

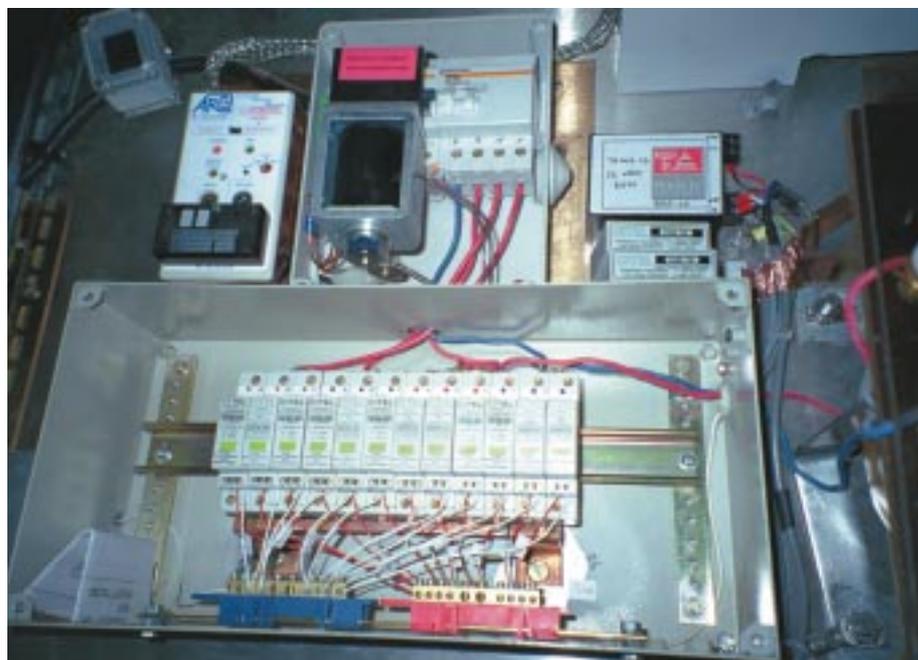
Faute de pouvoir bénéficier d'une prise de terre, l'installation autonome de mesure météorologique de l'Aiguille du Midi dispose d'une protection foudre sans terre. Il s'agit là d'une mise en œuvre originale, dans un environnement sévère, aujourd'hui adoptée pour bon nombre d'équipements techniques de Météo-France. Un concept cependant réservé à des installations qui répondent à plusieurs conditions.

En 1988, dans le cadre du projet "jeux Olympiques d'Albertville", Météo-France décide de réimplanter un point de mesure météorologique au sommet de l'Aiguille du Midi. Cette station de mesure, contrairement aux précédentes installations (les premières datent des années 1960), doit être interrogeable à distance et si nécessaire pouvoir fournir les données en temps réel, à la demande. Les précédentes expériences malheureuses de Météo-France sur ce site incitent pourtant à la prudence dans la mesure où, en 1985, une ancienne station de mesure fonctionnant par radio et en temps différé est fortement endommagée après un coup de foudre incendiant l'ancienne plate-forme de l'Aiguille.

Le matériel est cependant réinstallé en 1989, et déjà en 1990, après une première année de "fonctionnement" très intermittent, le constat est alarmant :

- beaucoup de casse matérielle due à la foudre (environ 30 kF/an et parfois plus), principalement les fonds de paniers, les cartes mères, les cartes convertisseurs analogique/numérique, les cartes d'interfaces et autres modems téléphoniques ;

Foudre : une protection sans terre



Après une expertise sur site, le nouveau matériel installé n'a fait l'objet d'aucune interruption d'activité.

- l'absence de continuité dans les données (seulement 10 à 15 % des données récupérées sur une année, ce qui est très peu) ;

- beaucoup de temps de réaction du fait que le centre de maintenance est basé à Lyon, c'est-à-dire à 270 km ;

- l'absence sur le site, inaccessible surtout en hiver et pendant de longues périodes, d'une alimentation en énergie fiable ;

- des conditions climatiques très difficiles du fait de l'altitude, du froid et des problèmes de givrage très importants.

Situé à une altitude de 3 842 m, au sommet de l'Aiguille du Midi et surplombant la vallée de Chamonix, le point de mesure météorologique de Météo-France présente effectivement des caractéristiques défavorables quant à son expo-

sition à la foudre. Plusieurs raisons à cela :

- il s'agit d'un site de petite surface très régulièrement frappé par la foudre ;

- la station météo électronique est raccordée à un groupe électrogène et à un central téléphonique, distants chacun d'une cinquantaine de mètres ;

- capteurs et panneau solaire se trouvent placés à l'extérieur ;

- la proximité d'émetteurs radio de fortes puissances ;

- et enfin, l'absence de prise de terre.

Ainsi, l'électronique peut être détériorée par la foudre selon deux schémas :

- d'une part, suivant la différence de potentiel pouvant apparaître entre deux bâtiments communiquant entre eux par des câbles : ici la station météo, le groupe électrogène et le central téléphonique constituent trois bâtiments différents ;

– d'autre part, suivant la surtension apparaissant aux bornes des cartes de communication par l'action du champ magnétique du courant de foudre (même à l'intérieur d'un bâtiment).

Afin d'éviter toute détérioration, il faut donc adopter les dispositions générales suivantes :

– fermer les boucles entre masses, en raccordant les blindages à leurs deux extrémités aux châssis des équipements électroniques, pour lutter contre les effets du champ magnétique ;

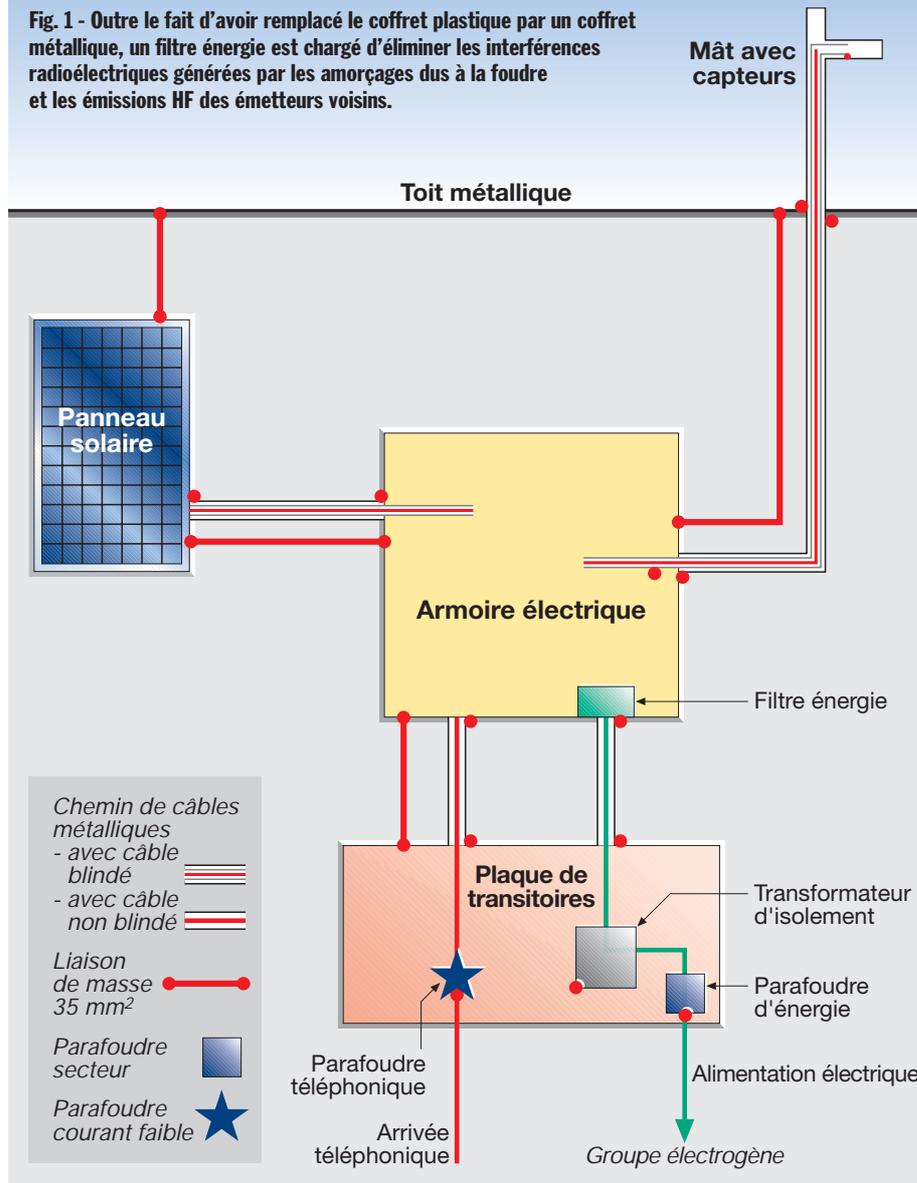
– mettre en place des parafoudres sur tous les câbles d'un équipement qui sortent du bâtiment où il se trouve, pour limiter les effets d'une différence de potentiel par rapport à une terre lointaine. Ainsi, il est nécessaire de placer des parafoudres sur l'alimentation électrique des équipements sur les lignes de données. Dans le cas de la station météo, est à craindre l'effet d'une différence de potentiel de sol entre la station électronique et le groupe électrogène, et entre la station électronique et le central téléphonique. A craindre également, l'effet du champ magnétique sur les câbles reliant les capteurs, ainsi que les chocs directs. De plus, il s'avère impossible d'écouler les courants de foudre par une prise de terre.

Rappelons que la foudre comporte une composante basse fréquence ainsi qu'une composante haute fréquence, voisine du mégahertz, ce qui explique la nécessité de mettre en œuvre des règles tenant compte des hautes fréquences, qu'il faudra appliquer pour le câblage des parasurtenseurs et le raccordement des blindages.

D'abord filtrer

La protection de cette station, très fréquemment endommagée par la foudre, a d'abord consisté à remplacer le coffret plastique par un modèle métallique équipé d'un filtre secteur chargé d'éliminer les interférences radioélectriques générées par les amorçages dus à la foudre et les

Fig. 1 - Outre le fait d'avoir remplacé le coffret plastique par un coffret métallique, un filtre énergie est chargé d'éliminer les interférences radioélectriques générées par les amorçages dus à la foudre et les émissions HF des émetteurs voisins.



émissions hautes fréquences des émetteurs voisins. Ce filtre n'évite pas les destructions, mais seulement les dysfonctionnements aléatoires dus aux transitoires de l'alimentation électrique (un ascenseur est très proche), aux émetteurs HF voisins et rayonnement HF des parafoudres à gaz des lignes téléphoniques. En effet, l'inté-

rêt de ces derniers réside dans leur fort pouvoir d'écoulement (5 kA), mais leur amorçage génère un front raide dont la fréquence équivalente est de l'ordre de 70 MHz.

Les parafoudres : entre conducteurs actifs et masse

Un parafoudre se raccorde d'abord au châssis de l'équipement qu'il doit protéger. Châssis raccordé lui-même à la terre, dont la valeur n'a pas d'importance pour la protection électromagnétique (contrairement à une légende tenace). Même en absence de terre, un parafoudre est efficace puisqu'il limite la tension entre les conducteurs actifs et la masse de l'équipement. La démonstration en a été faite par France Télécom, lors d'essais de foudroiements sur le site expérimental à Saint-Privat-d'Alliers. Les accès élec-

PERSPECTIVES Applications chez Météo-France

Les résultats de cette installation prototype sont d'ores et déjà mis en application à Météo-France et font l'objet, au travers d'un groupe de travail spécifique, d'un déploiement à l'échelle nationale touchant toutes les installations techniques telles que les radars, les infrastructure des centres départementaux de la météorologie,

les stations de mesure, les réseaux informatiques... D'ailleurs, une formation spécifique est dispensée à l'École nationale de la météorologie de Toulouse. C'est dire que les problèmes de foudre et de CEM sont aujourd'hui totalement intégrés à tous les efforts touchant les installations techniques de Météo-France.

triques et téléphoniques ont été équipés de parafoudres reliés à une tôle de référence de potentiel, afin de réduire l'impédance commune sur les transitaires, entre l'alimentation électrique et la ligne téléphonique. Un transformateur d'isolement sur la ligne électrique a été ajouté par mesure de sécurité afin d'éliminer les tensions résiduelles des parafoudres.

L'efficacité des parafoudres dépend essentiellement de leur câblage. Un facteur important est effectivement de les raccorder par des liaisons aussi courtes que possible à la masse (moins de 50 cm), et de ne pas créer d'impédance commune sur les conducteurs actifs en procédant toujours à un câblage série : par exemple dans le cas d'un parafoudre parallèle pour l'alimentation, il faut que le conducteur arrive et reparte du parafoudre pour alimenter l'équipement. Il ne faut pas raccorder le parafoudre par une dérivation sur l'alimentation électrique.

Concernant l'alimentation électrique, ont été installés des parafoudres à varistances avec signalisation d'ouverture de la va-

ristance en cas de surcharge. Afin d'éliminer les résiduelles, un transformateur d'isolement (de rigidité diélectrique 8 kV) a été placé sur l'installation électrique (on peut penser maintenant qu'il n'était pas nécessaire).

Pour la protection des lignes téléphoniques, des parafoudres à double étage en mode commun ont été choisis : ils sont dotés d'un étage à éclateur à gaz suivi d'une impédance et d'un étage également en mode commun à diodes transils. Ces diodes présentent le gros avantage d'avoir une fin de vie en court-circuit, ce qui fait que l'installation est toujours protégée, même lorsque la protection est hors d'usage. En contrepartie, elle n'est plus fonctionnelle, mais elle le sera à nouveau après remplacement de sa protection. Pour réduire l'impédance commune qui pouvait subsister entre eux, les parafoudres de la ligne téléphonique et ceux de l'installation électrique ont été raccordés à une même tôle.

Depuis quatre ans, outre le fait qu'il n'y a eu aucun dégât ni dysfonctionnement dus à la foudre, il a été constaté que les pa-

rafoudres ne vieillissent pratiquement pas, malgré leurs sollicitations fréquentes. Pourquoi ? Cela s'explique par le fait que le vieillissement est imputable à l'écoulement de courants énergétiques et non pas à la valeur crête du courant. Or l'absence de prise de terre électrique ne permet pas d'écouler l'énergie, les parafoudres ne font que charger la capacité parasite qui existe entre le châssis de l'appareil électronique et le bâtiment.

Et les blindages ?

Le raccordement idéal du blindage d'un câble de données consiste à assurer un contact à 360 degrés entre le capot métallique du connecteur et le blindage. C'est en raccordant le blindage à la masse à ses deux extrémités qu'il sera efficace contre les parasites, les décharges électrostatiques, le champ magnétique de la foudre et les émetteurs hertziens. Les liaisons entre la station électronique, la tôle de référence de potentiel, le panneau solaire, et les capteurs ont été blindées et placées dans des chemins de câbles métalliques

INSTALLATION

Comment une protection sans terre est-elle possible ?

L'absence de mise à la terre dans une installation tout en assurant la protection contre la foudre doit être considérée comme un cas exceptionnel justifié par des conditions locales spécifiques de la situation particulière de l'installation.

Dans le cas de la station de l'Aiguille du Midi, l'absence de mise à la terre peut se justifier pour les raisons suivantes :

- difficulté sinon impossibilité de réaliser une prise de terre de valeur acceptable dans des conditions économiques raisonnables (nature de la roche, distance de la nappe phréatique...);
- absence totale de réseau d'alimentation électrique ou téléphonique, l'énergie électrique étant fournie par un groupe électrogène local et les transmissions d'information s'effectuant par des liaisons radio.

La protection de l'installation est alors assurée par une équipotentialité de toutes les masses et de tous les éléments conducteurs du site. Cette équipotentialité est satisfaisante du point de vue de la compatibilité électromagnétique.

Du point de vue de la protection des personnes contre les contacts indirects, cette équipotentialité et l'absence de prise de terre permettent de considérer qu'il s'agit d'une application de la mesure

de protection par liaisons équipotentialités locales non reliées à la terre, définie par l'article 413.4 de la norme NF C 15-100.

Cette mesure de protection, qui figurait dans le décret de protection des travailleurs du 14 novembre 1962, n'a pas été reprise dans le décret du 14 novembre 1988, en raison du manque d'application pratique. Dans une telle situation, on peut se poser la question de savoir si l'installation de parafoudre est nécessaire et quelles surtensions ils peuvent protéger.

En effet, le principe même de l'équipotentialité est de supprimer toute différence de potentiel entre les éléments auxquels elle est associée. Parmi ces éléments, figure nécessairement le conducteur neutre de l'installation électrique qui, alimentée par un groupe électrogène, est réalisée suivant le schéma TN.

Du fait de l'absence de réseau de distribution, des surtensions induites par des coups de foudre à proximité ne peuvent pas se produire et affecter les matériels de l'installation électrique.

Un raisonnement analogue a conduit les bureaux d'études des installations du Stade de France à n'installer aucun parafoudre malgré la présence de paratonnerres. L'équipotentialité réalisée entre les masses des installations à basse tension et

les masses à haute tension, les éléments conducteurs et les conducteurs neutres des installations réalisées en schéma TN garantit l'absence de différences de potentiel dangereuses pour les matériels et les équipements électriques.

Si l'expérience réalisée à l'Aiguille du Midi est intéressante du point de vue de la compatibilité électromagnétique, il ne faut pas la considérer comme susceptible d'être préconisée lorsque des installations sont soumises à des perturbations dues à la foudre.

L'absence de mise à la terre des masses de l'installation et des liaisons équipotentielle n'est acceptable que si les conditions suivantes sont simultanément remplies :

- impossibilité de réaliser une prise de terre dont la résistance ait une valeur acceptable ;
- aucune alimentation par un réseau de distribution extérieur ;
- aucune liaison conductrice avec des éléments extérieurs à la zone intéressée par l'équipotentialité.

En pratique, cette solution nécessite une alimentation par source locale telle qu'un groupe électrogène et que toutes les liaisons s'effectuent par voies hertziennes.

C. R.

● *Bien qu'elle se soit manifestée de nombreuses fois, la foudre n'a plus causé aucune dégradation.*

afin de se protéger du champ magnétique. Ces chemins de câbles métalliques sont raccordés aux masses à leurs deux extrémités, faute de quoi leur effet réducteur en hautes fréquences serait nul. Les masses métalliques extérieures (mâts des capteurs, panneau solaire) ont quant à elles été raccordées aux chemins de câbles métalliques pour limiter l'effet des chocs directs.

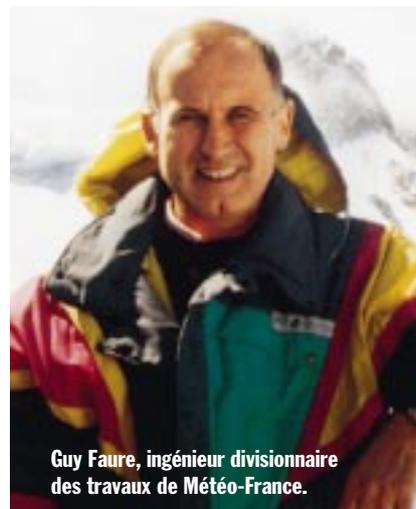
A propos des chocs directs, le toit en terrasse comportant un revêtement métallique a été raccordé aux équipements extérieurs (panneau solaire, mât de capteurs) afin d'éviter les amorçages sur ces équipements. Les chemins de câbles métalliques ont été doublés par un conducteur de 35 mm² afin de mieux évacuer la composante basse fréquence d'un choc direct.

Implantée au sommet de l'Aiguille du Midi, dans les Alpes, la station météo et ses capteurs culminent à 3 842 m d'altitude.



DÉCISION Sauvée de justesse

Constatant les nombreux problèmes dont souffre la station pendant les périodes estivales, les jeux Olympiques d'Albertville terminés, Météo-France envisage sérieusement de supprimer ce point de mesure trop difficile à maintenir. Cependant en 1993, après une formation, Guy Faure, ingénieur divisionnaire des travaux de Météo-France, chef de la division installation et maintenance de la région Centre-Est, suggère de faire un dernier essai en appliquant les règles de base de la CEM. « Une expertise du site et un schéma de principe de l'installation ont conduit à la préparation (dans les ateliers du Centre météorologique de Bron), du nouveau matériel qui fut installé en trois jours, en juillet 1994. Une contre-expertise a permis de valider le travail réalisé par les techniciens de Météo-France, et de s'assurer surtout que la mise en œuvre était correctement réalisée. Depuis lors, incontestablement et sans aucune interruption d'activité, le fonctionnement de l'installation se passe de commentaires. »



Guy Faure, ingénieur divisionnaire des travaux de Météo-France.

Depuis cette date en effet, Météo-France récupère 90 à 95 % des données, une fois réglés certains problèmes dus au givrage et au froid intense régnant sur le site. A titre anecdotique, pendant l'hiver 1997-1998, le vent a soufflé 6 fois, sur des périodes de plusieurs heures, à plus de 180 km/h, en dépassant parfois 190 km/h !

Plus aucune dégradation d'origine foudre

Bien que toutes ces masses ne soient raccordées à aucune terre, la station n'a eu aucun défaut à déplorer depuis le 23 août 1994, date de la remise en service officielle, ni aucune dégradation ayant une origine foudre, bien que celle-ci se soit manifestée de nombreuses fois. Si ces préconisations simples à mettre en œuvre assurent une excellente immunité aux perturbations électromagnétiques, c'est parce qu'elles répondent aux lois physiques élémentaires de l'électronique : seule compte l'équipotentialité entre la masse et les "points chauds" de l'électronique. De plus ces règles de protection électromagnétique vont dans le sens de la sécurité des personnes. « Aussi, le matériel a passé quatre étés sans aucune destruction ce qui, sur un tel site, s'avère très significatif. Même la liaison téléphonique n'a fait l'objet d'aucune interruption depuis que France Télécom a tiré un feuillard d'accompagnement entre ses installations et notre station météo. Etant donné que l'investissement de départ avoisinait 100 kF, on peut déjà affirmer qu'il est largement amorti, pour une valeur de matériel installé de

70 kF environ, souligne Guy Faure. L'investissement dépasse la valeur du matériel installé, ce qui peut paraître lourd pour d'autres situations à traiter. Cependant, il faut savoir que ce site a été choisi principalement en raison du risque foudre, pour prouver que l'on pouvait se protéger efficacement même dans des environnements électromagnétiques et kérautiques très difficiles. Dans des conditions normales, l'investissement à prévoir ne dépasse pas 5 à 10 % du budget global. »

Actuellement, les techniciens de Météo-France interviennent une fois par an pour échanger certains capteurs et vérifier l'état de l'installation. Subsistent certains problèmes de givrage et de fiabilité électrique, indépendants des problèmes de foudre. ●

Gilles Delcourt
Guy Faure

Parmi les Guides pratiques J3E, une édition réalisée en partenariat avec Schneider traite des parafoudres. Pour en savoir plus, rendez-vous pages 18-19