

Analyse de 10 ans d'accidentologie humaine par la foudre en France et en Europe

Stéphane Schmitt, Michaël Kreitz

1. Météorage, Pau
2. École nationale de la météorologie, Toulouse, Météo-France

michael.kreitz@meteo.fr

(reçu le 12 septembre 2021 ; accepté le 17 décembre 2021)

Si on estime que 6 000 à 24 000 personnes meurent foudroyées chaque année dans le monde (Holle, 2016), les accidents restent rares sous nos latitudes, le Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDC) en recensant moins de dix par an sur le territoire

français. Ces chiffres sous-estiment cependant la réalité, car la mention de l'origine « foudre » n'est pas toujours précisée lors de la prise en charge des victimes, et il peut y avoir un obstacle médico-légal à la diffusion des informations au CépiDC du fait d'une mort non naturelle.

Résumé

Une étude de 215 accidents humains par la foudre au cours des dix dernières années est menée sur vingt pays d'Europe. Près de 3 victimes sur 5 pratiquaient une activité de loisirs, et 1 cas sur 5 s'est produit dans le domaine professionnel. Une étude approfondie est menée sur les 56 cas français. Les résultats de l'étude de leur prévisibilité montrent que la plupart des orages ayant causé des accidents peuvent être anticipés, et ne sont que très rarement soudains ou imprévisibles. Par ailleurs, ce sont majoritairement les orages d'intensité faible à modérée et au déplacement relativement lent qui en sont la cause. Ainsi, l'écrasante majorité des situations s'est produite par vigilance de couleur jaune.

Afin de réduire le risque de façon efficace, il convient d'évaluer le danger réel, y compris en cas de vigilance de premier niveau, et d'appliquer des comportements adaptés pour réduire le risque en période d'orage.

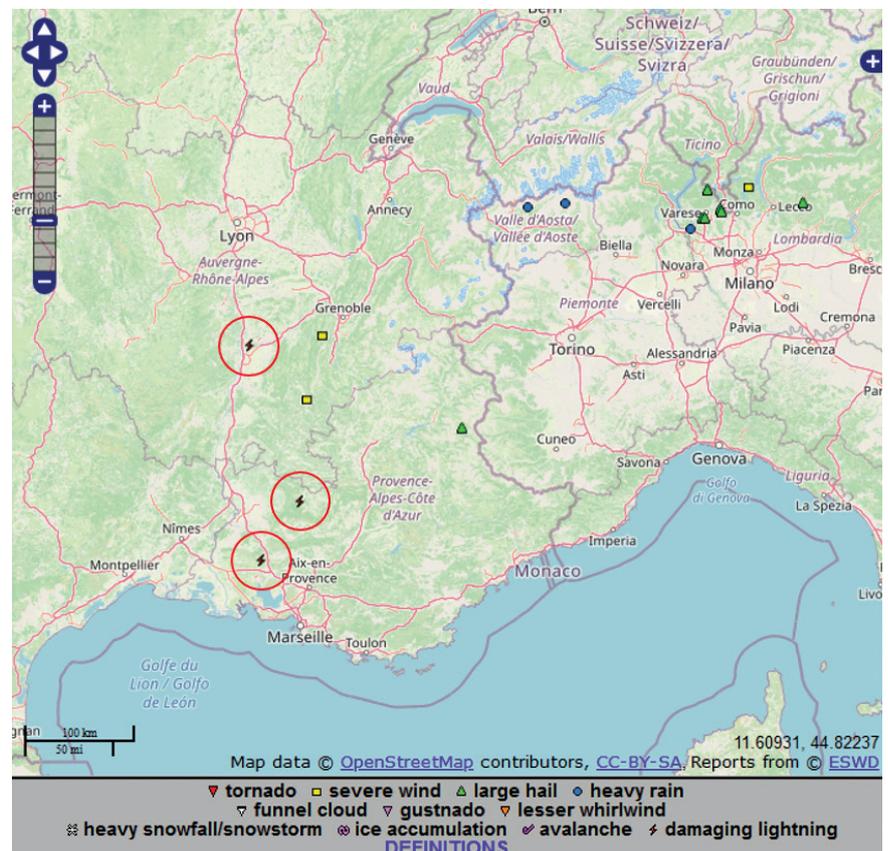


Figure 1. Phénomènes météorologiques sévères ou conséquences de phénomènes météorologiques relevés le 8 août 2017, dont trois événements liés à la foudre (entourés en rouge). Source : www.eswd.eu

Abstract

Analysis of 10 years of human related accidents due to lightning over France and Europe

A study of 215 human related accidents due to lightning is conducted in twenty European countries over the last ten years. Nearly 3 victims out of 5 are engaged in a leisure activity, and 1 case out of 5 occurs in the professional field. An in-depth study is also conducted on the 56 French cases. The results in terms of their predictability show that most of the thunderstorms that caused accidents can be anticipated and are rarely sudden or unpredictable. Furthermore, it is mostly thunderstorms of low to moderate intensity with relatively slow movement that are the cause. Thus, most of them occur by “yellow” meteorological vigilance.

In order to mitigate the risk efficiently, it is necessary to be able to assess the real danger, even in the case of a first-level warning, and to apply appropriate behaviours to reduce the risk in case of approaching thunderstorms.

En l'absence de données exhaustivement recensées, mais aussi d'un risque de disposer d'une population insuffisante pour en tirer quelques statistiques significatives, cette étude est étendue à 20 pays d'Europe. Elle se base sur tous les cas remarquables ayant fait l'objet de médiatisation et portés à notre connaissance, une large part étant issue de l'European Severe Weather Database¹ (ESWD, encadré 1). Ce parti pris entraîne une probable moindre représentativité de l'échantillon, laissant plus de place aux cas se déroulant en France, mais aussi autour de l'Europe centrale par l'utilisation des données de l'ESWD. Même si cette base est reconnue pour sa qualité, des vérifications s'imposent. Ainsi, concernant l'exemple du 8 août 2017 (figure 1), trois événements de foudroiement sont proposés. Après analyse approfondie, deux témoignages localisés à des lieux différents correspondent en réalité au même accident² et un seul a été pris en compte dans notre étude.

Ce sont ainsi 215 cas d'accidents provoqués par la foudre ayant causé des blessures ou engendré un décès qui font l'objet d'une analyse individuelle (figure 2). Les 56 cas français sont plus précisément analysés d'un point de vue météorologique : situation générale, convection (organisation, sévérité, déplacement, cycle de vie). Le but de cette étude consiste avant tout à tirer des enseignements de ces accidents, en particulier pour vérifier la validité de quelques idées communément admises qui vont s'avérer erronées ou partiellement vraies, que ce soit en matière de typologie de victimes, de prévisibilité des orages responsables d'accidents ou encore de leur sévérité.

Données utilisées

Nous utilisons les données issues du réseau de Météorage pour les zones couvertes par ce réseau sur une large Europe de l'Ouest, et celles des autres membres du groupement Euclid³ (figure 3).

Ces réseaux sont composés de capteurs au sol mesurant le champ électromagnétique rayonné par les éclairs dans une bande radioélectrique de basse fréquence (comprise entre 0 et 400 kHz). La combinaison de la mesure du temps d'arrivée et de la direction de propagation de ces ondes permet de localiser très précisément la source d'émission.

1. European Severe Weather Database (ESWD)

La base de données européenne consacrée aux phénomènes météorologiques sévères est administrée par le Laboratoire européen des orages sévères (ESSL, European Severe Storms Laboratory, <https://www.essl.org/cms/>). Elle existe depuis 2004, même si son véritable lancement collaboratif remonte à 2006 (Dotzek *et al.*, 2009). Cette base de données a pour vocation de recenser de manière la plus exhaustive et rigoureuse tous les phénomènes météorologiques sévères. Son utilisation peut être aussi bien la validation *a posteriori* de prévisions ou de produits de détection de phénomènes sévères ou servir à des études climatologiques. Elle s'appuie sur une acquisition des phénomènes *via* des relevés officiels, des dépêches d'actualité et les réseaux sociaux. Pour compléter la base, des correspondants sont identifiés dans les principaux pays, en se reposant quelquefois sur des associations de passionnés comme Skywarn dans divers pays européens (Groenemeijer *et al.*, 2017). La qualité de la base est un élément clef. Un code qualité est proposé pour chaque rapport avec quatre codes possibles, d'une information en provenance du grand public jusqu'à un phénomène ayant fait l'objet d'une étude dédiée.

En 2016, cette base contenait plus de 100 000 événements. Les phénomènes sont mieux couverts en Europe centrale alors que la couverture est incomplète en Europe du Sud. Son accessibilité est libre pour tous les membres de l'ESSL (soit la majorité des services météorologiques européens). Pour les autres, des requêtes sont possibles, mais seuls les 25 premiers résultats sont détaillés.

Chaque événement comprend notamment des informations horodatées et géolocalisées, la précision de celles-ci étant indiquée (par exemple, < 1 km et ±15'), ainsi que leur origine (presse, site internet).

Ces réseaux fonctionnent en temps réel et scrutent en permanence les variations du champ électromagnétique. Aussitôt qu'une signature radioélectrique correspondant à une décharge atmosphérique est détectée par les capteurs, les mesures sont envoyées à un ordinateur qui va localiser la décharge et calculer d'autres paramètres comme la datation à la microseconde près, mais aussi la polarité et l'intensité du courant électrique de la décharge.

1. <https://www.eswd.eu/>

2. https://www.bfmtv.com/societe/vaucluse-une-famille-britannique-touchee-par-la-foudre_AN-201708090014.html

3. European Cooperation for Lightning Detection regroupe plusieurs opérateurs nationaux dans 27 pays d'Europe (euclid.org).



Figure 2. Répartition géographique des accidents analysés.

Les performances de ces réseaux ont fait l'objet de nombreuses publications (Schulz *et al.*, 2016 ; Pedebay, 2015). Elles atteignent en 2021 :

- une efficacité de détection des éclairs nuage-sol supérieure à 96 % sur le territoire européen couvert ;

- une précision de localisation médiane de 100 mètres ;
- une discrimination entre éclairs nuage-sol et intra ou inter-nuages meilleure que 90 %.

Ces performances, qui n'ont que peu évolué au cours de la période de l'étude

(2010-2019), permettent de déterminer avec suffisamment de précision la datation et la localisation des éclairs considérés comme étant à l'origine des accidents.

Typologie des victimes : quelques enseignements statistiques

Certaines statistiques confirment des idées établies. Comme nous pouvons nous y attendre, les accidents surviennent majoritairement entre mai et août, avec un pic en juillet qui représente près de 30 % des accidents annuels, suivis des mois d'août à 22 % et juin à 18 %. Quoique moins fréquents, des accidents surviennent tout au long de l'année, y compris en hiver. Sur les 215 accidents analysés, on déplore 83 décès et 971 blessés à des degrés divers. Nous utiliserons le terme « foudroyé » pour désigner les personnes décédées, le terme « fulguré » pour les blessés et regrouperons l'ensemble sous la dénomination générique de « victimes ».

La victime est le plus souvent de sexe masculin (deux tiers des décès) ayant majoritairement une quarantaine d'années et pratiquant une activité de loisirs dans près de 3 cas sur 5 lorsque l'accident est survenu (figure 4). Il est néanmoins important de souligner la

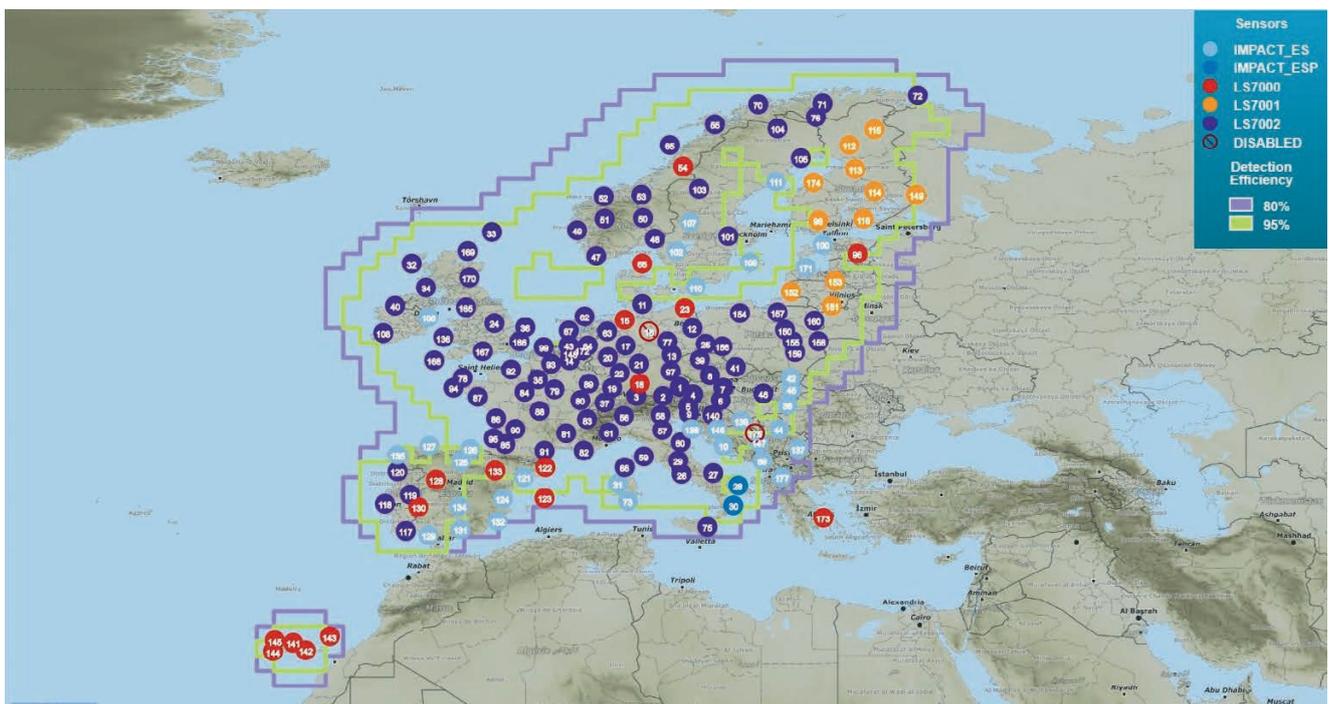


Figure 3. Répartition des capteurs du réseau Euclid et efficacité de détection en % d'éclairs nuage-sol détectés par le réseau par rapport au nombre réel.

forte disparité des activités des victimes (une trentaine d'activités différentes au total), montrant encore, s'il le fallait, que la foudre ne frappe pas très majoritairement les randonneurs et les golfeurs (Jensenijs, 2020) comme il est parfois fait mention. Nous identifions par exemple davantage de cas de foudroiement sur le lieu de travail (19 %) qu'en randonnée (13 %) et recensons autant d'accidents ayant touché des éboueurs que des golfeurs (figure 5) !

Des orages imprévisibles et soudains ?

Pour chacun des 215 accidents, nous nous assurons de la présence d'un éclair nuage-sol à proximité du lieu où se situe la victime, ainsi que de la compatibilité horaire avec l'heure de l'accident (figure 6). La présence d'éclairs nuage-sol est confirmée pour les 215 événements, et la distance moyenne entre l'éclair le plus proche et la victime est de 620 mètres en Europe pour 480 mètres en France. Cette précision est rendue plus aléatoire dans certaines zones situées aux extrémités du réseau de détection des éclairs, et la localisation des victimes n'est pas toujours précisément connue (forêt, champ dégagé, zone de montagne...). On peut également considérer qu'il faut prendre en compte une zone élargie autour du point d'impact de l'éclair, dans laquelle peuvent se produire des phénomènes dangereux liés à l'écoulement de charges électriques.

La deuxième étape consiste ensuite à vérifier si cet éclair est précédé d'autres éclairs dans un rayon de 20 km autour du lieu de l'accident, cette distance correspondant à une estimation généralement admise du caractère visible ou audible de l'orage⁴, puis de calculer le délai entre le premier éclair à 20 km et celui étant considéré comme responsable de l'accident. Le préavis ainsi calculé permet de déterminer le caractère prévisible ou non de l'orage.

Bien que cette méthode puisse être imparfaite pour confirmer qu'en dépit de la détection d'éclairs, les victimes auraient systématiquement pu voir ou entendre l'orage avant d'être frappées, elle laisse à supposer que dans une majorité des cas l'orage est bien visible ou identifiable. Le but de cette analyse n'est pas d'incriminer les victimes, mais de déterminer si

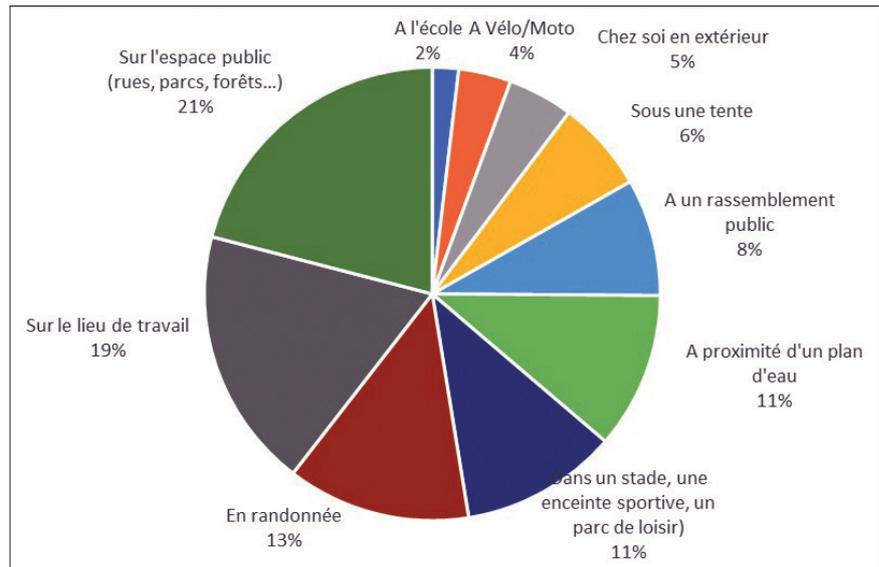


Figure 4. Situation des victimes lors de l'accident.

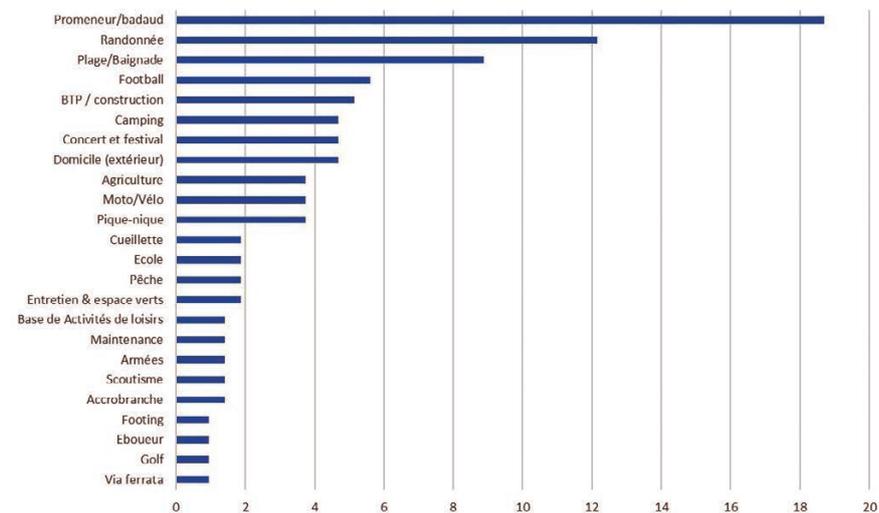


Figure 5. Types d'activités (en %) pratiquées par les victimes lors de l'accident.

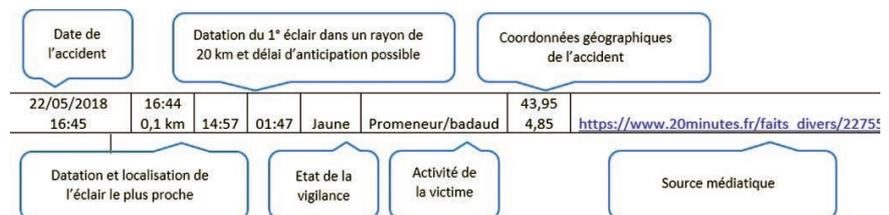


Figure 6. Exemple d'analyse effectuée.

les réseaux de détection des éclairs peuvent contribuer à réduire les accidents où si ceux-ci sont trop soudains pour être évités. La question autour de la pédagogie à mener efficacement autour du risque de foudroiement peut être également soulevée.

Les résultats obtenus montrent que plus de 9 orages sur 10 ont été détectés plus de 15 minutes avant l'éclair ayant provoqué l'accident (figure 7), près de trois quarts plus de 30 minutes avant, et presque la moitié plus d'une heure

avant. La valeur moyenne se situe à une heure et une minute, la médiane à 51 minutes.

Pour seulement 10 cas sur 215, l'éclair responsable de l'accident n'est précédé d'aucun autre à moins

4. Cette estimation est imparfaite car elle dépend de nombreux facteurs environnementaux ayant une incidence sur la propagation de la lumière ou du son. Le National Weather Service (service météorologique américain) mentionne 10 miles, contre 20 km pour ses homologues canadien et anglais.

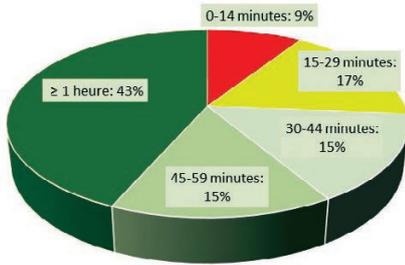


Figure 7. Délais d'anticipation. Le critère retenu est l'écart de temps entre le premier éclair dans un rayon de 20 km du lieu de l'accident et l'éclair responsable de celui-ci.

de 20 km, confirmant l'existence de cas soudains et pour lesquels les victimes ne disposent pas de suffisamment de temps pour se mettre à l'abri.

Analyse météorologique détaillée des cas français

Une analyse complémentaire est menée autour des 56 cas en France. Chacune des situations météorologiques est étudiée, complétée à fine échelle par l'analyse des images radar disponibles.

Tout d'abord, une comparaison est faite entre la climatologie de la foudre et les données des accidents liés à la foudre. Les répartitions mensuelles sont assez proches avec un large pic estival (figure 8a), mais avec une énorme prévalence des accidents en juillet (plus de 4 cas sur 10). L'explication n'est pas évidente, même si juillet concentre le cumul de nombreux loisirs en extérieur ainsi que le maintien des activités professionnelles. Concernant la comparaison des horaires (figure 8b), le pic diurne des accidents est plus précoce, plus ample et s'achève plus tôt. Il suit donc les activités en extérieur (de loisir

et professionnelles) et la précocité est peut-être à rapprocher du passage des premiers orages de la journée, surprenant les victimes toutes occupées en extérieur. Par évolution diurne, les orages sont plus fréquents ensuite, dissuadant alors plus concrètement de tenter toute sortie. Un second pic plus faible en début de matinée s'expliquerait de la même manière, à savoir une période de début d'activités en extérieur.

Les situations météorologiques associées à ces accidents sont variées. Sans surprise, ce sont les flux de sud-ouest cycloniques en altitude qui sont les plus nombreux avec plus d'un tiers des cas (figure 9). En effet, ce type de situation entraîne en été une advection d'air chaud en basses couches qui vient

déstabiliser la masse d'air et favoriser la formation d'orages. Néanmoins, les situations calmes sont majoritaires avec 50 % des cas qui se présentent sous la forme de marais barométrique (avec air frais en altitude, flux de sud-ouest en altitude ou présence d'un col⁵ en altitude) ou de champs (température et géopotential) élevés à tous les niveaux. Enfin, 16 % des cas correspondent à de la convection dite en air froid (présence d'air froid/frais à tous les niveaux).

À plus petite échelle, une analyse des structures convectives (voir encadré 2) est réalisée à l'aide des images radar

5. Zone située entre les valeurs hautes et basses de géopotential, comme un col en topographie. Le temps est souvent calme, dominé en été par l'évolution diurne qui peut aller jusqu'à l'orage.

2. Structures orageuses

La convection peut s'organiser selon de très nombreux modes. Pour cette étude, il est inutile de considérer tous les modes proposés par des études poussées comme dans Klimowski *et al.* (2003), Gatzert (2013) et Gatzert *et al.* (2020). Les structures retenues restent générales, approfondissant les éléments proposés par Malardel (2009). Nous rappelons ci-après les principales caractéristiques des structures orageuses.

Cellule ordinaire : cellule orageuse isolée ayant un cycle de vie complet, souvent de 30 à 45 minutes, indépendamment d'autres cellules convectives. Formation dans un environnement faiblement cisailé, typiquement moins de 20 nœuds (ou 10 m/s, soit 37 km/h) sur l'épaisseur 0-6 km (Markowski et Richardson, 2010).

Orages multicellulaires : regroupement de plusieurs cellules orageuses, le plus souvent ordonnées de la plus jeune vers la plus ancienne cellule, aboutissant à la formation d'un système orageux de plusieurs dizaines de kilomètres d'extension horizontale avec sa propre dynamique et un cycle de vie allongé pouvant atteindre plusieurs heures. Le cisaillement vertical de vent est modéré, souvent entre 20 et 35, voire 40 nœuds et unidirectionnel.

Orages multicellulaires par fusion : orages multicellulaires se formant dans un environnement instable mais faiblement cisailé. Les premiers développements se font sous la forme de cellules ordinaires dont les plages froides viennent progressivement fusionner pour former des systèmes multicellulaires de plusieurs dizaines de kilomètres d'extension horizontale.

Orages supercellulaires : cellules orageuses de grande dimension associées à un minimum local de pression appelé mésocyclone. Sa durée de vie est longue (plusieurs heures), son activité intense et son déplacement souvent éloigné d'un angle de $\pm 30^\circ$ du flux moyen. Une supercellule se forme dans un environnement fortement cisailé (plus de 35 à 40 nœuds), avec un cisaillement vertical préférentiellement de type rotationnel.

Systèmes convectifs de méso-échelle : systèmes orageux de grande dimension (plusieurs centaines de kilomètres) composés le plus souvent d'orages multicellulaires.

Orages d'atmosphère libre : orages formés indépendamment des conditions de couche limite et donc souvent avec des bases élevées typiquement de 2 à 3 km (Bondet et Griffaut, 2009). Comme ils ne sont pas liés au maximum de chauffage au sol, ils apparaissent souvent à des heures atypiques.

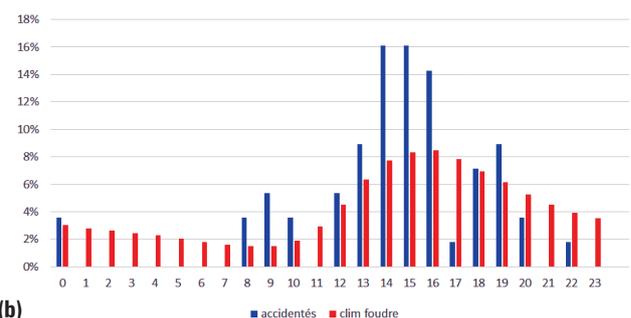
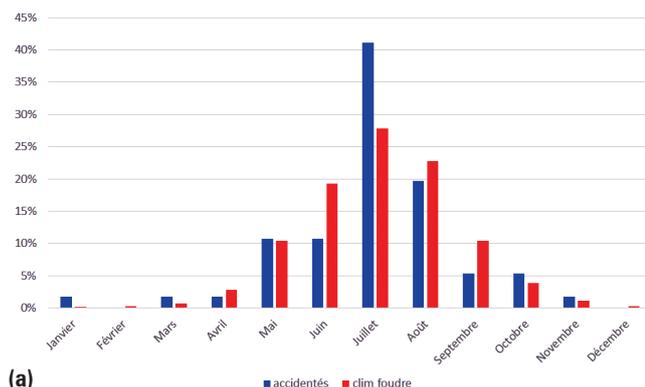


Figure 8. (a) Répartition mensuelle des accidents liés à la foudre (période 2010-2019) comparée à celle des impacts de foudre (période 1998-2017) en France. (b) Même figure concernant la répartition horaire.

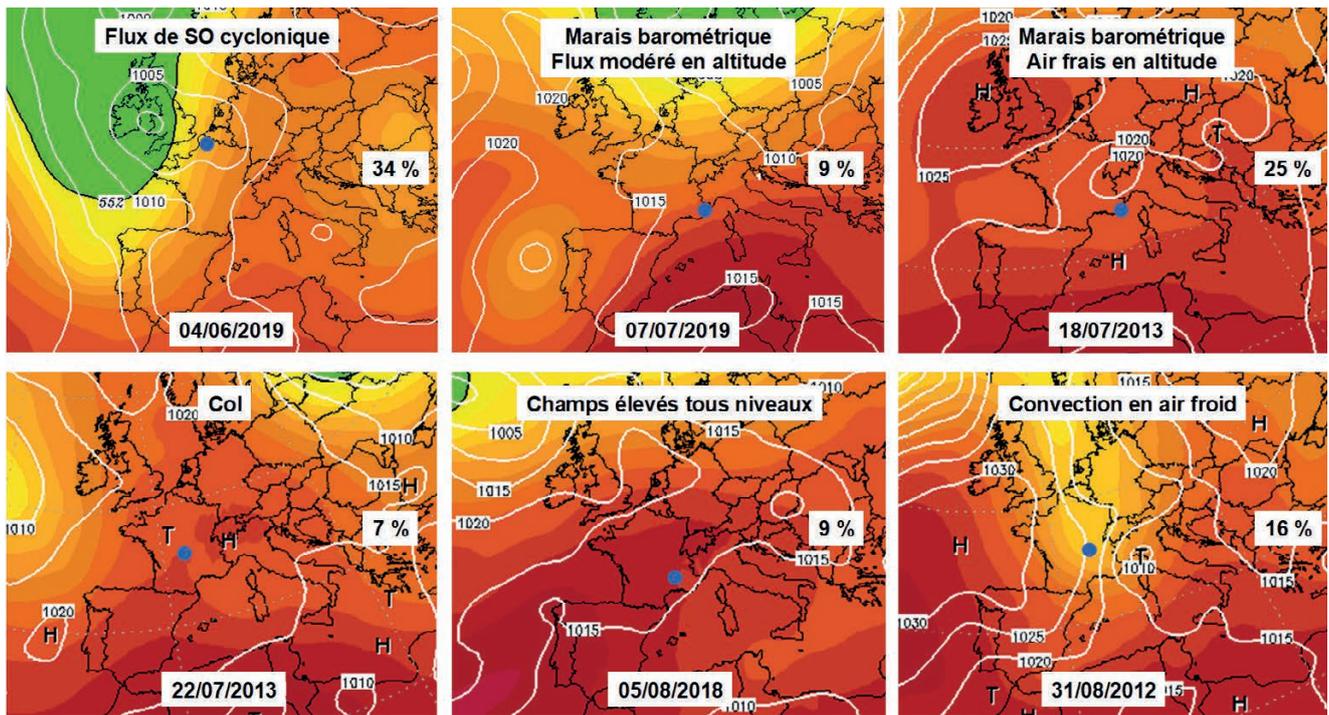


Figure 9. Situations synoptiques associées aux accidents avec illustration d'un cas typique et fréquence de la catégorie concernée. Pression réduite au niveau de la mer (Pmer) avec isobares en blanc et géopotential (Z, en damgp, voir échelle en figure 11) à 500 hPa en plages de couleurs. Le lieu de l'accident est matérialisé par un point bleu. D'après les cartes du www.wetterzentrale.de

(figure 10). Seuls deux cas situés en Corse ne peuvent être étudiés, faute de disponibilité du radar d'Aléria. En cohérence avec les situations synoptiques, il n'y a pas d'orages spécifiquement dangereux mais des organisations convectives qui découlent logiquement de la plus grande échelle. Les organisations associées aux plus fortes valeurs de cisaillement vertical de vent (et donc aux flux les plus rapides en altitude) sont peu nombreuses, puisqu'il n'y a que 4 % de supercellules et 13 % de systèmes convectifs de méso-échelle. En présence d'un cisaillement modéré, ce sont les orages multicellulaires qui sont prédominants, comme dans 28 % des cas. Mais surtout, la moitié des structures correspondent aux environnements où le flux synoptique est très faible : cellules ordinaires (17 %) et orages multicellulaires par fusion (33 %). Enfin, 6 % des cas correspondent à des orages d'atmosphère libre.

La catégorie majoritaire des orages multicellulaires par fusion mérite des précisions supplémentaires. Par leur nature même, leur déplacement est extrêmement difficile à appréhender pour les prévisionnistes. En effet, ces orages se forment lorsque l'instabilité est forte et le cisaillement vertical de vent est faible. Avec un flux faible, le déplacement d'une cellule est lent. Mais il faut considérer le développement des nouvelles cellules, et plus précisément leur vitesse d'apparition,

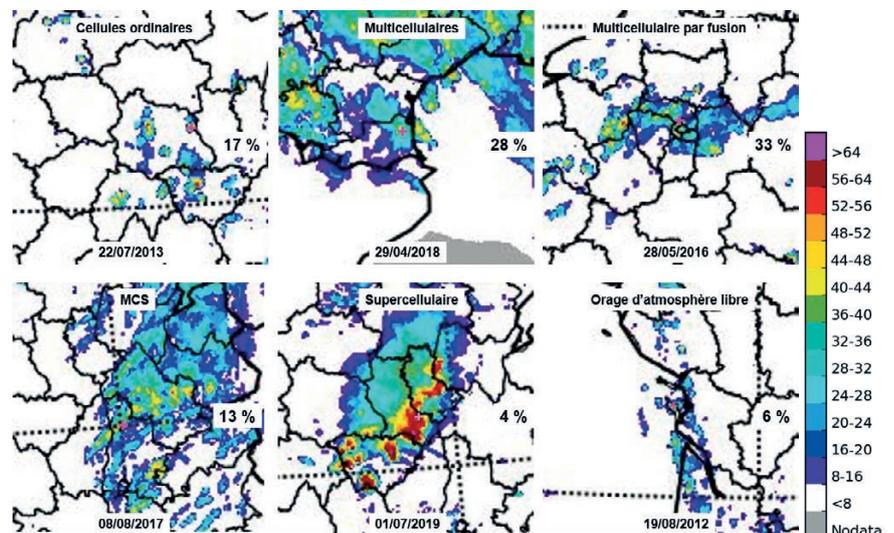


Figure 10. Organisations orageuses associées aux accidents avec illustration des réflectivités radar (en dBZ) d'un cas typique et fréquence de la catégorie concernée. Le lieu de l'accident est matérialisé par une croix rose. Source : Météo-France.

qui vont donc contribuer majoritairement au déplacement de ces orages multicellulaires. Or ces nouvelles cellules apparaissent dans la direction vers laquelle se propage la plage froide en surface. Illustrons ceci avec la situation du 24 juillet 2014 où quatre enfants d'une colonie de vacances ont été touchés par la foudre dans la commune de Chéméré en Loire-Atlantique⁶. La situation météorologique est calme avec une sorte de marais barométrique sur la France et alentours (Pmer entre 1010 et 1015 hPa), alors qu'en altitude, on devine une sorte de col (de la

Bretagne à l'Irlande) traduisant la présence d'un peu d'air frais et d'un flux très calme (figure 11). En saison estivale, ce type de situation aboutit souvent à des orages par évolution diurne.

Durant l'après-midi, des orages se développent effectivement en Bretagne et Pays de la Loire par évolution diurne (figure 12). À 13 h TU, il ne

6. <https://www.ouest-france.fr/pays-de-la-loire/chemere-44680/chemere-des-enfants-d-une-colonie-de-vacances-touche-par-la-foudre-c307539d-dbcc-11e9-8deb-0cc47a644868>

s'agit que de cellules ordinaires (isolées) d'intensité modérée (réflectivités maximales entre 48 et 52 dBZ). Puis, les cellules se renforcent et semblent attirées les unes par les autres. C'est la fusion qui s'opère par étalement des plages froides. Vers 15 h TU, le système prend la forme d'un orage multicellulaire par la fusion des cellules existantes. Le déplacement de l'ensemble semble se faire vers l'ouest à vitesse lente. Puis, le système semble perdre de l'intensité avec des cellules moins intenses et un étalement stratiforme (réflectivités moins fortes : teintes bleues-vertes à moins de 36 dBZ) qui gagne, traduisant lui aussi la présence d'une vaste plage froide. Alors que le système continue de perdre de la force, il se propage d'un coup vers le sud dans la direction du Pays de Retz tout en continuant de perdre de l'intensité. C'est là que l'accident a lieu. Il traduit toute la difficulté d'appréciation liée à ce type d'orage. En effet, l'orage est à moins de 20 kilomètres du lieu de l'accident depuis 13 h 11 TU, soit près de 3 heures avant l'accident. Ainsi, après avoir donné l'impression de se renforcer et de se rapprocher, l'orage semble probablement perdre en activité, voire temporairement s'éloigner.

La vitesse de déplacement des orages est évaluée selon les critères suivants :

- quasi stationnaire/lent < 20 km/h ;
- modérée entre 20 et 40 km/h ;
- rapide > 40 km/h.

Les vitesses de déplacement des orages sont cohérentes avec les environnements synoptiques. Dans près

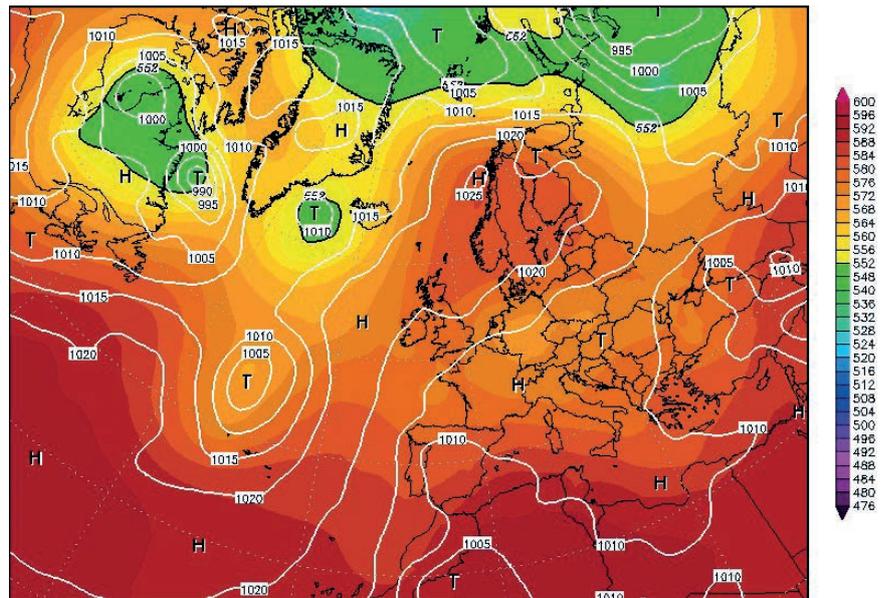


Figure 11. Pmer avec isobares en blanc et Z à 500 hPa en plages de couleurs le 24 juillet 2014 à 18 h TU, obtenus par réanalyse CFS. Source : www.wetterzentrale.de

des deux tiers des cas, les orages progressent lentement, voire sont quasi stationnaires (figure 13). Ce résultat explique justement pourquoi un éclair est détecté dans un rayon de 20 km du lieu de l'accident en moyenne 1 heure et 1 minute auparavant. Dans 15 % des cas seulement, le déplacement de l'orage est rapide.

La figure 13 présente trois cas typiques. Le premier cas, le 25 juillet 2018, montre un débordement lent de l'orage depuis les montagnes du Briançonnais vers la vallée pour ensuite atteindre la ville de Briançon⁷. Pour le deuxième cas, le 2 août 2014, un orage multicellulaire remonte à vitesse modérée vers

la ville d'Annecy⁸. Son déplacement semble plus rapide qu'en réalité avec le développement d'une nouvelle cellule dans sa partie nord. Enfin, le cas du 6 octobre 2018 montre un puissant système convectif de méso-échelle arriver rapidement vers la ville de Béziers⁹, prenant la forme d'un écho arqué.

7. <https://www.ledauphine.com/hautes-alpes/2018/07/25/la-foudre-tombe-sur-le-parc-de-la-schappe-trois-blesses-legers>

8. <https://www.francebleu.fr/loisirs/sortir/fete-du-lac-d-annecy-la-foudre-tombe-quelques-metres-des-spectateurs-1407141426>

9. <https://www.midilibre.fr/2018/10/07/beziers-quand-la-foudre-frappe-en-plein-concert-des-fabulous-sheep,4723059.php>

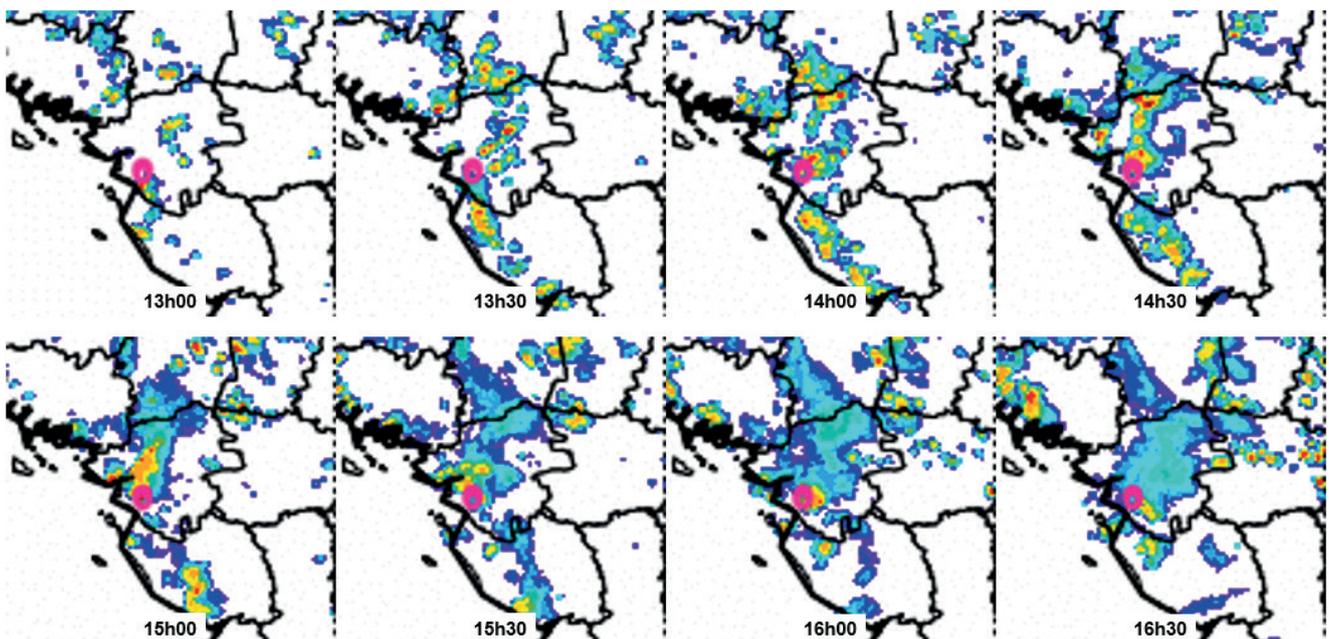


Figure 12. Mosaïque de la réflectivité radar (en dBZ, échelle disponible à la figure 10) autour de Chéméré le 24 juillet 2014 entre 13 h et 16 h 30 TU, l'accident (cercle rose) ayant eu lieu à 16 h 07 TU. Source : Météo-France.

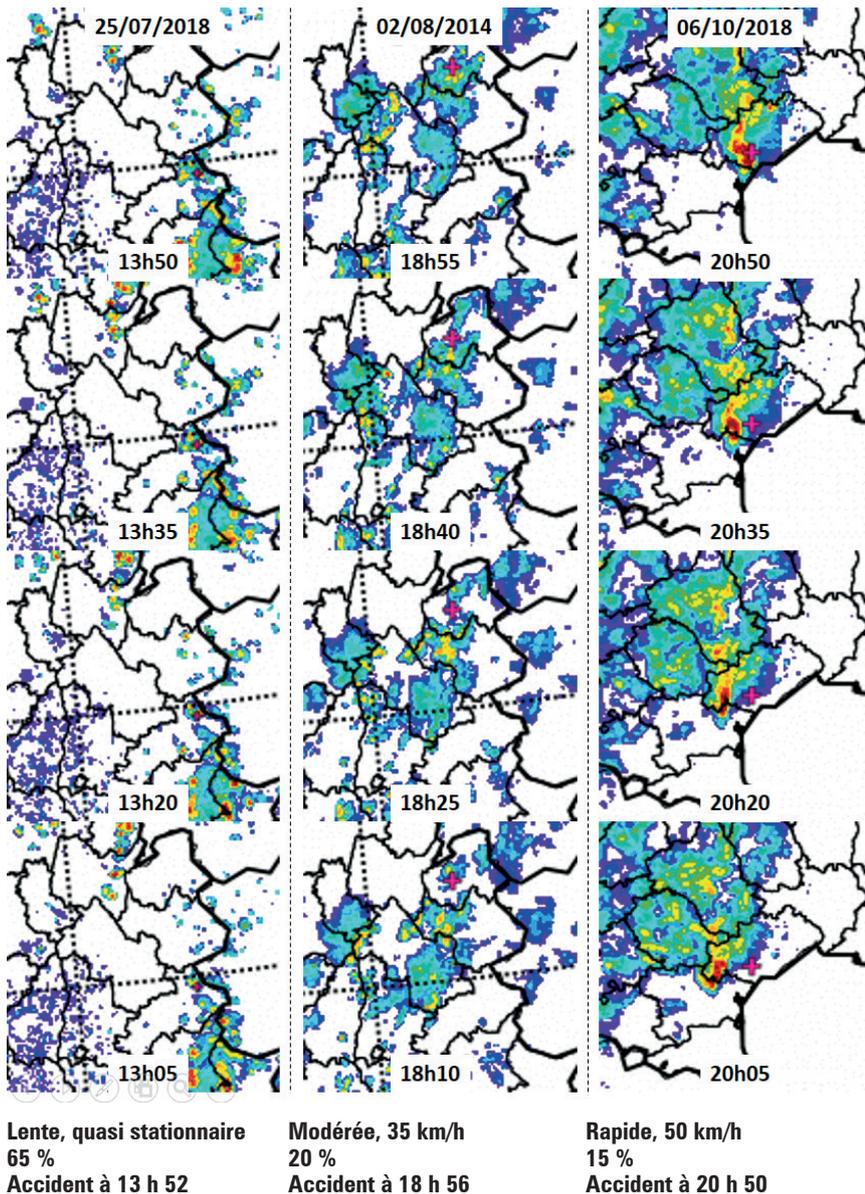


Figure 13. Vitesses de déplacement associées aux accidents avec illustration et suivi d'un cas typique via les réflectivités radar (en dBZ, échelle disponible à la figure 10) et fréquence de la catégorie concernée. Le lieu de l'accident est matérialisé par une croix rose et l'heure correspond à l'image radar du haut. Source : Météo-France.

L'activité des orages est jugée au regard des pixels de réflectivité les plus forts (à condition qu'il y en ait au moins 5 ou plus) avec les seuils suivants :

- faible < 48 dBZ ;
- modérée entre 48 et 56 dBZ ;
- forte > 56 dBZ.

Enfin, et contrairement à ce que l'on pourrait penser puisqu'il s'agit d'accidents, l'activité des orages est majoritairement faible (24 % des cas) à modérée (39 % des cas) et moins fréquemment forte (37 % des cas). La figure 10 illustre des cas d'orages violents le 1^{er} juillet 2019, modérés les 28 mai 2016 et 8 août 2017 et faibles pour les autres jours.

Pour conclure sur l'environnement météorologique et orageux, il n'existe

pas de signature typique d'un orage « meurtrier » étant donné la multiplicité des environnements synoptiques et des organisations convectives. Néanmoins, il ressort une nette domination des environnements météorologiques où le flux est faible et la vitesse de déplacement de l'orage lente. Cela laisse supposer un relâchement de la vigilance des victimes par une mauvaise appréciation de la dangerosité. En effet, le déplacement lent, voire erratique de ces orages peut donner la fausse impression que l'orage touche à sa fin ou s'éloigne de leur localisation. De plus, ces orages n'engendrent pas un nombre d'éclairs extrêmement élevé, 63 % d'entre eux ayant d'ailleurs une activité faible ou modérée. La dangerosité peut ainsi être mal évaluée. Il convient donc de

mieux analyser le comportement des victimes afin de valider (ou non) ces deux hypothèses.

Quels enseignements comportementaux ?

Nous avons décomposé cette analyse comportementale en trois périodes temporelles : avant, pendant et après l'accident.

Avant l'accident : quelle information météorologique ?

Une question fondamentale est de savoir si les victimes avaient ou auraient pu avoir connaissance d'une vigilance météorologique afin de prendre leurs dispositions le jour de l'accident. En se basant sur l'état de vigilance des 56 cas en France, grâce à un accès aux archives¹⁰, il n'est relevé aucun cas d'absence de vigilance (niveau « vert ») qui aurait pu induire en erreur les victimes sur l'absence totale de danger météorologique.

Néanmoins, même si les victimes avaient eu connaissance de celle-ci, il s'avère que le niveau de vigilance était jaune dans 82 % des situations, et que les 18 % de cas de vigilance orange ne le sont pas forcément spécifiquement pour un risque d'orage (cas de canicule ou d'inondation). Pour rappel, voici la définition d'une vigilance de couleur jaune : « Soyez attentifs. Si vous pratiquez des activités sensibles au risque météorologique ou exposées aux crues, des phénomènes habituels dans la région mais occasionnellement et localement dangereux (mistral, orage d'été, montée des eaux) sont en effet prévus. Tenez-vous au courant de l'évolution de la situation. » Quoiqu'il n'y ait que peu d'ambiguïté sur l'avertissement météorologique qui associe le niveau jaune à la prévision de phénomènes localement dangereux, on peut s'interroger sur une correcte évaluation du risque par les populations. L'autre explication possible vient peut-être du fait que les dégradations orageuses associées à une vigilance orange voient une telle détérioration des conditions météorologiques, que peu de personnes restent à l'extérieur. Mais cela n'atténue pas la mauvaise appréciation de ce que représente une situation météorologique relevant d'une vigilance jaune.

10. <http://vigilance-public.meteo.fr/>

Pendant l'accident : comment se sont protégées les victimes ?

Bien que nous ne disposions pas des circonstances détaillées lors des accidents, de nombreux rapports journalistiques apportent des informations comportementales. La grande majorité des victimes sont touchées alors qu'elles n'ont pas arrêté leur activité bien que certaines ont facilement accès à des bâtiments « en dur ». Parmi celles qui trouvent un refuge, environ un tiers se trouve sous ou à proximité d'arbres quand ce n'est pas un abri de fortune (cabane en bois, hangar...). Ces situations confirment l'intérêt de campagnes même « mono-recommandation »



Figure 14. Exemple de campagnes pédagogiques menées sous l'égide de la NOAA mettant en avant Leon the Lion¹¹ et ayant largement contribué à la réduction du nombre de victimes aux États-Unis¹².

comme le fameux *When thunder roars, go indoors* diffusé par la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (figure 14).

Enfin, le fait que de nombreuses victimes sont frappées par la foudre alors que l'orage peut donner l'impression de s'éloigner incite à répéter le message de prudence : « Attendre 30 minutes après le dernier coup de tonnerre avant de reprendre une activité normale. » Mais quels que soient les messages d'avertissement, la réalité est toujours plus complexe. Comme le 6 août 2019, une accalmie entre plusieurs orages est observée entre 15 h 21 et 16 h 12, avant qu'un nouvel orage se développe, engendrant un accident à 16 h 26. Les victimes ont peut-être pensé pouvoir sortir sans risque et n'ont ensuite pas eu le temps de se mettre à l'abri.

Après l'accident : un fatalisme excessif

Lorsqu'elles existent, les déclarations post-accident font généralement état du caractère improbable de ce type d'accident en donnant l'impression de sous-estimer le danger réel en cas d'orage : « L'orage avait été annoncé mais il n'était pas violent », « Mis à part quelques coups de tonnerre au loin, rien ne laissait présager la suite » ou « Si l'orage avait présenté un danger pour les spectateurs, la fête aurait été annulée » en sont quelques exemples éloquentes. Plus interrogatives sont certaines analyses post-événement cherchant à prouver que l'« on » ne pouvait rien faire, ce fatalisme ne résistant généralement pas à l'épreuve des faits.

Si toutes ces analyses dénotent certainement une volonté naturelle de plaider l'absence d'erreur humaine,

en particulier pour les personnes dont les victimes sont des proches et qui peuvent nourrir un sentiment évident de culpabilité, elles contribuent malheureusement à éluder certains enseignements fondamentaux à tirer de tels accidents. Plus que la faute individuelle, c'est d'ailleurs la défaillance collective que l'on peut pointer dans certains cas. Un accident tragique représente typiquement ces éléments. Le contexte est le suivant : une vigilance orange est présente sur une bonne partie du territoire, dont le département concerné. Des enfants sont réunis à l'extérieur pour une activité sportive encadrée. Malheureusement, la foudre s'abat et choque une partie du groupe. Cet accident aurait-il pu être évité ? Déjà, comme le précise un parent d'enfant : « Il y avait une vigilance orange aux orages, j'aurais pu dire à (...) qu'il n'irait pas à l'entraînement, pourtant c'est moi qui l'ai déposé (...), je suis aussi responsable. » Et que dire de l'analyse faite *a posteriori* : « L'essentiel des impacts produits par cet orage se situait dans un couloir beaucoup plus à l'ouest, personne ne pouvait prévoir qu'un éclair aussi violent tomberait à cet endroit-là. »

Déjà, n'importe quel éclair est violent pour le corps humain. Ensuite, l'analyse des images radar et des éclairs laisse peu de place au doute. En effet, des éclairs sont détectés à moins de 20 km du lieu de l'accident dès 1 heure et 4 minutes auparavant. Des cellules vigoureuses (des caractéristiques de supercellules sont même identifiables) circulent vers l'ouest

11. Leon the lightning safety lion says: "when thunder roars – go indoors!", NOAA's efforts regarding children lightning safety.
12. <http://lightningsafetycouncil.org/LSC-LSAW-Infographic.html>

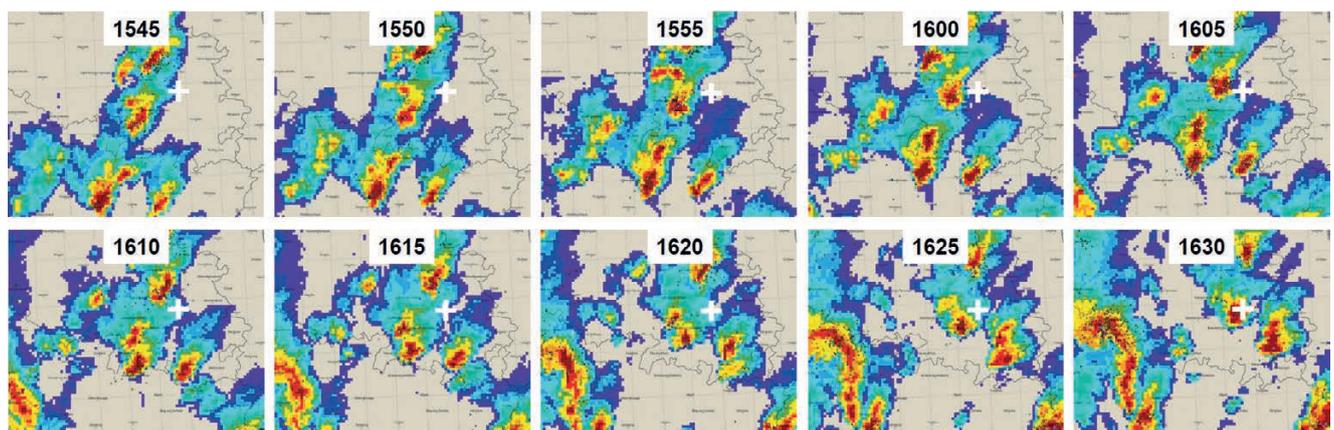


Figure 15. Suivi des réflectivités radar (en dBZ, échelle disponible à la figure 10) par pas de 5 minutes. Le lieu de l'accident est matérialisé par une croix blanche. Sources : Météo-France.

de la zone de l'accident, et même un peu partout autour (figure 15). Il est difficile d'imaginer que les coups de tonnerre n'étaient pas audibles. Une nouvelle cellule vigoureuse se déplace rapidement mais régulièrement vers le nord-nord-est. Tout au long de son trajet, son activité électrique est continue. L'arrivée de cette cellule ne peut donc être considérée comme « imprévisible ».

Face à ces comportements, il apparaît évident qu'il est nécessaire de renforcer les campagnes de sensibilisation, à la fois auprès des individus, mais aussi des organisations plus enclines à créer des procédures efficaces et systématiques qui ne sont pas laissées à des appréciations individuelles aléatoires.

Conclusion

Neuf accidents de foudroiement de personnes sur dix ne sont pas liés à des situations orageuses soudaines, imprévisibles ou encore aux conséquences inévitables. La plupart des accidents ne surviennent pas non plus lors d'épisodes remarquables ou de situations sévères, et une majorité intervient même dans des cas de convection modérée, rappelant que tout orage est par nature dangereux. Ce sont les orages faiblement mobiles qui sont responsables de près de deux tiers des accidents. La complexité à appréhender leur déplacement exact, ainsi que le relâchement probable de la vigilance en cours d'événement, contribuent probablement aux comportements à risque. En raison du déplacement lent

de beaucoup d'orages, les outils de prévision immédiate, et notamment les systèmes de détection des éclairs, auraient pu être efficaces dans près de trois quarts des situations analysées, pour avertir du danger plus de 30 minutes avant l'accident.

Néanmoins, les seuls aspects techniques ne suffisent pas pour une prévention efficace du risque. Avant tout, cela passe par le renforcement d'actions de pédagogie. Celles-ci doivent proposer une meilleure appréhension des dangers réels, y compris dans le cas de vigilance « jaune », mais aussi une évolution des comportements individuels. Conjointement, des réflexions devraient être menées pour proposer des procédures collectives adaptées face au risque.

Bibliographie

- Bondet J.-F., Griffaut D., 2009. Ébauche de la caractérisation des orages élevés en France. Projet d'application de l'École nationale de la météorologie. Rapport de stage de fin d'études n° 1159.
- Dotzek N., Groenemeijer P., Feuerstein B., Holzer A., 2009. Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos. Res.*, 93, 575-586. doi: 10.1016/j.atmosres.2008.10.020
- Gatzen C., 2013. Warm-season severe wind events in Germany. *Atmos. Res.*, 123, 197-205. doi: 10.1016/j.atmosres.2012.07.017, 2013.
- Gatzen C., Fink A.H., Schultz D.M., Pinto J.G., 2020. An 18-year climatology of derechos in Germany. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 1335-1351. doi: 10.5194/nhess-20-1335-2020
- Groenemeijer P., Pucik T., Holzer A., Antonescu B., Riemann-Campe K., Schultz D.M., Kühne T., Feuerstein B., Brooks H.E., Doswell C.A., Koppert H.-J., Sausen R., 2017. Severe convective storms in Europe, ten years of research and education at the European severe storms laboratory. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 2641-2651. doi: 10.1175/BAMS-D-16-0067.1
- Holle R.L., 2016. *The number of documented global lightning fatalities*. 24th International lightning detection conference and 6th International lightning meteorology conference.
- Jensenius J.S., 2020. A detailed analysis of lightning deaths in the united states from 2006 through 2019. Noaa. <https://www.weather.gov/media/safety/Analysis06-19.pdf>
- Klimowski B.A., Bunkers M.J., Hjelmfelt M.R., Covert J.N., 2003. Severe convective windstorms over the northern high plains of the United States. *Weather and forecasting*, 18, 502-519. doi: 10.1175/1520-0434(2003)18<502:scwotn>2.0.co
- Malardel S., 2009. *Fondamentaux de Météorologie*. 2^e éd. Cépaduès éditions, 709 p.
- Markowski P., Richardson Y., 2010. *Mesoscale Meteorology in Midlatitudes*. Wiley-Blackwell, 407 p.
- Pedeboy S., 2015. *Analysis of the French lightning locating system location accuracy*. SIPDA International Symposium on Lightning Protection.
- Schulz W., Diendorfer G., Pedeboy S., Poelman D.R., 2016. The European lightning location system EUCLID – Part 1: Performance analysis and validation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 595-605. doi: 10.5194/nhess-16-595-2016