

La foudre et les bateaux à voiles

Ewen M. Thomson

Department of Electrical Engineering
College of Engineering
University of Florida
Gainesville, Florida 32611

Sea Grant Project N° R/MI-10
Grant N° NA89AA-D-SG053

Juillet 1992

<http://www.thomson.ece.ufl.edu/lightning/SGEB17.html>
(trad: yves, 21 avril 2005)

Introduction

La vue d'un coup de foudre déchiqueté léchant l'horizon pas trop éloigné provoque sans aucun doute des pensées concernées dans l'esprit de beaucoup de marins. Peu agissent en réalité sur leurs pensées. Et très peu comprennent le phénomène assez bien pour agir avec assurance.

Les questions abondent - que fais-je si une tempête de foudre s'approche ou est sur moi ? Qu'est-ce qui arrive quand la foudre frappe un bateau ? Un système de protection de foudre aide-t-il ? Mais si j'installe vraiment un système de protection de foudre, est-ce qu'il n'attirera pas la foudre ? Comment installe-je un système de protection de toute façon ? D'autres questions touchent à la foudre elle-même - la foudre monte-t-elle ou descend-elle ? La lumière et le tonnerre apparaissent-ils en même temps ? Qu'est ce qui cause le tonnerre ? Pourquoi la foudre scintille-t-elle parfois ? Qu'est-ce qui décide si la foudre frappera un objet à terre ou sur l'eau ?

Dans ce Bulletin et dans le vidéo de la bourse maritime "la Foudre et des Bateaux à voiles" nous essayons de répondre à ces questions. Nous décrivons la physique de la foudre pour un niveau de l'homme de la rue, discutons comment un système de protection de foudre est supposé travailler et expliquons certains des détails techniques nécessaires pour l'installation correcte d'un système de protection. Un papier plus orienté technique est publié dans la littérature technique ("le papier de l'IEEE").

Orages

Du point de vue du marin, le mieux est d'éviter les orages . Il y a plusieurs techniques qui peuvent être employées pour reconnaître un orage en cours de développement et suivre à la trace celui qui se déplace dans votre direction. L'orage, ou le nuage de cumulo-nimbus, sont plus facilement reconnus dans ses phases de formation par son aspect "d'ouate" très marqué . Cela arrive parce qu'une quantité énorme d'énergie est libérée pour produire une convection puissante à l'intérieur et autour du nuage. Bien sûr, si l'orage se forme directement au-dessus de vous l'aspect ouaté ne sera pas perceptible, mais plutôt une couverture grise qui s'obscurcit lentement et produit finalement la pluie torrentielle, la foudre et des vents forts. Les premiers éclairs d'un orage n'atteignent typiquement pas la terre et peuvent être complètement invisibles pendant le jour. Une façon de déterminer ce qui se passe dans le secteur est d'utiliser un récepteur radio AM bon marché . (Note : Les radios FM ne sont pas aussi

efficace pour la détection de foudre.) Le crépitement caractéristique que nous appelons 'bruit statique' dans un récepteur AM est causé par la foudre. Un problème commun en été est qu'il y a trop de tempêtes dans la zone de réception radio, qui peut être de centaines de milles. Pour baisser la sensibilité de votre radio aux tempêtes éloignées, accordez-le à une station d'émission locale, ou, si le signal est trop fort, déréglez la légèrement. N'importe quel fort bruit statique peut alors être interprété comme un avertissement que les choses se mettent en place. Une fois qu'un orage commence à produire une foudre qui touche le sol (arc de terre), ceux-ci peuvent être utilisés pour localiser un orage. Une méthode pour identifier une course de collision est d'utiliser le compas de relèvement :: si le gisement de la foudre ne change pas, en moyenne, la tempête se dirige vers vous et il est temps de rectifier votre course. On peut utiliser une autre méthode efficace une fois le tonnerre audible en comptant le temps entre la lumière et le bruit du tonnerre. Puisque la lumière arrive presque instantanément et que le son du tonnerre se déplace à une vitesse de 1/5 de mille par seconde, cette durée divisé par cinq donne la distance à la foudre. Par exemple, si le tonnerre apparaît 30 secondes après que la foudre, le flash est 6 milles de distance. Voir la Figure 1. Notez que les dimensions de la cellule orageuse sont d'environ 10 milles et que les éclairs partent de n'importe où à l'intérieur de la cellule d'une hauteur d'environ 5 Milles. De plus, les canaux de foudre sont généralement inclinés et peuvent même sortir par le côté de la cellule (le classique 'éclair de ciel bleu'). Que les plaisancier sous-estime fréquemment ce danger vient de ceux dont le bateau a été touché, un commentaire typique étant qu'il n'y avait aucun orage dans le secteur juste avant que leurs bateaux soit frappés. D'autres signes de foudre imminente sont encore plus évident. Le feu de Saint-Elme et le grésillement des antennes de radio surgissent quand un bateau est dans un puissant champ électrique directement sous d'un nuage électrisé. Bien que la foudre puisse ne pas encore avoir commencé, sa présence dans le voisinage immédiat est extrêmement probable lorsque ces phénomènes électriques sont observés. Agissez comme si votre bateau était sur le point d'être frappé par la foudre, comme décrit ci-dessous.

Foudre

Le seul type de foudre qui doit concerner les marins est le flash de terre (arc de terre), puisque la foudre qui n'atteint pas la terre n'endommage pas les bateaux. On peut s'attendre à ce que des flashes de terre frappent annuellement de 4 - 20 % des bateaux à voiles amarrés en Floride. Les bateaux à voiles de croisière sont typiquement frappés au moins une fois dans leurs durées de vie. Le records en cours pour le nombre total de coups de foudre sur une même bateau simple est de cinq (dans Sarasota, Floride) et la répétition la plus élevée est de deux fois en dix secondes (océan Indien). Un arc de terre démarre d'une hauteur d'environ 5 milles au-dessus de l'eau, à l'intérieur d'une région de la cellule orageuse qui est chargé négativement. Le chemin, ou canal, qui au final raccorde cette charge négative au sol commence là. Au fur et à mesure de l'extension du canal vers le sol au cours de la phase de 'précurseur en escalier' (stepped leader) les charges négatives sont canalisées depuis le nuage dans un canal d'étincelle ('spark channel'). Quand l'extrémité du précurseur en escalier est à environ 30-100 pieds au dessus du sol, une autre étincelle, cette fois positivement chargé, est lancé depuis le sol. Une quantité massive est produite lorsque cette l'étincelle d'attachement positivement chargée rejoint le précurseur en échelle chargé. A cet instant le courant de foudre maximal est produit, pendant ' l'arc de retour ' (return stroke). Bien que culminant entre des dizaine de millier et des centaine de millier d'ampères, il dure seulement un millionième de seconde. Des courants plus durables de quelques centaines à quelques milliers d'ampères peuvent persister pour des temps beaucoup plus longs (à l'échelle courte du temps de la foudre) pendant ' un courant soutenu ' (continuing current). Ces courants durables sont responsables des grands effets d'échauffement et sont supposés être responsables des incendies de forêt. Après une pause courte, des précurseurs suivants peuvent restimuler le canal, suivi par d'autres arcs de retour et, occasionnellement, des courants ininterrompus. Un arc de terre typique est composé d'environ trois séquences précurseur/retour. La foudre semble fréquemment scintiller parce que chaque arc de retour éclaire le canal et l'intervalle de temps qui les sépare est suffisamment long pour être perçu par l'œil humain. L'arc de retour réchauffe le canal de

foudre à une température environ six fois celle du soleil. Cela conduit littéralement à une explosion de l'air environnant. Le bruit de cette explosion est le tonnerre qui semble durer beaucoup plus longtemps que la foudre, elle disparaît en moins d'une seconde, parce que le réseau des canaux de foudre couvre plusieurs milles. La vitesse du son est seulement environ 600 nœuds et donc le tonnerre provenant des parties plus éloignées du nuage arrive plus tard que celui provenant des parties les plus proches. La chose importante est que la lumière et le son sont produits en même temps puisqu'ils sont tous les deux causés par l'arc de retour.

Interaction de Foudre avec un Bateau à voiles

Attachement

Lors de son déplacement vers le bas le précurseur chargé négativement induit une charge positive sur le terrain en dessous. Quand l'extrémité du précurseur est à environ 30-100 yards du sol, la charge positive induite devient tellement concentrée qu'une nouvelle étincelle se forme à partir du sol, comme indiqué dans la Figure 2. Cette étincelle chargée positivement est le processus crucial en ce qui concerne l'attachement au bateau. Si elle démarre du bout du mât de bateau, alors la foudre frappe le mât. Malheureusement, il n'y a pas de technique scientifiquement acceptée pour empêcher la formation de cette étincelle. Quand bien même un dispositif serait efficace pour prévenir cette étincelle, ce ne serait pas une bonne idée de le monter en tête de mât puisque l'étincelle d'attachement peut tout aussi bien démarrer n'importe où ailleurs sur le bateau ou son équipage. La tendance de la foudre à frapper la tête de mât constitue un dispositif de sécurité, en ce qui concerne l'équipage.

Par conséquent, la protection contre la foudre veut dire minimiser les dégâts causés par la foudre en cas de coup de foudre, plutôt qu'empêcher un coup de foudre. En termes généraux, un bateau protégé est celui dans lequel il y a un chemin conducteur continu de l'eau jusqu'à la tête de mât. Le courant nécessaire pour alimenter l'étincelle initiale d'attachement passe à travers ce système de protection depuis l'eau. C'est-à-dire que le chemin que la foudre prend dans le bateau est forcé d'être celui des conducteurs du système de protection. Si ce chemin de conduite n'est pas continu, par exemple, dans un bateau qui n'est pas bien mis à la terre, cela fait peut de différence en ce qui concerne le sommet du mât. L'étincelle d'attachement débutera tout de même là comme si les charges positives s'y étaient concentrées. La différence est ce qui arrive là où le chemin conducteur, en l'occurrence le mât, se termine. Puisque le courant ne peut pas s'écouler du sol pour alimenter l'étincelle d'attachement en cours de croissance, une charge négative s'accumule à la base du mât et finalement fait arc vers la direction générale de l'eau ou vers un conducteur voisin. (Dans le cadre de cet exercice, les membres d'équipage constituent des conducteurs!) le résultat est une décharge électrique non maîtrisée entre le pied du mât et l'eau.

La conséquence de cet argument est que la probabilité que la foudre frappera un bateau ne dépend pas du fait que le bateau est bien ou mal relié à la terre. On trouve des appui à cela dans les expériences d'experts maritimes. Neuf experts maritimes en Floride, chacun ayant examiné plus de 200 bateaux à voiles au cours de sa carrière, ont rapporté qu'entre 2 % et 67 % (en moyenne 34 %) des bateaux ils ont examiné - toute causes confondues - avait un système de protection contre la foudre. Parmi les bateaux qu'ils ont examinés à la suite d'un coup de foudre, 0 % à 67 % (en moyenne 29 %) avaient un système de protection. Bien que les estimations individuelles varient largement entre experts, il n'y a pas de support pour l'argument présenté par quelques marins qu'ils ne devraient pas raccorder leur bateau à voiles parce que ça augmentera les chances d'être frappé par la foudre.

Arcs secondaires

Les données obtenues de marins dont les bateaux ont été frappés par la foudre sont compatibles avec le susdit scénario : les bateaux qui n'ont pas de système de protection subissent effectivement plus de dégâts. Le type d'eau, douce ou salée, est aussi important. Les dégâts sont beaucoup plus vastes pour des bateaux frappés par la foudre dans l'eau douce que pour des bateaux frappés par la foudre dans

l'eau de mer parce que l'eau douce est un bien plus mauvais conducteur . Par conséquent, il est beaucoup plus difficile de concevoir un système de protection adéquat pour des bateaux dans l'eau douce que pour des bateaux dans l'eau de mer. La figure 3 récapitule ces données pour un échantillon de 71 bateaux qui ont été frappés par la foudre. Les barres montrent les pourcentages de bateaux dans chaque catégorie fonction de l'ampleur des dégâts à la coque. Les quatre catégories portent sur des bateaux avec/sans systèmes de protection dans l'eau de mer/eau douce. Les index de dégâts indiquent la gravité des dégâts subis par la coque comme indiqué dans la Table 1.

Dans des bateaux avec un indice de dégâts de 2 ou plus, la foudre avait formé son (ses) propre(s) chemin(s) à travers la coque du bateau. Si un système de protection contre la foudre était présent il a mal fonctionné. Comme les statistiques le montrent, des systèmes de protection déficients sont très commun dans l'eau douce : 40 % des bateaux protégés dans l'eau douce ont éprouvé ce niveau de dégâts. La manière la plus probable étant par la formation de "arcs secondaires". Ceux-ci sont des étincelles qui se forment entre le système de protection contre la foudre et soit les conducteurs non mis à la terre soit l'eau. Essentiellement, dissiper un courant de foudre dans l'eau douce réclame un système de terre sous-marin beaucoup plus important que ce qu'on trouve d'habitude sur les bateaux 'protégés ". Ceci décrit plus en détail ci-dessous.

Les aspects Techniques du Système de Protection de Foudre

Vue d'ensemble

Bien que la protection contre la foudre doive être conçue bateau-par-bateau et idéalement installée pendant la fabrication, il y a trois considérations principales dans un bon système de protection : (a) la mise à la terre, (b) le réseau d'équipotentialité ('bonding') et; (c) la protection de l'électronique. Le système de mise à la terre est destiné pour fournir un chemin de conduite adéquat du point d'attachement (== de départ de l'arc retour) de la foudre, d'habitude la tête de mât, à un système de conducteurs dans l'eau, sans produire d'arcs secondaires. Le système d'équipotentialité protège l'équipage et est composé de conducteurs reliant entre elles les grandes pièces métallique pour que de grandes différences de potentiel ne puissent se développer entre eux. La protection de l'électronique maîtrise la tension de l'alimentation électrique et les tensions des capteurs par une combinaison de dispositifs de protection passagers et par des techniques de câblage soignées.

Mise à la terre

L'idée du système de mise à la terre est de découler le courant de foudre par un trajet prédéterminé tel qu'il ne emprunte pas de lui même de chemin explosif à travers la fibre de verre, le teck, les membres d'équipage, etc... La figure 4 montre ce qui peut arriver quand la foudre frappe un bateau de fibre de verre mal mis à la terre avec un mât d'aluminium. La foudre charge tout le gréement mais aucun chemin conducteur n'existe pour canaliser la charge vers l'eau. Le résultat est des arcs destructifs entre les parties inférieures du gréement, par exemple le pied de mât ou les cadènes, et l'eau. Partout où ces arcs empruntent de mauvais conducteurs (la coque en fibre de verre, les cloisons de teck, les passes-coques, porta-potties (chiottards ?), etc...) une chaleur suffisante est dégagée qui fait éclater le matériau contrariant, le transformant en un plasma agréablement conducteur qui est plus chaud que la surface du soleil.

Les composants du système de mise à la terre sont : (i) un terminal aérien au sommet du mât; (ii) des conducteurs de descente et; (iii) des conducteurs de mise à la terre (euh, à la mer) qui sont immergés sous l'eau ("des bandes de terre" ou "plaques de terre"). Le terminal aérien est le point où on suppose que la foudre démarre (attach ?) les conducteurs de descente conduisent le courant de l'aérien vers l'eau et les conducteurs de mise à la terre dissipent le courant dans l'eau sans formation d'arcs secondaires. D'habitude le mât en aluminium est raccordé pour faire partie du réseau de conducteurs de descente.

Sur un bateau à voiles avec une radio VHF, l'antenne de VHF en tête de mât sert d'habitude d'une

terminal aérien sacrificiel. En fait, un des premiers signes que la foudre a frappé un bateau est typiquement que les débris du matériau de l'antenne jonchent le pont. La présence d'une antenne de VHF ou d'autres capteurs de tête de mât chers fait qu'un terminal aérien dédié soit fortement désirable, bien que cela dégrade les performances de la VHD. Le sommet de ce terminal aérien devrait être suffisamment haut pour que l'angle entre lui et n'importe quel autre objet de tête de mât reste inférieur à 45 degrés. En d'autres mots le terminal aérien fournit 'un cône de protection' qui attire la foudre (ou, plus exactement, lance une étincelle d'attachement) vers lui plutôt que vers tout autre objet situé sous d'une surface conique dont il est le sommet et dont l'angle fasse 90 degrés.

Un mât d'aluminium est le conducteur de descente préféré, étant un bien meilleur conducteur que les étais en inox. Si le mât repose sur la cabine, un conducteur de descente est nécessaire pour connecter la base de mât aux bandes de terre. Utilisez au moins du cuivre de jauge AWG 4 avec de préférence des connexions bimétalliques cuivre/inox pour empêcher la corrosion galvanique. Alternativement, faites une connexion mécanique de qualité qui sera de plus brasée ou soudée pour améliorer le contact électrique et diminuer les risques de corrosion de contact, peignez ensuite avec une revêtement isolant. Un mât reposant directement sur la quille doit de la même façon être connecté au boulons de quille par un conducteur en cuivre d'au moins AWG 4.

Les bandes de terre en contact avec l'eau devront être connectées avec soin aux conducteurs de descente pour éviter la corrosion galvanique. Dans l'eau salée un unique conducteur de mise à la terre d'une surface d'un pied carré (0,1 m²) ou plus est généralement suffisant. À cet égard, une quille en plomb (lead keel) connectée au conducteur de descente par les boulons de quille est adéquate. Si le plomb est peint ou recouvert de fibre de verre des réparations mineures peuvent être nécessaires après un coup de foudre. Cependant, la peinture ou la fibre de verre ne mettent pas sérieusement en péril l'utilisation du plomb de quille comme plan de mise à la terre. Notez que ce système peut ne pas être efficace dans l'embouchure des rivières maritimes où une couche d'eau douce moins dense peut surmonter l'eau de mer. La situation dans l'eau douce est beaucoup plus compliquée dans la mesure où les tensions impliquées pendant un coup de foudre y sont environ mille fois plus élevées que lorsqu'il se produit en eau de mer. Une bonne base de départ est de mettre un fer plat (ou en 'D', c'est quoi ça, du 'D') de 3 mm x 20 mm (3/4 "x 1/8) en inox ou en cuivre (brass == cuivre ? bronze ? laiton ?) le long de la face extérieure de la proue du bateau. Raccordez le à l'étais, au pied de mât et au pataras par des conducteurs de descente en cuivre AWG 4. Cependant, ce n'est généralement pas assez. Il faudra aussi faire courir des bandes de masse à l'extérieur de la coque et proche des installations métalliques telles que des réservoirs à essence (gas tank ?), des tuyauteries de plomberie métallique (metal-cored plumbing pipes), le câblage, etc... Raccordez-y le système d'équipotentialité en utilisant des conducteurs de descente quasi verticaux. Sous aucun prétexte ces conducteurs de descente là ne doivent s'approcher de la coque (donc dans les parties verticales de la coque) sauf là où ils passent dans la coque pour se raccorder à la bande de base : autrement le conducteur peut causer un arc secondaire à travers la coque. Le moteur, l'arbre d'hélice et l'hélice devraient être considérés comme faisant partie du système de mise à la terre et raccordés de manière appropriée.

La façon par laquelle un bateau correctement mis à la terre réagit à un coup de foudre est illustrée dans la Figure 5. La charge de foudre qui s'écoule par le grément ne s'accumule pas au point où il se forme des arcs secondaires destructifs, comme c'était le cas pour un bateau mal mis à la terre. Au lieu de cela, il est déchargé dans l'eau sur une large zone. Plus la charge est répartie dans l'eau de manière régulière, plus faible est le risque d'un arc secondaire à travers la coque.

Réseau d'équipotentialité

La différence entre le système de mise à la terre et le système d'équipotentialité (bonding) est seulement un d'ordre de grandeur puisque les deux sont interconnectées et que tous les deux conduiront le courant pendant un coup de foudre. Alors que le système de mise à la terre est conçu pour gérer la totalité du courant de foudre, le système d'équipotentialité consiste principalement en des connexions horizontales entre les équipements métalliques pour empêcher l'apparition de différences de potentiel entre elles. Le système d'équipotentialité est une mesure destinée à protéger l'équipage et lui permettre

de travailler sur le bateau sans risques de chocs électriques. Cela peut arriver aussi bien de la foudre voisine que des coups de foudre directs. Des conducteurs d'un calibre plus faible que ceux utilisés dans le système de mise à la terre sont suffisant pour le le système d'équipotentialité, au minimum du cuivre AWG 8. Comme avec les conducteurs de descente les connexions doivent être faites de manière à réduire au minimum la corrosion galvanique. Les équipements métalliques qui doivent être raccordé au système d'équipotentialité (le texte dit "to the grounding system" ce qui est incohérent avec le reste), en utilisant autant que possible des connections horizontales et en évitant la proximité de la coque, sont les rails de fargue (euh ! toe rails c'est rail de fargue ?), les cadènes, des barres de gouvernail, les commandes moteur, les balcons avant et arrière, le pied des antennes, le fil de terre de l'électronique, etc.

Les illustrations de la Figure 6 montrent ce qui arrive à bord d'un bateau dote (illustration du bas) ou non doté (illustration du haut) d'un système d'équipotentialité lors d'un coup de foudre. Sur le bateau non équipotentialisé des tensions élevées se développent entre le mât, les cadènes, l'étai, le pataras, la roue, le poste de gouvernail, des rails de fargue, l'électronique, le câblage, les renforcements métallique de l'installation de plomberie, le moteur, etc. Ceci rend la manœuvre du bateau extrêmement dangereuse, même si la foudre ne frappe pas le bateau directement. Sur le bateau collé ces tensions sont contrariées par les conducteurs d'équipotentialité. Notez, cependant, que les champs magnétiques importants associés à un coup de foudre direct rendent l'idée de tensions contrariées inapproprié. Des tensions appréciables peuvent se développer entre les extrémités de longs conducteurs même si les conducteurs sont connectés ensemble à leur autre extrémité. Le gouvernail est une place particulièrement dangereuse par suite de sa proximité avec les commandes du moteur, la bôme, le poste de gouvernail et le pataras. L'homme de barre de la Figure 6 (en bas) ne sourirait pas s'il avait une main sur la barre et l'autre sur les commandes du moteur, par exemple. (Notez qu'il barre d'une main dans sa poche pour réduire au minimum le risque d'établir une connexion entre deux conducteurs portés à des tensions différentes. Ce n'est pas aussi sûr que de jeter l'ancre par dessus bord et d'aller en dessous !) Pour des postes tels que le gouvernail ou il y a d'habitude quelqu'un, il est crucial que les conducteurs d'équipotentialité soient tenus aussi courts et droits que possible.

Électronique

Des surtensions tueuses d'électronique peuvent apparaître sur les fils d'alimentation CC (courant continu), l'arrivée d'antenne, ou toute autre raccordement tel que le conducteur d'un capteur. Les pièces électronique sur un petit bateau à voiles qui est frappé par la foudre sont particulièrement difficile à protéger puisqu'il est impossible de détourner le courant de foudre à une distance appréciable de l'électronique. Cette difficulté et la nature multiforme ('pervasive') des dégâts affectant l'électronique, sont illustrées dans la Figure 7 qui montre les pourcentages de bateaux avec les dégâts d'électronique d'ampleurs différentes.

Dans ce cas il y a moins d'une distinction entre des bateaux frappé dans l'eau douce et ceux frappés dans l'eau de mer comme c'était le cas pour les dégâts de coque, mais la même tendance est évidente : les bateaux avec systèmes de protection frappés dans d'eau de mer se comportent mieux que les bateaux sans systèmes de protection frappés en d'eau douce. Plus remarquable, 96 % des bateaux ont subis des dégâts au moins à l'électronique. Apparemment un système de protection contre la foudre, comme installé sur les bateaux dans l'enquête, ne préserve pas nécessairement l'électronique. Notez que pour ces bateaux "la protection contre la foudre" a simplement signifié que le bateau était relié à la terre, et pas nécessairement doté un réseau d'équipotentialité et de dispositifs de suppression des transitoires, comme expliqué ci-dessous.

Pour protéger l'électronique, il faut plus que simplement écouler les courant vers la terre (l'eau) sans faire de trou dans la coque. En raison des tensions basses typiques de l'électronique maritime moderne, il suffit de quelques volts supplémentaires pour causer des dégâts d'envergure. Cependant, les techniques qui sont utilisées pour protéger des ordinateurs, la télévision par câble et les équipements de radio à terre peuvent aussi être utilisées dans les équipements CA et CC (AC et DC) du bord. Quelques

dispositifs sont aisément disponibles auprès magasins d'électronique. Les antennes de radio peuvent être protégées en utilisant le matériel conçu pour protéger la télévision câblée de la foudre (lightning arrestor) . Connectez la prise "terre" au réseau de mise à la terre anti-foudre. Des prise de protection contre les transitoires du courant alternatif ou des prises équipées de varistor MOV (metal oxide varistors (MOV) conviennent sur des bateaux, mais il faut connecter leurs plot "terre" au fil de terre du quai (le bleu ? le vert-jaune ?). Idéalement ce plot de "terre" devrait aussi être connectée à la mise à la terre de protection contre la foudre mais cette façon de faire peut provoquer des problèmes de courtants de terre dans les marinas. Quant à la protection de l'électronique CC, qui est probablement la plus importante, des dispositifs de protections contre les transitoires existent qui écrètent les tensions là ou l'équipement se raccorde au circuit d'alimentation. Ils sont disponibles auprès de sociétés comme General Electric ou auprès de distributeurs d'électronique en vente par correspondance. On peu les trouver sous le nom générique de "transient suppressor" et sont de types divers : varistor à oxyde métallique (MOV) , diode silicium à avalanche, diode zener de supreesion des surtensions. Il est important de placer ce dispositif de protection immédiatement à côté de l'équipement et chaque équipement doit avoir son dispositif propre. On peut encore réduire les surtensions qui apparaissent aux entrées DC en utilisant de paire torsadée comme fil d'alimentation, idéalement sous gaine conductrice connectée au système d'équipotentialité. L'idée générale est de réduire au minimum l'espacement entre le fil + et le fil - dans l'alimentation CC. Si un centre de contrôle principal existe, entourez-le d'une enceinte conductrice (faraday !) connectée au système d'équipotentialité. Les capteurs passe-coque sont particulièrement vulnérables. En raison de l'orientation typiquement verticale des câbles les raccordant à leur électronique principale, ils devraient être considérés comme étant le faisant partie du système de mise à la terre anti-foudre. Puisque les fils utilisés dans ces câbles sont d'un calibre insuffisant pour résister à un coup de foudre, un conducteur cuivre AWG 4 devrait courir le long de tout fils aboutissant à un capteur passe-coque. Une extrémité de ce conducteur de cuivre devrait être reconnecté au système de mise à la terre anti-foudre et l'autre extrémité devrait être raccordée à une bande de terre près du capteur sous-marin et sur l'extérieur de la coque.

Comme avec tous les aspects de la protection contre la foudre, on ne peut pas garantir l'efficacité à 100 %, même si toutes les mesures évoquées précédemment sont mise en oeuvre pour les systèmes d'électronique. Le débranchement de l'équipement avant une orage aide à l'isoler des surtensions induites par la foudre et plus grand est l'écart entre les parties débranchées mieux c'est. Préférez un débranchement plutôt que des commutateurs à couteau et préférez ces derniers aux boutons d'un panneau de commutateur.

Sécurité Personnelle

Considérez le plus mauvais scénario de cas d'un coup de foudre sur un bateau à voiles - un petit bateau dans l'eau douce. Même si le bateau a été équipé d'un système de protection bien fait, il est toujours une situation extrêmement dangereuse. Si la protection contre la foudre n'existe pas, la situation est mortelle. Dans les deux cas, les secteurs à éviter sont près de la ligne de flottaison et près de toute grande pièce métallique. Dans le bateau non protégé, un zone supplémentaire de danger existe à proximité de la bôme ou du mât. Même sur un bateau non protégé, il est imprudent d'aller dans l'eau, l'électrocution étant fortement probable si la foudre frappe à proximité. En fait, il n'y a aucune place sûre sur un petit bateau à voiles non protégé et dans un bateau protégé il y a seulement les places de sécurité relative. Il y a, cependant, une place qui est plus dangereuse qu'un petit bateau à voiles non protégé, c'est un petit bateau non protégé sans mât. Chaque année il y a de multiples décès de canotiers dans des bateaux ouverts à cause des coups de foudre, mais très peu de rapports font état de marins tués par la foudre dans des bateaux à voiles .

Les règles générales évoquées plus haut s'appliquent aussi au plus grands bateaux à voiles. Ceux-ci sont généralement plus sûrs, dès lors qu'ils sont protégés, puisqu'il est possible de se tenir écarté de la ligne de flottaison et des grands objets métalliques tout en restant toujours sec à l'intérieur de la cabine. Concernant l'électricité non maîtrisée, un corps humain sec est beaucoup moins attirant qu'un corps

humide.

Conclusions

La protection de foudre sur un bateau à voiles consiste à détourner le courant de foudre vers l'eau sans causer de dégâts à la coque, de blessure personnelle, ou des dommages à l'électronique. Cela implique l'existence d'un chemin conducteur continu, principalement vertical, partant d'en haut de n'importe quels capteurs vulnérables en tête de mât jusqu'aux conducteurs de mise à la terre immergés dans l'eau (le système de mise à la terre) et d'un réseau de conducteurs interconnectés, principalement horizontaux, reliés aux grandes parties métalliques, y compris le système de mise à la terre (le système d'équipotentialité). Des dispositifs de suppressions des transitoires sont nécessaires sur chaque équipement électronique et le câblage devrait être intégralement en paire torsadée pour la protection de l'électronique.

La mer de la Floride Accordée au Collège{*à l'Université*} est soutenu par la récompense{*sentence*} du Bureau de Subvention{*d'Octroi*} de Mer, l'Administration Océanique et Atmosphérique nationale, le Ministère du Commerce américain, la subvention{*l'octroi*} numéroté{*compte*} NA 89 AA-D-SGO53, conformément aux dispositions{*fournitures*} du Collège{*de l'Université*} de Subvention{*d'Octroi*} national de Mer et l'Acte de Programmes de 1966. Cette information est publiée selon le Programme d'Extension de Subvention{*d'Octroi*} de Mer qui fonctionne comme un composant du Service d'Extension de Coopérative de la Floride, John T. Woeste, le Doyen, dans la conduite du travail d'Extension Coopératif dans l'Agriculture, l'Économie Domestique et des Sciences Maritimes, l'Etat la Floride, le Département américain d'Agriculture, le Ministère du Commerce américain et les Conseils de Commissaires de Comté, la coopération. Imprimé et distribué en avancement des Lois du 8 mai et le 14 juin 1914. La Mer de la Floride Accordée au Collège{*à l'Université*} est un employeur d'Action Affirmatif d'occasion Égal autorisé pour fournir la recherche, l'information éducative et d'autres services seulement aux individus et des institutions qui fonctionnent sans respect pour faire courir{*faire la course*}, colorer, le sexe, l'âge, le handicap ou l'origine nationale.