

Les réseaux de localisation des éclairs et leurs applications

30 ans de surveillance des orages

STÉPHANE PÉDEBOY, MARC BONNET, STÉPHANE SCHMITT
MÉTÉORAGE

ABSTRACT

Lightning detection technology has been developed since the 80s and still provides some essential information on the physics of the lightning phenomenon.

Lightning Locating Systems (LLS) also contribute to the safety of people and assets during thunderstorms. This paper presents the various techniques employed to detect and locate lightning, from small scale research systems to world-wide operational networks, and the ways to assess their performance. We also highlight how lightning information can contribute to reduce the operational risk in various contexts, and draw up some perspectives after 30 years of lightning surveillance in France.

RÉSUMÉ

Les technologies de détection de la foudre se sont développées depuis les années 80 et fournissent encore des informations essentielles sur la physique des phénomènes liés à la foudre.

Les systèmes de localisation de la foudre (en anglais LLS) contribuent également à la sécurité des personnes et des biens pendant les épisodes orageux. Cet article présente les diverses techniques employées pour détecter et localiser la foudre, depuis les systèmes de recherche à petite échelle jusqu'aux réseaux planétaires opérationnels, ainsi que les moyens d'évaluer leurs performances. Nous montrons également comment les informations sur la foudre peuvent contribuer à réduire les risques opérationnels dans des contextes variés et nous traçons quelques perspectives après 30 ans de surveillance de la foudre en France.

Introduction

Apparus dans les années 80, les réseaux de localisation des éclairs ont connu un réel essor au cours de la dernière décennie. L'intérêt croissant pour la donnée foudre dans de nombreux domaines d'applications a poussé d'un côté, les fabricants à améliorer les performances de leurs systèmes et d'un autre, les opérateurs à déployer des moyens visant à garantir la meilleure qualité de service. Bien entendu, les innovations technologiques en matière de télécommunication, de digitalisation et de traitement du signal ont largement contribué au succès actuel de ces systèmes. De plus, il ne faut pas perdre de vue que les progrès effectués sur la connaissance de la physique de la décharge atmosphérique ont été décisifs.

Comment détecter les éclairs ?

Les premiers réseaux

C'est à partir des années 60 que la recherche en électricité atmosphérique

est devenue particulièrement active sous l'impulsion de la conquête spatiale et du besoin de protéger les lanceurs. C'est à cette époque que sont développés les premiers réseaux de localisation des éclairs essentiellement dédiés aux organismes de recherche et aux universités. De nos jours, si les conditions initiales de formation d'un éclair ne sont toujours pas connues, les phénomènes microphysiques mis en jeu dans le cumulo-nimbus et les décharges électriques qui en résultent sont plutôt bien compris. Les réseaux de localisation des éclairs contribuent grandement à la compréhension du phénomène électrique aussi bien à l'échelle de l'orage que de l'éclair ou de ses composantes.

Rayonnement électromagnétique

D'un point de vue physique, un éclair est une décharge de courant électrique intense qui se traduit par un flash lumineux suivi du tonnerre résultant de la déflagration du canal ionisé échauffé par le passage du courant. Cette décharge

dans l'atmosphère est rendue possible grâce à la formation d'un canal conducteur qui se forme sous l'influence du champ électrique provoqué par l'accumulation de charges au sein du cumulo-nimbus et au niveau du sol. Lorsque le canal fait la jonction entre deux poches de charges de signes opposés, un courant intense peut circuler permettant de rétablir l'équilibre électrique à l'intérieur du nuage et au niveau du sol. Lorsque la décharge reste confinée à l'intérieur du nuage on parle alors d'éclair intra-nuage, et à l'inverse d'éclair nuage-sol. Selon la polarité des charges qui circulent dans le canal de décharge, il existe des éclairs positifs, négatifs voire bipolaires quand les deux types de charges circulent alternativement dans le même éclair. De même, en fonction de la direction de propagation du canal ionisé, on trouve des éclairs descendants ou ascendants, ces derniers étant généralement déclenchés par des structures élevées : grattes-ciels, éoliennes, antennes radioémettrices...

La plupart des processus électriques mis en jeu dans la formation d'un éclair rayonnent un signal avec une signature radioélectrique propre. Ainsi les processus précurseurs et d'ionisation émettent des signaux d'assez faible amplitude dans le domaine VHF alors que les décharges de courant intenses produisent des impulsions de grande amplitude dans un spectre de fréquences VLF/LF qui se propagent sur de très longues distances voire même tout autour de la Terre pour la composante VLF du signal. L'analyse des signatures radioélectriques va permettre la localisation des sources d'émission particulières grâce à la radiogoniométrie (figure 1).

Les différents types de réseaux

Les réseaux de localisation des éclairs permettent de détecter et mesurer les signaux électromagnétiques émis par un processus particulier en jeu dans les éclairs. En effet, la détection des signaux est réalisée par un ensemble de capteurs synchronisés temporellement et dont les antennes analysent en permanence les variations du champ électromagnétique dans un spectre de fréquences donné. Il existe des systèmes spécialisés dans la détection des phénomènes précurseurs rayonnants en VHF et d'autres qui observent les décharges de courant dans le domaine VLF/LF. La détection des phénomènes précurseurs permet généralement d'obtenir la reconstruction des canaux ionisés en 2D ou 3D (figure 2). Ces derniers sont plutôt utilisés dans le cadre de la recherche en électricité atmosphérique car ils ont une portée limitée et produisent une quantité gigantesque de données. Ainsi, il n'est pas rare d'avoir plus de 10 000 sources VHF localisées lors d'un éclair. Les réseaux VLF/LF permettent de localiser en 2D les décharges de courants entre le nuage et le sol et à l'intérieur du nuage à l'échelle d'un pays voire d'un continent ou du monde entier dans le

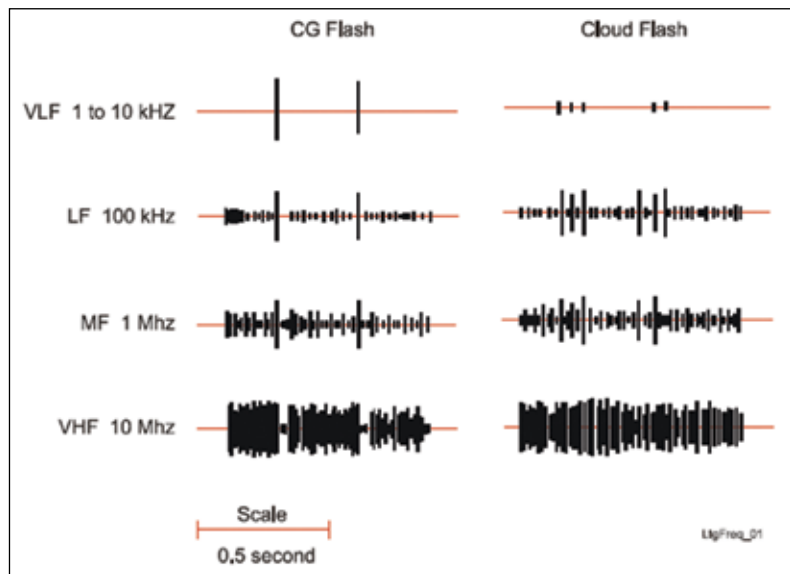


Figure 1 : Exemple de signaux électromagnétiques générés par un éclair de type « nuage-sol » à gauche et « intra-nuage » à droite. On peut voir que plus la fréquence augmente (MF et VHF), plus les signaux sont nombreux car ils sont produits par les milliers de micro-décharges associées aux processus précurseurs qui forment le canal ionisé. On peut voir en VLF/LF la signature des décharges de courant de type arc-en-retour (à gauche) et de décharge verticale dans le nuage (à droite).

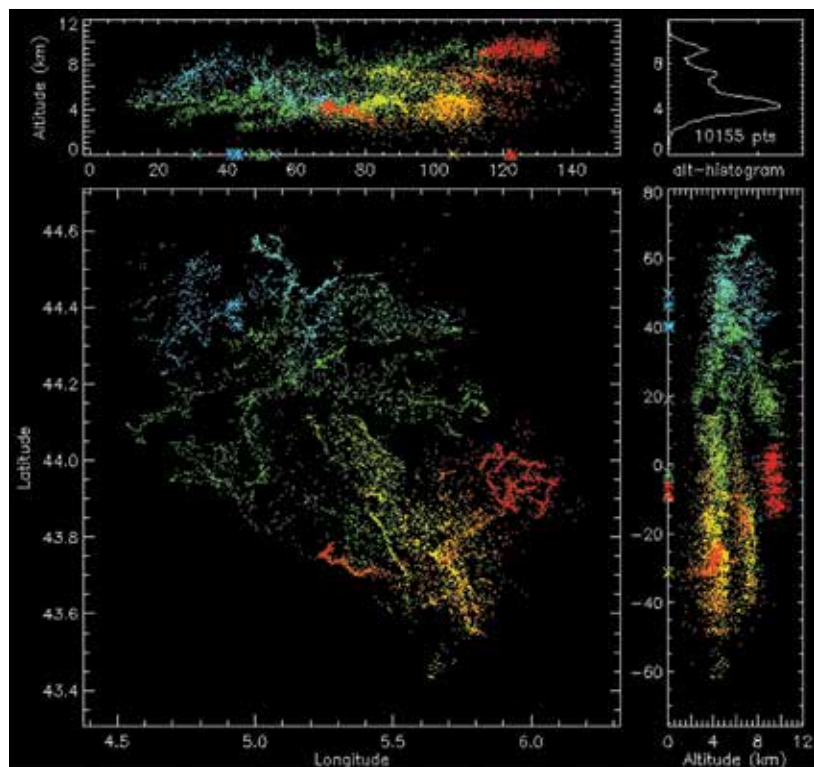


Figure 2 : Observation en 3D de différents canaux ionisés dans un éclair par un réseau de localisation des éclairs en VHF (HyLMA) durant la campagne d'observation Hymex (projet international coordonné par Météo France et le CNRS) à l'automne 2012 dans la région de Montpellier. Chaque point représente la localisation d'une source VHF émise par les processus précurseurs dont la couleur indique la progression dans le temps. Le bleu est le début de l'éclair et le rouge la fin. La localisation en 2D des décharges de courant de type nuage-sol ou intra-nuage générées lors de cet éclair par le réseau de localisation LF (Météorage) est représentée par des croix, triangles ou étoiles dans le même code de couleurs. A noter que cet éclair possède le record de durée mondiale homologué par l'Organisation météorologique mondiale (durée 7,74 s).

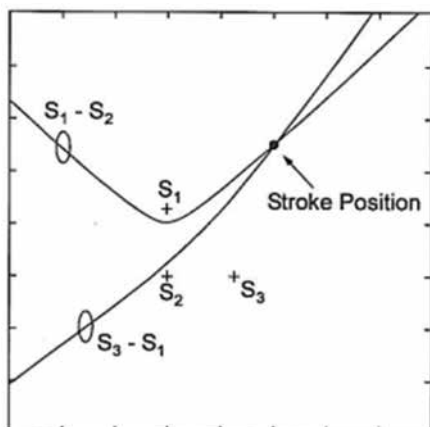


Figure 3a : Méthode de différence de temps d'arrivée ou chaque hyperbole représente l'ensemble des lieux possibles de la source radio. Le point d'intersection indique la localisation de cette dernière.

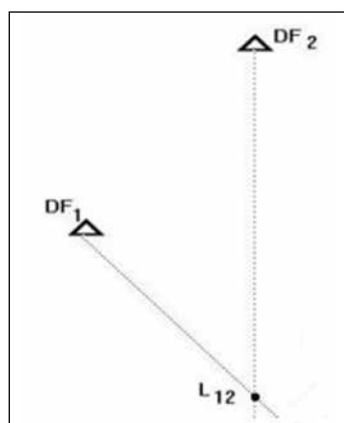


Figure 3b : Méthode de triangulation des directions du signal détectées au niveau des capteurs. L'intersection des droites représente la localisation de la source.

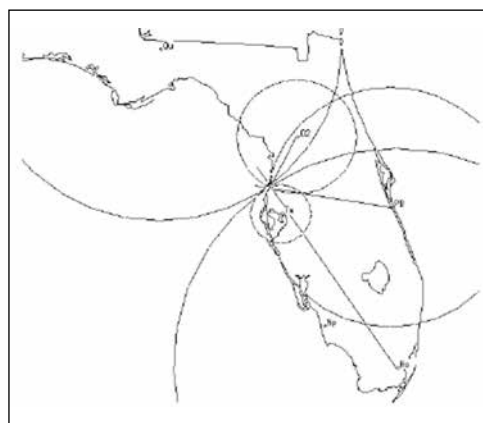


Figure 3c : Méthode IMPACT qui combine les méthodes « différence de temps d'arrivée » et « triangulation ». Elle fonctionne en deux étapes, la première consistant à trouver une localisation initiale par l'une des deux méthodes, la seconde visant à optimiser la position estimée.

cas de la détection VLF. Ces systèmes sont principalement utilisés pour fournir des services opérationnels et quelquefois combinés aux réseaux de localisation des éclairs VHF, dans le cadre de projets de recherche afin d'obtenir une observation exhaustive des phénomènes électriques dans l'atmosphère.

Les principes de fonctionnement

Les réseaux de localisation des éclairs, quel que soit le domaine de fréquence, utilisent toujours un ensemble de capteurs connectés à un calculateur central via un réseau de télécommunication. Lorsqu'un signal utile est détecté par un capteur, il est horodaté au dixième de microseconde près, ses caractéristiques sont mesurées puis transmises immédiatement pour traitement. Dans le cas où plusieurs capteurs détectent le même événement, ce dernier peut être localisé. Les réseaux de localisation des éclairs fonctionnent normalement en temps réel, c'est-à-dire que le calculateur traite en continu les mesures transmises par les capteurs via un réseau télécom. C'est l'un des avantages de ces systèmes d'observation que de pouvoir fournir un flux de données au fur et à mesure que les événements se produisent contrairement aux

radars ou satellites qui fournissent des données périodiques.

Il existe plusieurs méthodes de localisation des éclairs (figure 3) qui se basent sur deux techniques principales, à savoir la « différence de temps d'arrivée » développée par Lewis dans les années 60 (figure 3a) et la « triangulation » mise au point par Watson-Watt et Herd dès 1920 (figure 3b). La première utilise l'horodatage des mesures pour calculer la différence de temps d'arrivée existant entre deux capteurs ayant détecté le signal, ce qui définit une hyperbole déterminant tous les lieux possibles d'origine du signal. Lorsque plusieurs hyperboles peuvent être calculées, c'est-à-dire que plusieurs capteurs ont transmis des données, le point d'intersection définit la localisation unique de la source radio. La seconde technique consiste à utiliser la direction de propagation du signal mesurée au niveau de chaque capteur. Il en découle une série de droites orientées par rapport au nord géographique qui passent par les coordonnées de l'éclair et dont l'origine est le capteur. Là encore, le point d'intersection des droites désigne la localisation de la source du signal.

La technique de « différence de temps d'arrivée » est particulièrement

robuste aux erreurs de mesures (l'erreur de datation est constante quelle que soit la distance entre la source et un capteur) et présente l'avantage de fournir des localisations de très grande précision. Par contre elle nécessite au moins trois voire quatre capteurs dans certaines configurations pour localiser une source en 2D et au moins cinq pour le 3D. La « triangulation » présente l'inconvénient d'être sensible aux erreurs angulaires (plus la source est éloignée du capteur, plus grande est l'erreur) mais permet de localiser une source avec deux capteurs seulement en 2D comme en 3D. En 1990, Global Atmospheric a développé la méthode IMPACT (IMProved Accuracy Combined Technology) qui utilise à la fois les deux techniques précédentes (figure 3c) permettant ainsi de capitaliser sur les avantages tout en supprimant leurs inconvénients.

Les performances

Les performances d'un réseau de localisation des éclairs se définissent principalement au travers de l'efficacité de détection et la précision de localisation. Le premier indicateur mesure le pourcentage d'événements observés par rapport au total des événements produits, alors que le second déter-

mine la distance qui sépare la position réelle d'un évènement par rapport à celle calculée par le système. Pour les réseaux de type VLF/LF des indicateurs complémentaires permettent d'évaluer les mauvaises discriminations entre les décharges « intra-nuage » et « nuage-sol » et l'erreur commise sur l'estimation du courant d'arc. La détermination de ces paramètres n'est pas simple car il est impossible, dans la plupart des cas, de connaître le nombre réel d'éclairs qui se produisent lors d'un orage et encore moins leur position exacte à grande échelle. Plusieurs techniques permettent de déterminer avec précision ces paramètres : le déclenchement des éclairs à l'aide de roquettes reliées à un système de mesure de courant au sol par un fil conducteur, ou des tours instrumentées qui initient principalement des éclairs ascendants. Leur principale limitation réside dans le fait que les performances sont mesurées en un seul point. Des techniques complémentaires utilisant des vidéos rapides et des mesures du champ électrique permettent de calculer l'efficacité de détection à grande échelle. De nos jours, les réseaux de localisation LF commerciaux affichent une efficacité de détection supérieure à 90 % pour les éclairs nuage-sol, 80 % pour les arc-en-retour qui les composent et de l'ordre de 30 à 50 % pour les décharges intra-nuages. La précision de localisation est inférieure à 250 m, l'erreur de discrimination sur le type d'éclair de l'ordre de 10 % alors que l'erreur sur l'estimation du courant dans les arcs subséquents négatifs est de 14 % en moyenne. A titre d'exemple, le réseau français de détection de la foudre opéré par Météorage affiche une efficacité de détection de 97 % pour les éclairs nuage-sol avec une précision de localisation médiane inférieure à 100 m. Pour les réseaux de localisation des éclairs en VHF, l'efficacité de détection des éclairs est 100 % avec une pré-

sion de localisation de l'ordre de 10 à 30 mètres.

L'utilisation de l'information foudre

La donnée foudre est typiquement ce que les météorologues appellent une donnée observée, elle décrit un évènement. Contrairement à la température ou à la pression, elle ne mesure pas un paramètre continu et elle ne permet pas de réaliser une prévision. Les modèles qui tournent sur les calculateurs des centres météorologiques peuvent prévoir les orages, avec des délais de quelques heures, mais pas la localisation des impacts de foudre.

Une autre caractéristique de la donnée foudre est qu'elle indique l'occurrence d'un phénomène qui est toujours dangereux. Le risque foudre provient de l'énergie transférée par chaque impact de foudre au sol, celle-ci va provoquer des brûlures, des incendies, des explosions qui représentent un danger pour les personnes comme pour les infrastructures. De plus, l'éclair induit des courants dans les conducteurs métalliques à proximité produisant des surtensions dans les réseaux filaires, des différences de potentiel entre les lignes électriques et de télécommunications ce qui endommage les équipements.

Une information précise et actualisée sur l'occurrence des impacts de foudre permet de réduire les conséquences de ces phénomènes à condition d'établir les mesures de protection adaptées.

Malgré la complexité du phénomène physique de décharge et la difficulté de réaliser une mesure indirecte qui soit précise, les enjeux liés à la sécurité des personnes et des biens et l'exigence croissante de continuité de service ont conduit à développer l'usage de l'information foudre grâce à quatre approches qui correspondent à des temporalités différentes :

- l'analyse statistique sur une longue période ;
- l'analyse ponctuelle d'un incident ;
- le suivi en temps réel de la situation ;
- l'anticipation de la trajectoire d'un orage.

Ces approches sont mises en œuvre dans des secteurs aussi divers que le transport et la production électrique, l'industrie, les activités de loisirs, les ports et aéroports, etc.

Optimisation du schéma de protection

Pour tout opérateur d'un réseau d'infrastructure, qu'elle soit routière, de télécommunication ou de transport d'électricité, se pose la problématique de la protection contre le risque foudre de l'ensemble des installations. Il faut idéalement protéger chaque site et toutes ses connexions, ce qui peut représenter des centaines de nœuds et des milliers de kilomètres de lignes. On est donc confronté au besoin de prioriser le déploiement des schémas de protection, et pour cela il convient de prendre en compte l'importance du foudroiement selon les régions. Cette nécessité est retranscrite dans les normes qui définissent des niveaux de protection différents en fonction de la densité de foudroiement mesurée. Les impacts de foudre ont tendance à provoquer le vieillissement des appareils de protection et il convient donc de vérifier voire de remplacer ces équipements selon leur exposition au foudroiement. Certains opérateurs réalisent des campagnes annuelles pour comparer le niveau de foudroiement auquel a été soumis leur matériel avec les défauts enregistrés. Ceci permet d'une part de s'assurer que les protections ont bien fonctionné et ont permis de limiter les incidents, et d'autre part de prioriser le remplacement des protections qui ont été le plus agressées pour maintenir le parc correctement protégé.

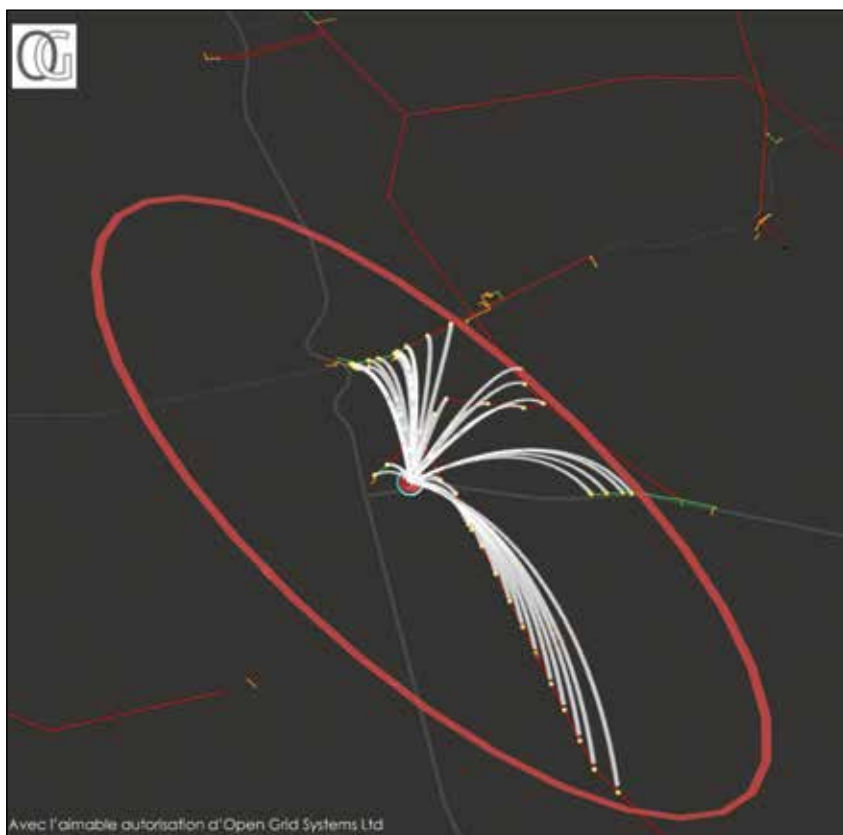


Figure 4 : Corrélations entre impacts de foudre et incident sur un réseau électrique.

Diagnostic post mortem ou ex-ante

L'accès à distance à une base de données des coups de foudre enregistrés permet aux utilisateurs de vérifier l'origine d'un sinistre, de diagnostiquer les raisons d'une panne et d'organiser les opérations de maintenance nécessaires. Le niveau de performance des réseaux de détection foudre commerciaux actuels autorise une prise de décision simple et sans ambiguïté. Ceci se révèle important pour l'arbitrage de litiges devant les tribunaux ainsi que dans le traitement des demandes de remboursement des dégâts par les assurances. Par ailleurs, le traitement entièrement automatique des données permet une mise à disposition rapide de l'information et garantit l'intégrité des données enregistrées.

Les services d'accès à la base de données foudre aident également les opérationnels à diagnostiquer les pannes qui affectent leurs infrastruc-

tures, afin de réduire les durées de coupure par l'intervention rapide et ciblée des équipes de maintenance avec des pièces détachées correspondant à la panne identifiée. Un aboutissement de cette démarche consiste à automatiser la corrélation entre incidents et impacts de foudre, par exemple en croisant les alertes remontées par les SCADA avec les impacts localisés à proximité des ouvrages. On parvient ainsi à qualifier systématiquement les incidents et à lancer les procédures correctives de type réenclenchement. Une étude réalisée à partir des incidents sur le réseau d'Enedis en 2015 montre un taux de corrélation de 86 % entre les incidents et les éclairs et une distance médiane inférieure à 100 mètres.

La figure 4 représente un point d'impact (en rouge) et son ellipse de précision. Les lignes blanches sur cette figure représentent les possibles impacts sur le matériel de la ligne électrique per-

mettant de diligenter une visite ciblée de contrôle.

Une autre utilisation de la base de données foudre consiste à organiser des opérations de maintenance préventive à partir des relevés d'impacts sur un site. On sait en effet que si tous les impacts de foudre ne donnent pas lieu à des coupures de service immédiates, certains vont provoquer le vieillissement des matériaux ou initier un dégât qui va s'amplifier avec le temps. La réception de rapports quotidiens de foudroiement permet de lancer l'inspection des équipements au plus vite et donc de diminuer les coûts de réparation et d'optimiser le maintien en condition opérationnelle. Par exemple une application classique de la donnée foudre par le secteur éolien consiste à vérifier visuellement les pâles après un orage. Ceci permet d'entreprendre des réparations sur des dégâts de petite taille, avant que la pale ne doive être remplacée. Ce service aide à planifier les interventions de réparation à un moment opportun plutôt que d'avoir à arrêter une éolienne en urgence.

Visualisation et alerte

La détection foudre est un processus qui se déroule en temps réel et permet de fournir en une dizaine de secondes une information précise et validée. Cette caractéristique de la donnée foudre peut être prise en compte pour mieux gérer le risque en particulier pour les opérateurs nationaux dont le territoire est couvert par des réseaux de détection étendus qui fournissent une information homogène.

Parmi les premiers bénéficiaires de cette couverture étendue, on trouve les services de prévision météorologique pour qui la donnée foudre complète les observations des radars et des satellites. Cette information précise et continue permet à la fois de « boucher les trous » des systèmes fournissant des données

périodiques et de fournir une observation au-delà de la portée des radars. Le rafraîchissement rapide des écrans est crucial pour la prévision immédiate et plus particulièrement pour la prévision aéronautique.

Ces qualités permettent aussi aux opérateurs de réseaux de transport d'énergie de mieux gérer les situations orageuses. L'impact de la foudre sur les grands réseaux de transport électrique est tel que certains opérateurs ont déployé leur propre réseau de détection foudre ; la tendance actuelle est plutôt à l'achat de données ou de services à un opérateur commercial, pour répondre au même besoin. Il s'agit de configurer le réseau afin qu'il résiste au mieux au phénomène orageux, foudre mais aussi coups de vents voire précipitations importantes. Pour cela on va désigner certains ouvrages pour avoir la plus grande capacité de réaction et d'adaptation, on va informer les équipes de maintenance de l'imminence des risques afin qu'elles puissent réagir au plus vite, et on va aussi partager avec les fournisseurs et les grands consommateurs (distribution ou clients industriels) une information indépendante qui permet de comprendre la situation et de mieux la supporter.

La dernière approche qui permet de tirer parti de l'information foudre consiste à anticiper l'arrivée d'un orage sur un site donné, afin de mettre en place des procédures qui renforcent ponctuellement sa sécurité. Il peut s'agir d'un aéroport sur lequel on va interdire les décollages et les mouvements de personnel au sol ; ou bien d'un site industriel qui va baisser sa cadence de production ou se déconnecter du réseau électrique et utiliser des groupes électrogènes ; il peut s'agir aussi de toute activité en extérieur dont le personnel sera mis à l'abri dans des bâtiments en dur. La couverture étendue des réseaux de localisation des éclairs permet de voir venir un front orageux avant qu'il n'atteigne le site. La

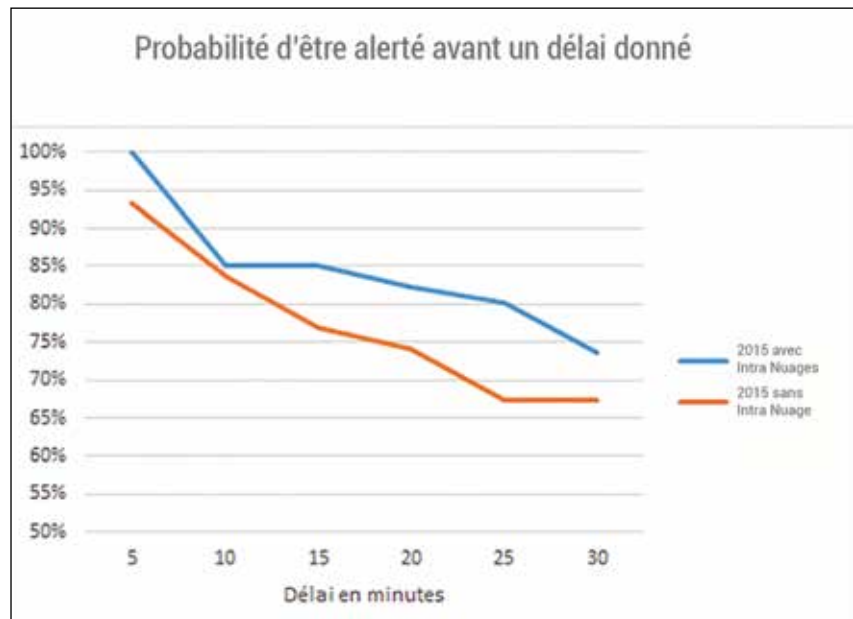


Figure 5 : Performances d'une alerte foudre – Probabilité d'avertissement en fonction du délai.

vitesse de déplacement d'un front est de l'ordre de 50 km/h ce qui donne un délai de quelques dizaines de minutes pour mettre en place les règles de sécurité. Pour ces applications, on met sous surveillance le site opérationnel et on déclenche une alerte sur un seuil de foudroiement à proximité du site. Le système de diffusion des alertes garantit que les messages sont bien reçus mais il faut avoir défini les procédures au préalable pour qu'elles soient appliquées efficacement avant l'arrivée de l'orage.

Le graphique de la figure 5 indique la probabilité de recevoir un message d'alerte avec un délai donné. Il montre les performances actuelles du service et met en évidence les évolutions de la technologie qui, en intégrant les éclairs intra-nuage, permet de gagner jusqu'à 10 minutes de préavis.

Bilan et perspectives

30 ans après l'installation des premiers réseaux de localisation des éclairs, notamment en France, un bilan de leur apport sur deux points fondamentaux peut être dressé.

La première innovation de rupture fut certainement de délivrer une infor-

mation fiable du foudroiement sur le territoire grâce à une mesure précise de l'activité électrique au sol. Le remplacement des méthodes traditionnelles par un système d'observation automatique a permis de mieux spatialiser l'activité et d'analyser la dangerosité grâce à la prise en compte du courant crête dans les décharges. En effet, ces méthodes consistaient à évaluer le risque par le biais du « niveau kéraunique » uniquement basé sur le nombre de jours où des observateurs entendent le bruit du tonnerre. Désormais, on sait que si la région Bretagne est quelque dix fois moins foudroyée que PACA avec une moyenne de 0,25 impact au km²/an, les valeurs de courant y sont plus importantes avec un impact sur cinq qui atteint des valeurs supérieures à 50 kA contre un sur quinze en moyenne en France. A partir de ces informations, les acteurs de la protection contre la foudre peuvent mener des études plus pertinentes pour protéger les installations sensibles.

Le deuxième apport majeur, fut de permettre de prévenir efficacement un risque imminent afin de renforcer la sécurité d'un site, qu'il soit industriel

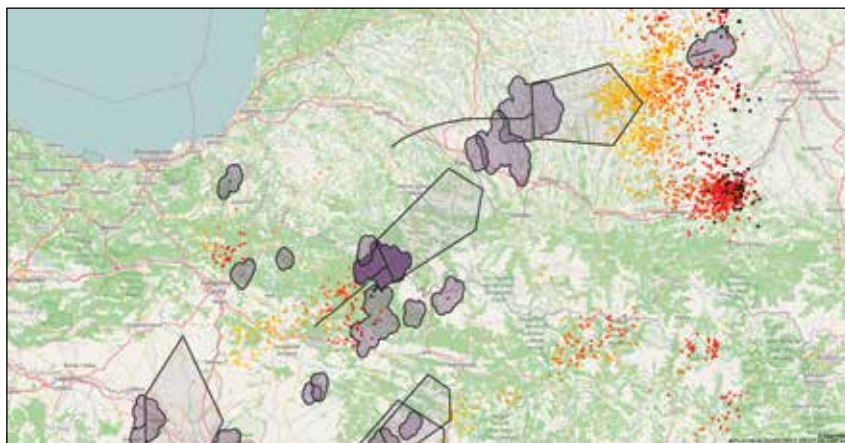


Figure 6 : Représentation de cellules orageuses et estimation de leur déplacement à 1 heure.

ou recevant du public. Aujourd'hui on peut alerter un site avec un délai pouvant être supérieur à 30 minutes, là où la limitation de la portée des instruments locaux ne garantit pas forcément ces niveaux de préavis pour la mise en œuvre des procédures de sécurité. De plus, il devient possible de renforcer la protection du public dans des activités de plein air comme le camping, le sport en extérieur et la randonnée.

Si on peut se féliciter de ces avancées, de nouvelles perspectives sont également envisageables, d'une part grâce aux évolutions technologiques des réseaux de localisation des éclairs, mais également aux apports des technologies numériques. Ainsi, des travaux récents de recherche montrent qu'il est désormais possible d'anticiper la sévérité des orages et leur déplacement à une heure par l'analyse de l'évolution de l'activité électrique (phénomène de 'Lightning Jump'). Les gains attendus

sont nombreux : adapter les mesures de protection, voire maintenir son activité professionnelle en monitorant au plus près le déplacement de l'activité électrique.

De plus, la généralisation de la géolocalisation dans les applications mobiles rend possible la mise en sécurité des équipes d'intervention itinérantes (travaux sur éoliennes, chantiers, maintenance des réseaux...).

Ces exemples sont loin d'être exhaustifs mais permettent certainement de se faire une idée plus précise de l'intérêt de la détection de la foudre, et des perspectives pour les années à venir.

À l'image de la France qui fut pionnière à l'échelle de la planète en installant un réseau national dès 1987, de nombreux réseaux professionnels et amateurs sont apparus ces dernières années, surveillant inlassablement cette activité inépuisable qu'est la foudre et qui frappe notre planète 365 jours par an.

LES AUTEURS

STÉPHANE SCHMITT est membre des comités de normalisation français et internationaux sur la protection contre la foudre et est notamment impliqué dans les travaux relatifs aux systèmes d'avertissement d'orage. Titulaire d'un master en sciences de gestion obtenu à l'université de Bordeaux, il a intégré Météorage en 2002 et est actuellement responsable du service Marketing.

STÉPHANE PÉDEBOY est diplômé d'un master de l'ESTIA et d'un master en management d'entreprise de l'ESC Pau. En 1996, il a intégré Météorage pour prendre en charge la gestion du réseau national de localisation des éclairs. Depuis 2012, il a la responsabilité du département technique de Météorage. Impliqué dans plusieurs projets de recherche internationaux, il est aussi membre de groupe TC81 de l'International Electrotechnical Commission (IEC).

MARC BONNET est Ingénieur INSA Lyon (1979). Il a rejoint Météorage en 1988, d'abord pour gérer les développements logiciels puis comme directeur technique. Il est vice-président Export depuis 2008.