

CLIMATOLOGIE DES TROMBES EN FRANCE : CONTEXTE MÉTÉOROLOGIQUE

François PAUL ¹

¹ *Climat-Energie-Environnement, Fressin, France, francois.paul3@wanadoo.fr*

Résumé : Les trombes sont des phénomènes qui ont intéressé de tout temps les physiciens, les météorologistes et les climatologues. Depuis 1993, Climat-Energie-Environnement établit une base de données sur les trombes, portant à présent sur 885 cas recensés en France, qui a permis de proposer une climatologie du phénomène. Dans la présente étude, on s'intéresse à la localisation des trombes, à leurs paramètres (longueur, largeur, intensité, direction) et à leurs variations temporelles. Il est présenté aussi les premiers résultats sur les circulations atmosphériques (Lamb Weather Type) qui prévalent au moment de la survenue des trombes. Les calculs intermédiaires permettant d'aboutir aux circulations atmosphériques, notamment la direction des isobares, sont analysés et comparés aux directions suivies par les trombes.

Abstract: Tornadoes are phenomena that have always interested physicists, meteorologists and climatologists. Since 1993, Climat-Energie-Environnement has established a database of tornadoes, now covering 885 cases recorded in France, that has made it possible to propose a climatology of the phenomenon. In present study the focus of interest is the location of tornadoes, their parameters (length, width, intensity, direction) and their temporal variations. It also presents the first results on the atmospheric circulations (Lamb Weather Type) which prevail at the time of the occurrence of tornadoes. The intermediate calculations leading to the atmospheric circulations, in particular the direction of the isobars, are analyzed and compared to the directions followed by the tornadoes.

Mots-Clés : trombe, Lamb Weather Type.

Introduction

L'inventaire de Climat-Energie Environnement consiste en une liste de 885 cas de trombes recensées sur le territoire métropolitain, avec, pour chaque cas, la description des phénomènes observés et des dommages. Dans la base de données, outre les paramètres de longueur, largeur, intensité, figurent aussi des observations sur le bruit particulier des trombes, les projections de branches et d'arbres, de matériaux, l'aspiration de l'eau des rivières, le soulèvement de personnes et d'animaux (Paul et Dessens 2013). Par contre, jusqu'à présent la base de données ne comportait pas de critères météorologiques. Le travail entrepris depuis quelques années vise à combler ce manque. Les événements sont classés dans une échelle des intensités basée sur la « EF scale », ou échelle de Fujita améliorée, qui comporte 6 classes allant de EF0 à EF5. Elle permet également de caractériser les risques liés à l'occurrence de trombes en France, particulièrement en ce qui concerne les projectiles de toutes dimensions pouvant occasionner des dommages aux biens et aux personnes.

1. Les trombes en France

1.1. Localisation des trombes

Chaque trombe est documentée, notamment par des articles publiés dans les revues scientifiques ou dans les journaux. Quand l'information recueillie est suffisante, il est possible de tracer sur une carte la

trajectoire suivie par la trombe sur le sol et de déterminer les paramètres de longueur et de largeur. L'intensité de la trombe est évaluée à l'aide des informations recueillies sur les dégâts occasionnés par la trombe. Les données recueillies sont introduites dans un SIG, Système d'Information Géographique, ce qui permet de cartographier facilement et rapidement les différents paramètres des trombes. La carte ci-après montre la répartition des trombes sur le territoire français.

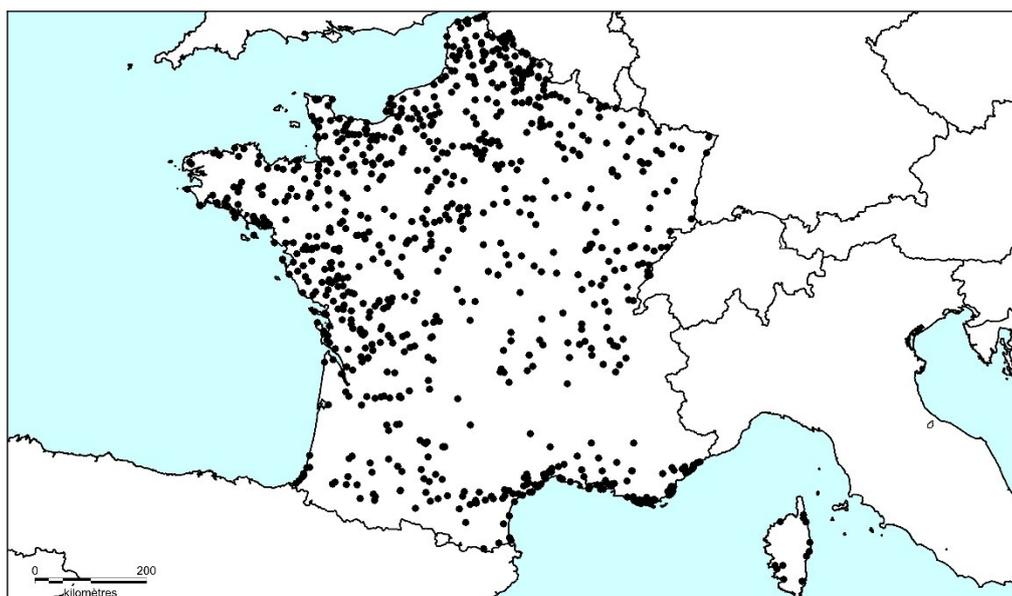


figure 1. Localisation des 885 trombes recensées en France, 1680-2021.

On observe une plus grande fréquence des trombes dans le nord-ouest du pays et sur la côte méditerranéenne. Certaines communes du territoire français ont été touchées à plusieurs reprises : 4 occurrences à Paris, Tours, Sète, La Londe-les-Maures et 8 occurrences à Hyères. Diverses causes ont été proposées : effets synoptiques, topographiques, ou de densité de population (Dessens et Snow 1989). Pour la côte méditerranéenne, on peut y ajouter le rôle joué par le nombre assez élevé de trombes marines qui abordent les côtes et se transforment en trombes terrestres.

1.2. Dimension des trombes

A partir des 885 trombes, il a été calculé les dimensions moyennes des trombes. Comme le montre la figure 2, la longueur des trombes augmente avec l'intensité.

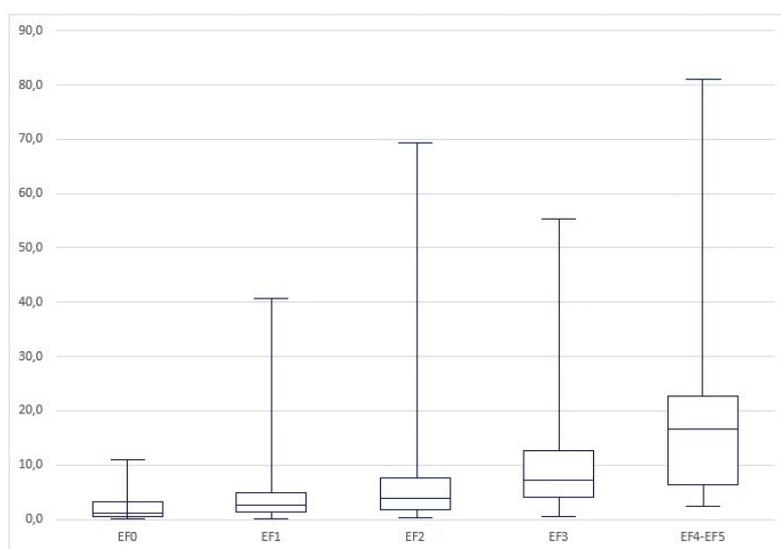
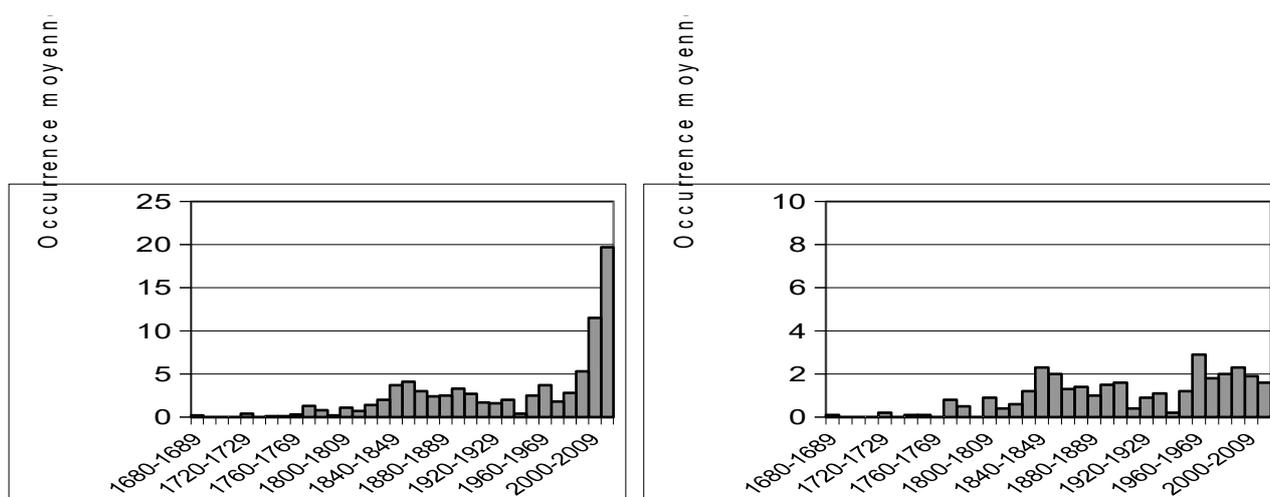


figure 2. Dimension moyenne des trombes en France, 1680-2021.

Dans chaque classe, on remarque que certains événements possèdent des dimensions plus importantes et augmentent ainsi les caractéristiques moyennes des classes considérées. Ainsi, pour la classe EF0, certaines trombes ont des longueurs de plus de 10 kilomètres. Sur l'ensemble des données, 95 trombes, soit 11% des événements, dépassent 10 kilomètres de longueur. Trois trombes dépassent les 50 kilomètres de longueur : Saint-Claude (Jura) avec 81 kilomètres, Sonnac (Charente-Maritime) 69 kilomètres et d'Eschbourg (Bas-Rhin) 55 kilomètres.

1.3. Répartition temporelle des trombes

Le recensement des trombes suggère que leur fréquence a pu augmenter depuis 1990, comme le montre la figure 3 à gauche. Le même recensement pour les trombes violentes (supérieures ou égales à EF2) ne confirme pas cette évolution, figure 4. On peut imaginer que la surveillance accrue du phénomène est la seule cause de l'augmentation apparente du nombre des trombes de classes inférieures à 2. L'occurrence annuelle des trombes violentes est de 2 pour la période 1840-1859 comme pour la période 1960-2019.



figures 3 et 4. Répartition temporelle des trombes et répartition temporelle des trombes violentes.

1.4. Intensité des trombes

En 2000 (Paul 2001), c'était la classe EF2 qui était la plus représentée. Maintenant, c'est la EF1, et il est possible que dans quelques années, ce sera la EF0. En effet, depuis que l'inventaire des trombes s'est systématisé et tend vers plus d'exhaustivité, c'est la classe EF0 qui est la plus représentée. Ainsi, pour la période 2010-2019, elle représente 53 % des cas recensés, contre 39 % pour les EF1 et 8 % pour les EF2.

Tableau 1. Nombre de trombes en France, 1680-2021, selon l'échelle de Fujita.

EF0	229
EF1	331
EF2	219
EF3	90
EF4	14
EF5	2

2. Contexte météorologique

Dans son inventaire (Dessens 1984), l'auteur indique deux types de situations météorologiques à l'origine de la formation des trombes : les situations orageuses violentes, en général associées à des fronts froids survenant au milieu de l'été et les situations à flux de Sud-Ouest très rapides. Cette analyse n'avait pas été étendue à l'ensemble des trombes connues. Le but de ce travail a été de systématiser le calcul des types de circulations atmosphériques qui prévalent au moment de la survenue des trombes.

2.1. Méthodologie

Les données de pression atmosphérique au sol, NCEP/NCAR (https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/ncep/qs_eurasia/6hourly/surface/slp/), ont été utilisées. Elles existent depuis le 1er janvier 1948, à raison d'une valeur toutes les 6 heures, sur la base d'un point tous les 2,5° de latitude et de longitude. Il a été calculé non seulement les types de circulation atmosphérique, mais aussi le flux total (F), la vorticité totale (Z) et la direction. Le champ géographique sur lequel tous ces calculs ont été réalisés est l'Europe ainsi que le bassin méditerranéen. Cela représente 551 points couvrant une zone comprise entre les latitudes 27,5° et 72,5° et les longitudes -30° et 40°.

Les calculs ont été réalisés avec un tableur, et les résultats ont été exportés dans un Système d'Information Géographique (SIG) afin d'avoir une vision spatiale des résultats. Pour tous les 551 points, il a été utilisé les pressions atmosphériques au sol de 16 points de grille afin de calculer les types de circulation atmosphérique. La méthode est décrite dans plusieurs publications (Chen, 2000 et Holobaca, 2019).

Les chercheurs du Climatic Research Unit de l'Université d'East Anglia ont publié sur leur site internet les résultats de deux points (-5° 55°N et 5°E 55° N) ; ceux-ci correspondent aux nôtres. De même, les résultats de deux autres points en Suède (15°E 57,5°N et 15°E 60°N) correspondent à ceux des chercheurs suédois (Chen, 2000 et 2009). Les cartes de pression au sol à 12 heures ont été dessinées et comparées avec celles publiées par Météo-France dans les BCQ. Là aussi, les résultats sont concordants.

Pour chaque trombe, il a été calculé le type de circulation atmosphérique associé. La classification initiée par Lamb (Lamb, 1972) et automatisée par Jenkinson et Collison en 1977 a été utilisée. Cette classification comporte 26 types de circulation : 8 types de flux (correspondant à 8 directions, chaque direction ayant un secteur de 45°, codés de 11 à 18), l'anticyclone (code 0), 8 types anticycloniques avec une direction (codés de 1 à 8), le cyclone (code 20) et 8 types cycloniques avec une direction (codés de 21 à 28). Dans certains cas, il n'est pas possible de déterminer un type de temps (code -1), voir le tableau 2.

Dans un premier temps, ce travail a été réalisé sur la période 1992-2018, ce qui correspond à 343 trombes françaises. Pour chaque trombe, 5 cartes sont dessinées : pression au sol, paramètre F, paramètre Z, paramètre de direction et type de circulation atmosphérique. Ensuite les résultats ont été affinés en centrant les 16 points de grille sur la position géographique de la trombe. Pour cela, on interpole les données de pression au sol NCEP pour obtenir des isobares tous les hectopascals. En agrandissant la carte sur les 16 nouveaux points, on obtient de nouvelles données qui permettent de calculer le type de circulation au droit de la trombe. Quand la trombe se produit au milieu de 2 situations, par exemple à 15 heures, on prend en considération la situation précédant (12 heures) et suivant la trombe (18 heures).

2.2. Les types de circulation atmosphérique associés aux trombes

La majorité des trombes, 52 % des cas, se produisent dans une situation de circulation atmosphérique de type flux, essentiellement d'Ouest et de Sud-Ouest, comme le montre le tableau 2. Dans 39 % des cas, la circulation atmosphérique associée aux trombes est de type cyclonique, essentiellement cyclonique pur.

Tableau 2. Type de circulation atmosphérique associé aux trombes françaises, 1992-2018.

Indéterminé 11		
Anticyclonique	Flux	Cyclonique
0 (A) : 7		20 (C) : 63
1 (ANE) : 3	11 (NE) : 8	21 (CNE) : 4
2 (AE) : 1	12 (E) : 3	22 (CE) : 1
3 (ASE)	13 (SE) : 5	23 (CSE) : 1
4 (AS)	14 (S) : 12	24 (CS) : 9
5 (ASW) : 2	15 (SW) : 46	25 (CSW) : 29
6 (AW) : 2	16 (W) : 57	26 (CW) : 17
7 (ANW) : 3	17 (NW) : 28	27 (CNW) : 10
8 (AN) : 3	18 (N) : 18	28 (CN) : 1
Total : 21	Total : 177	Total : 135

Une étude anglaise (Rowe, 1977) indiquait que, sur 301 trombes britanniques, 50 % se produisaient dans une circulation atmosphérique de type cyclonique. L'auteur s'est basé sur le registre des types de circulation établi par Lamb en 1972. Dans ce registre, pour chaque jour de la période 1861-1971, figure une valeur de type de circulation valable pour l'ensemble du Royaume Uni.

Les flux et les types cycloniques sont assez bien répartis sur le territoire français. On peut cependant noter qu'en Corse, les trombes sont pratiquement toujours associées à des types cycloniques (10 sur 11) et que dans le Nord, le Midi-Pyrénées et le littoral méditerranéen, les trombes sont plutôt associées à des flux. Les résultats restent à confirmer car le nombre de cas par région n'est pas assez important.

Les types de circulation associés aux trombes sont essentiellement de type flux pendant l'hiver, tandis qu'au printemps les types cycloniques sont majoritaires, voir le tableau 3. En été et en automne, de nouveau les types flux sont majoritaires, mais les types cycloniques sont loin d'être absents. Ici aussi, les résultats seront à confirmer avec un échantillonnage plus important.

Tableau 3. Répartition saisonnière des types de circulation atmosphérique associé aux trombes, 1992-2018.

	Flux	Cyclonique
Hiver	48	12
Printemps	26	33
Été	42	33
Automne	61	57
Total	177	135

Les exemples pris par Dessens en 1984, Fleury-les-Aubray (Loiret), Sancy-les-Provins (Seine-et-Marne) et Grainville-Langannerie (Calvados) le 20 septembre 1973 se situaient dans un contexte d'orages violents et correspondent dans notre travail à un type de circulation cyclonique (code 20 et 24). Les trombes du 13 décembre 1978, Le Fief-Sauvin (Maine-et-Loire) et Izé (Mayenne) se situaient dans un flux de Sud-Ouest très rapide et correspondent dans notre étude à une circulation atmosphérique de flux d'ouest (code 16).

Concernant l'intensité des trombes, le taux des trombes violentes (\geq EF2) est de 17 % dans les situations de flux et de 16 % dans les situations cycloniques. Mais là, aussi l'échantillon n'est pas très fourni, 52 trombes seulement. En introduisant dans les calculs les trombes de la période 1948-1991, on intégrera plus de 80 trombes violentes supplémentaires.

6 % des trombes se produisent en circulation de type anticyclonique. Rowe en 1977, indiquait une valeur de 7 % au Royaume-Uni.

2.3. Les directions suivies par les trombes

Pour les trombes de la période 1680-2021, il a été étudié la direction suivie par celles-ci. Dans un certain nombre de cas, la trombe ne touche que brièvement le sol et il n'est pas alors possible d'indiquer une direction. De même, pour les cas les plus anciens, les sources d'information ne mentionnent pas toujours la direction suivie. Dans 623 cas, c'est-à-dire dans 70 % des cas, il a été possible de déterminer la direction suivie par la trombe. Quand la trajectoire de la trombe ne sinue pas de trop, il est possible de déterminer précisément la direction suivie, au degré près, ce qui représente 243 cas pour la période 1992-2018.

Dans les calculs aboutissant au type de circulation atmosphérique, un paramètre de direction est calculé. Dans la grille de 16 points, ce sont les points 4, 5, 8, 9, 12 et 13 qui déterminent la direction associée au type de circulation. Ces valeurs ont été comparées aux directions suivies par les trombes afin de mettre en évidence un lien entre la direction des isobares et la direction suivie par les trombes, voir la figure 5.

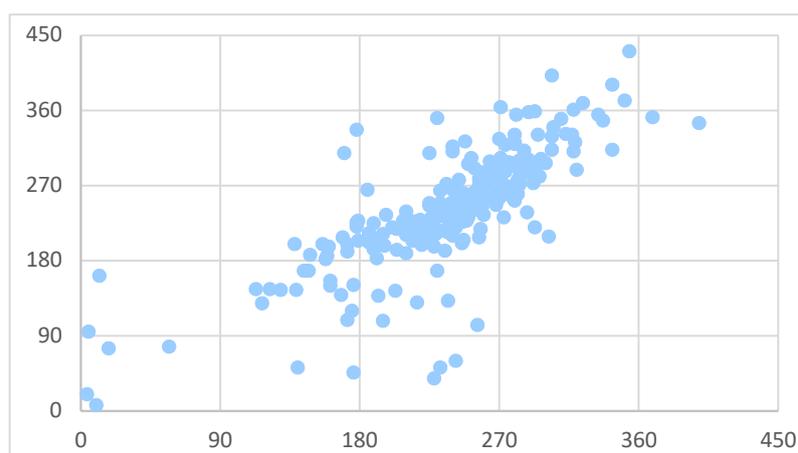


figure 5. Relation entre la direction suivie par les trombes et le paramètre de direction des isobares

Le coefficient de corrélation étant $r = 0.77$ pour un échantillon de 243 paires de données, son seuil de signification est supérieur à 99%. Dans 69% des cas, la direction des trombes suit celle des isobares, avec un écart maximal de 30° , et même dans 44% des cas, la différence d'angle est inférieure à 15° . Ceci indique clairement une relation entre direction des isobares et direction suivie par les trombes. Dans huit cas les écarts sont supérieurs à 130° et pourraient probablement s'expliquer par une inversion de direction par les personnes qui ont rapporté le témoignage sur la trombe. Les situations étudiées étant 0, 6, 12 et 18 heures, un certain nombre de trombes se produisent à une de ces quatre heures, mais la plupart des trombes présentent un écart d'une, deux voire trois heures, ce qui est suffisant pour que la situation synoptique soit différente de celle qui prévalait lors de la survenue de la trombe. Un calcul supplémentaire à l'heure exacte de la trombe pourrait probablement diminuer l'écart entre la direction des trombes avec celle des isobares.

3. Conclusion et perspectives

Le recensement des trombes en France montre que le phénomène est plus fréquent qu'on ne l'imagine (20 cas chaque année en moyenne) et que c'est un météore potentiellement dangereux. Avec à ce jour 885 cas recensés, il est possible de résumer les informations suivantes sur les trombes en France :

La concentration géographique dans le Nord-Ouest du pays et le littoral méditerranéen.

Les trombes se produisent majoritairement dans des conditions de circulation atmosphérique de flux.

Il y a une bonne corrélation entre direction des isobares et direction des trombes.

Jusqu'à présent la base de données ne comportait pas de critères météorologiques, aussi le travail entrepris commence à combler ce manque. L'étude des types de circulation atmosphérique qui prévalent au moment de la survenue des trombes va se poursuivre sur d'autres périodes afin d'augmenter la série de données. Un travail sera entrepris sur les données des sondages aérologiques.

Remerciements : Je tiens à remercier pour leur aide, conseil et avis Claude Berthet, Patricia Davies, Jean Dessens, Philip Jones, Sandra Rome et Myriam Traboulsi.

Bibliographie

- Chen, D., 2000. A monthly circulation climatology for Sweden and its application to a winter temperature case study. *International Journal of Climatology*, **20**, 1067-1076.
- Chen, D. et Al. Synoptic circulation and its influence on spring and summer surface ozone concentrations in southern Sweden. *Boreal environment research*, **14**, 889-902.
- Dessens, J. 1984. Les trombes en France. Climatologie et caractéristiques physiques. Commissariat à l'Etude et à la Prévention des Risques Naturels Majeurs, Paris, 31 pages et annexes.
- Dessens, J., and J. T. Snow, 1989. Tornadoes in France. *Weather and Forecasting*, **4**, 110-132.
- Holobaca, I., 2019. Réchauffement estival récent en Roumanie en relation avec les types de temps. 32ème colloque international de l'AIC, 481-486.
- Jenkinson AF, Collinson BP, 1977, An initial climatology of gales over the North Sea, Synoptic Climatology Branch Memorandum No. 62, Meteorological Office, Bracknell.
- Lamb, H.H., 1972. British Isles Weather types and a register of daily sequence of circulation patterns, 1861-1971. *Geophysical Memoir 116*, HMSO, London, 85pp
- Paul, F., 2001. A developing inventory of tornadoes in France. *Atmospheric Research*, **56**, 2001, 269-280.
- Paul, F. et J. Dessens, 2013. Effets spectaculaires des trombes en France Bruit, soulèvement d'objets, projectiles. *La Météorologie*, **81**, 42-51.
- Rowe, M. W., 1977. Whirlwinds and synoptic patterns. *Journal of Meteorology*, **2**, 1976-1977, 197-199.