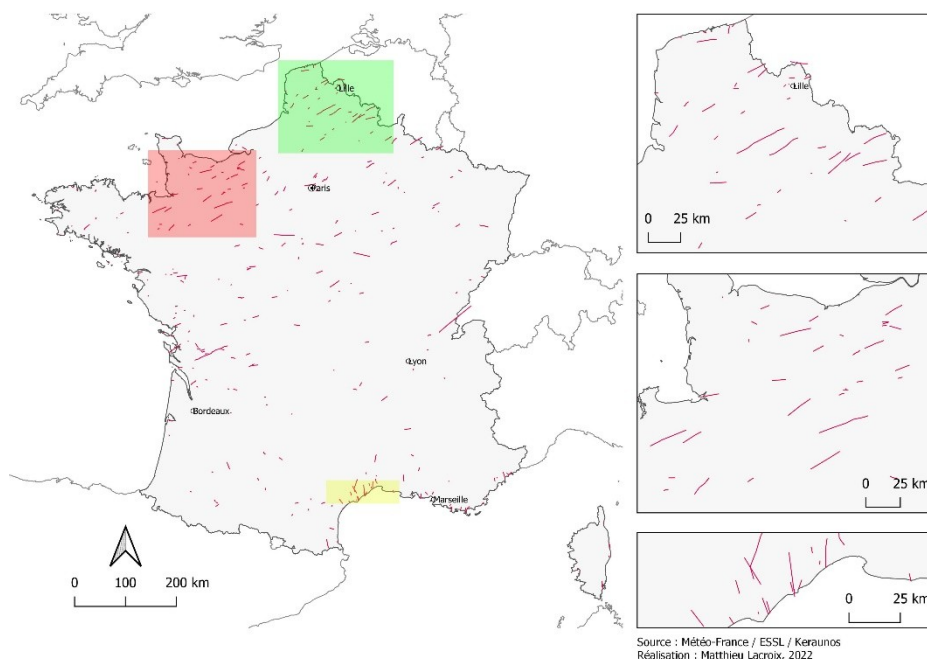


**figure 3.** Répartition spatiale mensuelle des tornades en France.

Ainsi, les périodes les plus froides dégagent une répartition globale dans l’ouest de la France, sous un climat d’influence océanique, généralement humide et plus doux que la partie orientale, continentale et plus sèche. La période chaude voit l’émergence de zones à l’intérieur des terres et du sud de la France. De manière globale, toute la France peut être touchée entre juin et août. Quant à la période automnale, les mois d’octobre et novembre mettent en évidence une forte augmentation sur la côte méditerranéenne. Cette période de l’année, favorable à des épisodes méditerranéens et à la formation de nombreux orages est caractérisé, également, par la formation de nombreuses trombes marines. Ces dernières, poussées par les vents du sud, continuent leur progression sur terre en se transformant en tornades.

### 2.3. Étude des trajectoires des tornades

Il est primordial de pouvoir analyser les trajectoires de ces phénomènes. Pour l’analyse, 303 trajectoires ont pu être numérisées avec une précision de quelques centaines, voire dizaines de mètres. Cette précision est rendue possible grâce à différentes sources, telles que les rapports d’enquêtes de Keraunos, ou encore des rapports plus anciens de Météo-France disponibles dans la BDEM. Il en résulte la carte présentée en figure 4 ci-dessous.



**figure 4.** Trajectoires des tornades en France.

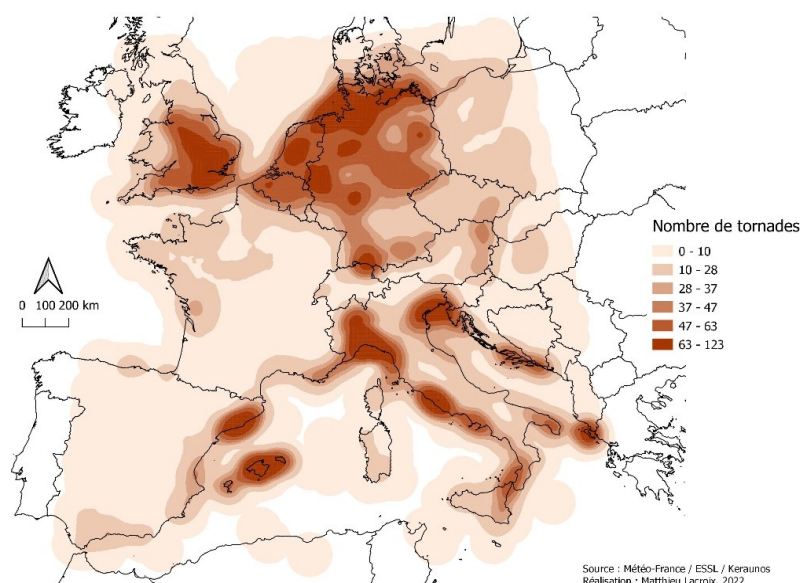
Sur cette carte, on observe que les trajectoires des tornades ont une tendance similaire, arborant une trajectoire sud-ouest - nord-est pour la partie du quart Ouest de la France, et une trajectoire sud-nord pour la partie méditerranéenne. Ces deux trajectoires s'expliquent en partie par les flux dominants de la saison. Une fois de plus, les trajectoires des trombes marines ayant une continuité sur la terre ferme sont visibles dans le carton du bas. Les trajectoires permettent de mieux appréhender les dynamiques atmosphériques en jeu.

#### 2.4. Les tornades en Europe

Pour finir cette analyse des tornades, nous présentons ci-dessous un petit aperçu de ce phénomène en Europe. La figure 5 présentant la densité des tornades en Europe, met en évidence le **figure 5.** Densité de tornades en Europe de l'Ouest.

cas de la zone septentrionale de la France. Cette zone n'est pas un cas isolé, elle est la continuité méridionale de la zone tornadique des pays Belgique, Pays-Bas et Allemagne. Plusieurs zones, plus ou moins grandes, voient le retour régulier de tornades pour la période 1900-2020. C'est le cas en particulier du centre de l'Angleterre, de la plaine du Pô ou encore de la zone du nord de l'Europe cité précédemment.

Toutefois, cela restera à approfondir dans de prochaines études.



**Figure 5**

## Conclusion et perspectives

Cette approche de la climatologie des tornades en France permet d'aborder de nombreux aspects du phénomène : répartition spatiale et temporelle, densité ou encore répartition mensuelle. La complémentarité des trois bases de données utilisées a permis le rassemblement d'un nombre de phénomènes conséquent. Cela a permis une analyse spatiale et temporelle satisfaisante, faisant ressortir les zones des plus aux moins touchées de France. Des clusters ont été identifiés et des zones propices à ces phénomènes se détachent.

Avec 22 tornades par an en moyenne sur les 20 dernières années, aucune tendance ne se dégage encore sur l'évolution de ce phénomène ; pour manque de recul sur les bases de données actuelles. Si on se base sur les deux dernières décennies, l'année 2000 a connu 15 recensements, alors que l'année 2018 fut l'année la plus tornadique avec 77 cas confirmés de tornades. C'est également l'année la plus chaude en France depuis 1900, avec une moyenne de 13,9°C (soit 1,4°C de plus que la période 1981-2000). Une année marquée par des canicules et une sécheresse prolongée.

Avant les années 2000, le recensement de ces phénomènes ponctuels était compliqué, notamment par le manque de moyens pour faire remonter ces informations. Les moyens de communication ayant explosé depuis le début 2000, les recensements sont plus simples, et l'information, partagée notamment à travers les réseaux sociaux, entraîne une augmentation des observations de tornades. Il s'agit d'une évolution qui n'est pas à négliger lorsque nous étudions des données sur des phénomènes tels que ceux-ci. L'accentuation de ces moyens de communication entraîne une augmentation de l'information, mais est-ce pour autant qu'il y a une accentuation de ces phénomènes ?

## Bibliographie

Antonescu B., Schultz D., Holzer A. et Groenemeijer P., 2017 : Tornadoes in Europe: An Underestimated Threat, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **98.4**, 713–28.

Dessens J. et Snow J., 1989 : Tornadoes in France, *Weather and Forecasting*, **4.2**, 110–32.

Elsner J., Michaels L., Scheitlin K. et Elsner I., 2013 : The Decreasing Population Bias in Tornado Reports across the Central Plains, *Weather, Climate, and Society*, **5.3**, 221–32.

Groenemeijer P. et Kühne T., 2014 : A Climatology of Tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database, *Monthly Weather Review*, **142.12**, 4775–90.

Joly D., Brossard T., Cardot H., Cavailhès J., Hilal M. et al., 2010 : Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 1-23.

Matsangouras, Ioannis, Nastos, Bluestein et Sioutas, 2014 : A Climatology of Tornadic Activity over Greece Based on Historical Records, *International Journal of Climatology*, **34**, 2538–55.

Rauhala J. et Schultz D., 2009 : Severe Thunderstorm and Tornado Warnings in Europe, *Atmospheric Research - ATMOS RES*, **93**.

Razavi A. et Sarkar P., 2018 : Laboratory Study of Topographic Effects on the Near-Surface Tornado Flow Field, *Boundary-Layer Meteorology*, **168.2**, 189–212.