

ÉTUDE CLIMATOLOGIQUE DES ÉVÉNEMENTS Foudre ET DETERMINATION D'UNE ÉCHELLE D'INTENSITÉ

P. LASSEGUES⁽¹⁾ », B. VINCENDON⁽²⁾, J.-M. MOISSELIN⁽³⁾,
D. MINGUET⁽⁴⁾, J.-Y. POIGNET⁽⁵⁾

Météo-France ; Direction de la Climatologie: 42, av. G. Coriolis ; 31057 Toulouse CEDEX;

(1) pierre.lassegues@meteo.fr, (2) beatrice.vincendon@meteo.fr, (3) jean-marc.moisselin@meteo.fr

(4) david.minguet@meteo.fr, (5) jean-yves.poignet@meteo.fr

Résumé

Les données du réseau Météorage permettent d'établir une climatologie des événements foudre sur la France pour la période 1997-2001. Les caractéristiques classiques et attendues de la climatologie des orages sont précisées : des orages plus fréquents en été qu'en hiver, des orages d'été plus nombreux au Sud-Est qu'au Nord-Ouest du territoire, une répartition homogène des orages d'hiver.

Dans le cadre d'un projet plus général sur la caractérisation des événements extrêmes en 5 classes, il est ensuite proposé une échelle d'intensité qui doit permettre de positionner les événements foudre. Cette échelle utilise le nombre d'impacts et l'amplitude maximale sur une surface donnée. Cette échelle est testée avec succès sur un événement marquant.

Abstract

The data of the Météorage network make it possible to establish a French climatology of the lightning events over the period 1997-2001. The traditional and awaited climatological characteristics of the thunderstorms are specified. Lightning events are more frequent in summer than in winter. In summer, there is a gradient from North-West to South-East while in winter, the distribution is rather homogenous.

Within the framework of a more general project on the characterization of the extreme events in 5 classes, it is then proposed an intensity scale of lightning events. This intensity scale uses the number of impact and the maximum amplitude on a given surface. This scale is tested successfully on an outstanding event.

Mots-clés : foudre - échelle d'intensité - risque - vulnérabilité.

Keywords : lightning - intensity scale - risk - vulnerability.

Introduction

La foudre provoque de nombreux dommages humains (30 décès par en France en moyenne) ou économiques (départs d'incendie, perturbation du réseau électrique). L'utilisation croissante de l'électronique accroît notre vulnérabilité face à ce phénomène. Un moyen d'étudier et de mieux comprendre ce phénomène est d'en effectuer une climatologie.

Le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD) vise la mise en place d'échelle d'intensité en 5 classes pour différents aléas. A terme, les événements seront qualifiés à travers ces échelles. Les informations sur l'intensité physique des phénomènes pourront être mises en regard des dégâts constatés et des politiques de prévention en place à travers un système d'information qui devra faciliter les retours d'expériences. En collaboration avec d'autres partenaires, le CEMAGREF et le bureau d'étude Géosciences-Consultants (titulaire du marché), Météo-France a répondu à l'appel d'offre du MEDD pour les aléas relevant de sa compétence. La climatologie des événements nous permet dans un premier temps de décrire et critiquer les paramètres susceptibles d'être retenus pour positionner les événements sur une échelle d'intensité Foudre. L'échelle est ensuite construite en tenant compte de contraintes générales (échelle simple, mémorisable et utilisable) et des demandes spécifiques du MEDD (échelle sans caractère saisonnier ou régional). Cette échelle, telle qu'elle a été

proposée au MEDD et décrite dans [CEMAGREF et al., 2002], est testée ensuite sur un événement particulier.

1. La climatologie des événements foudre

1.1. Le réseau Météorage

Avant 1987, nous disposions en France seulement du niveau kéraunique (le nombre de jours par an où le tonnerre a été entendu), sans informations précises sur les caractéristiques des impacts et réelles possibilités d'étude. A partir de 1987, un réseau de mesure de détection de la foudre a été implanté sur le territoire français, permettant ainsi de recueillir dans une base de données des informations sur les éclairs nuages-sol. Outre la localisation et la datation des impacts, il est possible d'extraire de cette base des renseignements sur leur amplitude et leur polarité [Helloco et al., Cadiou et al.]. Le passage à la technologie IMPACT (IMProved Accuracy from Combined Technologies) fin 1996 a permis d'affiner la précision de localisation entre 1 et 2 km sur une grande partie du territoire, contre une dizaine de kilomètres précédemment. Cette amélioration majeure nous pousse à retenir 1997 comme date de départ de la climatologie. L'autre paramètre généralement retenu pour mesurer la performance du réseau est l'efficacité de détection; elle est actuellement de 90%.

1.2. Les précédentes études climatologiques

De nombreux auteurs se sont intéressés à la foudre. Une synthèse des connaissances sur le phénomène est disponible dans [Chèze et Pircher, 1993]. Des études climatologiques descriptives de la foudre ont été effectuées grâce aux renseignements recueillis dans la base de données depuis 1987. Ces études ont par exemple permis de réaliser, pour la période allant de 1988 à 1994, un Atlas Foudre pour les 22 régions économiques françaises, donnant ainsi des informations sur le nombre moyen d'impacts par km² pour des périodes annuelles et mensuelles. L'étude [Lassègues et al., 1997] a également permis d'établir une climatologie descriptive de la foudre, mais plus précise, portant sur l'amplitude et la polarité des impacts de foudre sur la France.

1.3. Elaboration de la climatologie des événements foudre

Une climatologie d'événements se distingue des climatologies plus classiques par le fait que nous nous intéressons uniquement au cas où le phénomène a eu lieu, en nous rapprochant le plus possible des dimensions spatiales et temporelles du phénomène étudié : la France est découpée en pavés de 20 km de côté. La superficie des pavés est donc assez proche des dimensions caractéristiques d'un orage. Les orages sont des événements typiques de la méso-échelle. Les lignes de grain sont rangées dans l'échelle méso-» et les orages en *supercell*, font partie de la subdivision méso-» [Orlansky, 1975]. Les pavés rassemblent en moyenne 2 à 3 communes pour les zones rurales, ce qui n'est pas très éloigné de la vision communale du MEDD pour l'utilisation de l'échelle d'intensité. Le pas de temps est de 24 heures, et seuls les impacts disposant d'une erreur de localisation faible sont retenus. Enfin, les arcs en retour ne sont pas étudiés.

1.4. Enseignements tirés de la climatologie des événements foudre

Le nombre d'orages par pavé en hiver est assez homogène sur le territoire, et assez faible : inférieur à 4 orages par an en moyenne (fig. 1 A). En été le nombre de jours d'orages est plus important et présente un gradient vers le sud est assez marqué (fig. 1B). La moitié du territoire métropolitain présente un nombre annuel d'orages supérieur à 15 jours. L'effet des reliefs Alpains et Pyrénéens est assez marqué également (noyaux de plus de 25 orages par été).

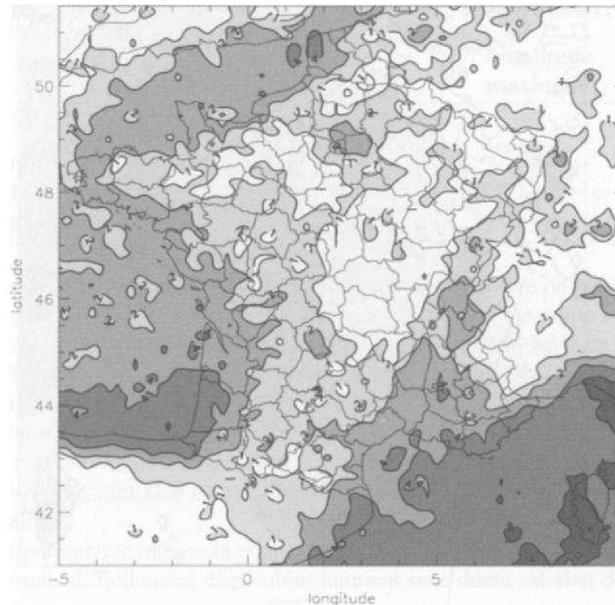


Figure 1A : Nombre de jours d'orage en hiver (de novembre à mars) ; période 1997-2001.

Le nombre d'impacts par pavé présente les mêmes caractéristiques saisonnières, mais les phénomènes exceptionnels peuvent toucher toutes les régions. Le critère de l'amplitude (traitée en valeur absolue) confirme cette dernière caractéristique, aucune région n'est à l'abri d'impacts de très forte amplitude.

2. L'échelle d'intensité des événements foudre

2.1 Objectifs et contraintes

L'objectif de cette échelle est de pouvoir classer une commune qui a subi un épisode orageux particulier, selon la fréquence de l'intensité de l'événement. Cette échelle d'intensité est un des éléments d'un système d'information général du MEDD sur les événements naturels qui facilitera le retour d'expérience. L'échelle qui est présentée ci-après a été proposée au MEDD qui décidera de sa pertinence et de son avenir.

Contrairement à d'autres phénomènes (par exemple les tornades avec l'échelle Fujita ou les cyclones avec l'échelle Saffir-Simpson), il n'existe pas d'échelle reconnue, simplement quelques seuils d'alerte généralement dans le domaine aéronautique. Roeder (1999) décrit les règles d'alerte de la NASA liées aux possibilités de décollage des engins à Cap Canaveral aux Etats-Unis. Ces règles s'appuient sur la présence d'éclair à proximité de la trajectoire prévue et sur le champ électrique moyen. La notion de "super-éclair" est établie à partir de 250 kA [Shimura, 1999]. Ces approches ou ces seuils correspondent peu aux demandes du MEDD.

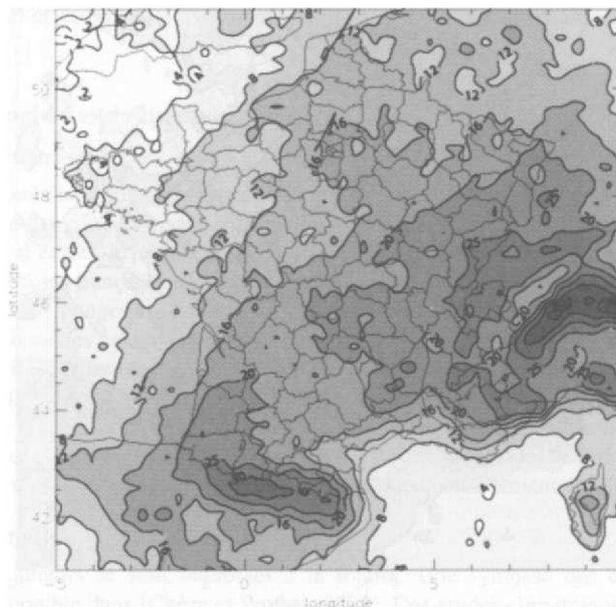


Figure 1B : Nombre de jours d'orage en été (de mai à septembre) ; période 1997-2001.

Les choix faits lors de l'étude climatologique correspondent bien aux exigences du MEDD : les dimensions spatiales sont proches de la commune, le réseau de détection actuel et permettra de qualifier aisément les événements à venir. Le MEDD ne souhaite pas donner à l'échelle un caractère ou fonctionnement saisonnier ou régional de l'échelle : cela impose de mélanger les différents pavés de l'étude (restreints au territoire français). Il nous faut donc à ce stade :

- Choisir parmi les paramètres directement accessibles dans la base, nombre d'impacts quotidiens, somme quotidienne des amplitudes, amplitude maximale quotidienne, amplitude moyenne quotidienne;
- Bâtir une échelle en 5 classes, avec des seuils mémorisables (arrondis).

2.2. Choix des paramètres de l'échelle

Lors des phénomènes orageux, le nombre des éclairs et leur intensité sont à prendre en compte (**tous les éclairs sont dangereux, les éclairs les plus forts étant les plus dangereux**). Les critères potentiels sont : le nombre d'impacts, la somme des valeurs absolues des amplitudes, l'amplitude maximale, la moyenne de l'amplitude. L'absence d'échelle existante conduit à en construire une sur une base statistique des corrélations (choix des paramètres) et des fréquences (choix des seuils) et aussi sur des critères subjectifs (choix des arrondis par exemple) ou visuels.

Pour déterminer les deux paramètres, l'idée est d'associer à celui du nombre d'impacts un de ceux relatifs à l'amplitude (en valeur absolue). Cependant, les deux paramètres retenus devant être faiblement corrélés pour être discriminant, on calcule les coefficients de corrélation linéaire de chaque couple de paramètres. Sont présentés ci dessous les résultats de la corrélation.

Tableau 1 : Matrice de corrélation pour chaque couple de variable.

	Nombre d'impacts	Somme des amplitudes	Amplitude maximale	Moyenne des amplitudes
Nombre d'impacts	1	0,96	0,23	-0,11
Somme des amplitudes	0,96	1	0,36	0,00
Amplitude maximale	0,23	0,36	1	0,67
Moyenne des amplitudes	-0,11	0,00	0,67	1

La taille de l'échantillon est de 155738 : cela correspond au nombre de pavés sur lesquels il y a eu orage durant la période 1997 à 2001 (un même pavé est compté autant de fois qu'il a connu de journées d'orage), sur le territoire métropolitain. Ce résultat représente 5,6% de la totalité des pavés scrutés. Les paramètres les moins corrélés sont le nombre d'impacts et l'amplitude moyenne. Une considération purement statistique conduirait à retenir ces deux paramètres. Cependant, la corrélation entre le nombre d'impacts et l'amplitude maximale est également assez faible. De plus l'amplitude maximale est plus pertinente que l'amplitude moyenne vis-à-vis des dommages que la foudre est susceptible d'engendrer. Le choix du couple de paramètres se porte donc sur le nombre d'impacts et l'amplitude maximale.

Le choix de ces paramètres intègre la contrainte de disponibilité : des paramètres élaborés (type énergie, puissance) mais difficilement disponibles auraient sans doute satisfait davantage les spécialistes de la foudre.

2.3. Classes retenues et fonctionnement de l'échelle

Pour obtenir la fréquence des occurrences des couples, 50 classes de même largeur (23 pour le nombre d'impact et 1881,5 kA pour l'amplitude maximale) sont définies pour chacun des deux paramètres (les fréquences par classe sont présentées dans la figure 2). Les couples de données les plus fréquents correspondent à un nombre d'impacts de l'ordre d'une à quelques dizaines d'impacts, et à une amplitude maximale de l'ordre d'une cinquantaine de kilo ampères. Cependant, cet ordre de grandeur du nombre d'impacts (une dizaine) peut correspondre à de très fortes amplitudes maximales. De même, l'ordre de grandeur de l'amplitude maximale (une cinquantaine de kilo-ampères) peut correspondre à un grand nombre d'impacts. Ces faits illustrent à nouveau la faible corrélation existant entre ces deux paramètres.

La figure 2 constitue un support visuel pour la détermination des seuils permettant d'obtenir nos cinq classes de fréquence d'événements. La première classe doit correspondre aux cas les plus fréquents (a priori les moins dangereux), les suivantes comportant des fréquences d'occurrences de plus en plus faibles (suivant approximativement un rapport 2 entre chaque classe). On souhaite se rapprocher des pourcentages suivants : classe 1 à 50 % des événements, classe 2 à 25 %, classe 3 à 15 %, classe 4 à 7 %, classe 5 à 3 %.

Pour définir arbitrairement un premier seuil pour chaque paramètre, on utilise deux sources d'informations : la visualisation du graphe précédant ainsi que la connaissance des valeurs moyennes de ces paramètres (16,4 pour le nombre d'impact et 59,7 pour l'amplitude maximale). Les seuils devant être arrondis, les premiers seuils correspondent à 20 impacts et 50 kA.

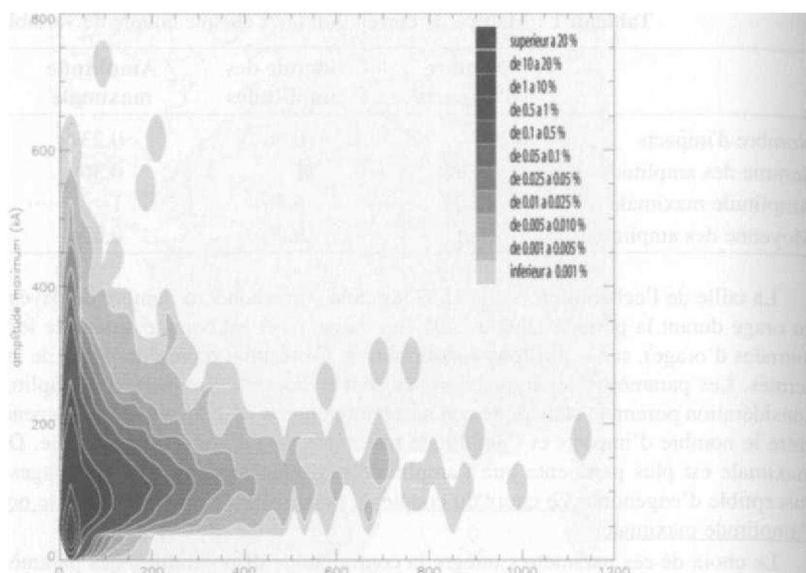


Figure 2 : Répartition des fréquences d'occurrence des couples (nombre d'impacts, amplitude maximale).

Le choix des autres seuils est tributaire des distributions des valeurs de chacun de ces paramètres. Ces dernières sont visibles soit sur le graphe précédent, soit sur leur fonction de répartition. Si la décroissance de la population du nombre d'impacts est très rapide lorsque ce nombre augmente, elle est plus progressive dans le cas de l'amplitude maximale. Ces observations conduisent à choisir une évolution plutôt exponentielle des seuils concernant le nombre d'impacts, et une évolution linéaire de ceux de l'amplitude maximale. Ces seuils sont les suivants :

- Nombre d'impacts (N) : seuil de 20, 40, 80 et 160;
- Amplitude maximale (Amax) : seuils de 50, 100, 150 et 200 kA.

L'échelle proposée est donc la suivante (Tableau 2) :

Tableau 2 : Echelle d'intensité de la foudre.

		Nombre d'impact N				
		1 < N < 20	20 < N < 40	40 < N < 80	80 < N < 160	160 < N
Amplitude maximale Amax (kA)	Amax < 50	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
	50 < Amax < 100	Classe 2	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
	100 < Amax < 150	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 4	Classe 5
	150 < Amax < 200	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 5
	200 < Amax	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5

La classe communale est donc déterminée à partir des intensités physiques sur le pavé incluant la commune, en retenant la classe maximale donnée par chacun des critères. Les classes doivent vérifier les pourcentages d'occurrences de chaque classe espérés. Les résultats obtenus sont les suivants, ce

qui est effectivement le cas : 48,6% des événements pour la classe 1, 27,9% pour la classe 2, 14,1% pour la classe 3, 6,2% pour la classe 4 et 3,1% pour la classe 5.

On peut définir également la Classe 0 comme l'absence d'orage sur le pavé. En cas de plusieurs communes touchées et pour limiter les requêtes, on propose de découper la zone touchée en n pavés et d'appliquer l'intensité du pavé à toutes les communes qu'il contient. Si une commune est sur plusieurs pavés, il est proposé de choisir le maximum des classes sur chacun des pavés concernés. La classe de l'événement père (par exemple la ligne de grain traversant la France) peut être définie par le cumul des intensités sur le pavé, le cumul des intensités communales ou la classe maximum sur l'ensemble des pavés.

2.4. Exemple de tests sur un événement récent : orages sur le Nord-Est du 23 juillet 2001

Des orages démarrent sur le relief des Vosges et du Jura, et deviennent nombreux à partir du lundi 23 à 16h légales, tandis que de nouveaux orages éclatent en Lorraine. Des orages éclatent un peu plus tardivement sur le Nord-Est de la Franche-Comté, ainsi qu'en plaine d'Alsace, de façon très isolée. Ces orages s'évacuent lentement vers le Nord au cours de la nuit du lundi 23 au mardi 24. Des interventions sont mentionnées dans pratiquement tous les départements du Nord-Est, sauf le Jura (épargné) et le Bas-Rhin (touché de façon très éphémère). Le département de la Moselle est le plus touché : c'est là que se sont produits les orages les plus durables et probablement les plus violents, au vu des densités de foudre et des images radar. Il ne s'agissait pas d'orages généralisés, mais d'orages isolés suffisamment nombreux et violents pour générer des dégâts en de multiples endroits.

Les résultats communaux sont les suivants : Strasbourg est en classe 2 (N=29 impacts, Amax=29,3 kA), Mulhouse est en classe 3 (N=42 impacts, Amax=44,0 kA), Geishouse est en classe 3 (N=79 impacts, Amax=82,7 kA), Lunéville est en classe 5 (N=163 impacts, Amax=43,4 kA).

Il est intéressant de noter que ces orages isolés concernant tout le Nord-Est de la France sont clairement distinguables vis-à-vis de leur activité électrique. De plus, les classes communales reflètent au moins qualitativement les dégâts plus ou moins importants occasionnés par ces orages. En effet, aucune intervention n'a été mentionnée dans le Bas-Rhin (Strasbourg est en classe 2), contrairement au Haut-Rhin (Mulhouse et Geishouse sont en classe 3). Enfin, Lunéville qui a connu des dégâts importants (magasins inondés, cheminée foudroyée) est bien en classe 5. D'autres tests ont été menés sur d'autres événements et confirment la pertinence de l'échelle.

Conclusion

L'étude climatologique établit ou confirme plusieurs résultats intéressants. Pour la fréquence des orages, on observe un gradient positif du Nord-Ouest au Sud-Est. Cependant cette fréquence est affectée par les saisons : sur l'ensemble de la France, le nombre de jours d'orage en hiver est nettement moins élevé qu'en été. Une échelle d'intensité du phénomène foudre selon les critères proposés par le MEDD a été élaborée. L'absence d'échelle reconnue pour un tel événement nous a laissé une grande marge de manœuvre quant au choix de la méthode, des seuils et du mode de fonctionnement. L'échelle obtenue présente l'avantage d'être facilement exploitable en mode opérationnel, puisqu'elle ne fait intervenir que des paramètres directement accessibles à partir de la base de données foudre : nombre d'impacts, amplitude maximale. Le choix de ces deux paramètres tient compte du fait que le danger augmente avec le nombre d'éclairs (qui sont tous potentiellement dangereux) et du fait que les éclairs les plus forts sont les plus dangereux. L'échelle comprend cinq niveaux, caractéristiques de la fréquence de l'événement, qui permettent de positionner une surface carrée de 20 km de côté ayant subi un épisode orageux, et partant, une commune à l'intérieur de cette surface.

Cependant, le lien entre l'intensité du phénomène et les dégâts engendrés n'est pas systématique. En effet, il est possible qu'une faible intensité de foudroiement soit à l'origine de dégâts importants, tandis qu'une forte peut n'avoir aucune conséquence. Ce type de liens pourrait être étudié via la base de données de retour d'expérience du MEDD. Cependant le caractère aléatoire de la foudre nous

empêche d'envisager une échelle où les liens entre intensité physique et dégâts seront forts et systématiques : ces relations doivent se vérifier sur un grand échantillon et avec des critères assez souples.

Bibliographie

- CHEZE J.-L., PIRCHER V., 1993 : *Electricité atmosphérique et systèmes orageux*, La Météorologie, 8^{ème} Série, n°4.
- LASSEGUES P., HELLOCO F., KERDONCUFF M., GUEGUEN C., 1997 : *Eléments d'une climatologie des caractéristiques des impacts de foudre*, note interne du SCEM n°26.
- HELLOCO F., LE BOULCH M., TOURTE J.L., 1989 : *Météorage : le réseau national de surveillance des orages*, revue R G E n°3.
- CADIOU M., SOCIETE METEORAGE, 1995 : *Phénomènes météorologiques, orages et coups de foudre*, revue MetMar n°166.
- CEMAGREF, GEOSCIENCES -CONSULTANTS, METEO-FRANCE, 2002 : *Détermination d'échelles d'intensité en 5 niveaux pour différents aléas*, étude réalisée pour le MEDD, rapports de synthèse.
- ORLANSKII., 1975 : *A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric processes*, Bulletin American Meteorological Society, Vol. 56, N° 5.
- ROEDER W.P. et al, 1999 : *Lightning Launch Commit Criteria for America's Space Program*, 11th International Conference on Atmospheric Electricity, NASA/CP-1999-209261.
- S HI MURA T. et al, 1999 : *Characteristics of "superbolt" related winter thunderclouds over the Japan Sea*, NASA, 11th International Conference on Atmospheric Electricity, NASA/CP-1999-209261.