

Foudroyés

A. COLONNA, A. LAGOUGE, A. JOSSILLET, P. CAYREL, A. DELAHAYE

Points essentiels

- La foudre est un phénomène électrique atmosphérique naturel, qui résulte d'une décharge de courant électrique à haute tension entre un nuage et le sol.
- Le foudroiement (ou fulguration) est le phénomène de passage de courant de foudre à travers le corps d'une personne ou d'un animal.
- L'intensité du courant de foudre varie de 50 000 à plus de 200 000 ampères ce qui est bien supérieur à l'intensité du courant alternatif responsable d'accidents domestiques.
- La tension d'un courant de foudre est de l'ordre de 10 à 100 millions de volts, on parle de courant à haute tension au-delà de 1 000 volts.
- Le courant de foudre électrique suit préférentiellement dans le corps humain les zones de moindre résistance représentées par les axes vasculo-nerveux.
- La foudre peut atteindre l'homme soit directement soit indirectement.
- Un patient foudroyé donc électrisé est souvent brûlé, blasté, éventuellement polyfracturé voire polytraumatisé, parfois hypotherme et psychologiquement choqué.
- La prise en charge des patients foudroyés nécessite des précautions circonstancielles.
- Le bilan clinique et paraclinique doit être exhaustif et poussé bien qu'il n'existe aucune thérapeutique spécifique.

Correspondance : Arnaud Delahaye – Pôle Médico-Technique – Urgences et Réanimation – Hôpital Jacques Puel, avenue de l'Hôpital, 12000 Rodez. Tél. : 05 55 65 25 40. Fax : 05 65 55 25 59.
E-mail : a.delahaye@ch-rodez.fr



1. Introduction

La foudre, ancestralement associée à la colère des dieux ou à la notion de châtiement, frappe au rythme de 50 à 100 impacts par seconde le globe terrestre. En France, la foudre touche en moyenne une centaine de personnes. C'est Benjamin Franklin qui a identifié en 1752 la nature électrique de la foudre. Le foudroiement, ou fulguration, est un phénomène d'électrisation défini par le passage de courant électrique à travers le corps et ses conséquences. Pour qu'il y ait électrisation, il faut que le courant circule entre deux points du corps suffisamment éloignés l'un de l'autre. Le corps se comportant comme une résistance accidentellement incluse dans un circuit électrique. Les effets d'une électrisation sont variables selon l'énergie électrique (W) reçue par le corps. Selon les lois d'Ohm ($U = R \times I$) et de Joule ($W = R \times I^2 \times t$), les effets potentiels d'une électrisation dépendent simultanément : des conditions de l'électrisation (topographie, surface des points de contact, trajet du courant dans le corps, degré d'humidité du milieu, durée du passage de courant...), des caractéristiques propres au sujet (résistance) et des paramètres relatifs au courant (type et forme de courant).

2. Phénomènes électrophysiques (1-3)

La foudre a pour origine un nuage orageux de type cumulonimbus. Ces nuages en forme d'enclume, se forment à partir de courants atmosphériques ascendants dont la vitesse peut dépasser 20 mètres/seconde. Ils occupent une surface de plusieurs dizaines de kilomètres carrés et ont une épaisseur de plusieurs kilomètres. Leur volume peut dépasser 1 000 km³ et leur masse représente des centaines de milliers de tonnes d'eau. Le sommet est situé au-delà de 15 000 m d'altitude : la partie inférieure est constituée de gouttes d'eau, la partie supérieure de particules de glace.

Les orages, phénomènes thermodynamiques, sont de deux origines :

- Les **orages de convection** qui naissent sous l'effet combiné de l'humidité et du réchauffement du sol. La masse d'air humide s'élève ; vers 2 km d'altitude, la vapeur d'eau se condense, et forme la base du nuage. Ce changement d'état libère de l'énergie sous forme de chaleur ainsi l'ascension continue. Vers 10 km d'altitude, des cristaux de glace se forment. Ces particules de glace deviennent de plus en plus lourdes, commencent à tomber et entraînent avec elles l'air environnant. Ce sont les premières précipitations.
- Les **orages frontaux** naissent de la rencontre de masses d'air importantes, de température et d'hygrométrie différentes. Cette rencontre produit également des courants ascendants accompagnés de condensation. Les fronts orageux ainsi formés peuvent durer plusieurs jours et se propager sur des milliers de kilomètres (lignes de grains).

Les phénomènes électriques orageux restent en partie incompris. Les cumulonimbus forment un véritable dipôle électrique dont la partie supérieure est

chargée positivement et la partie inférieure négativement. Ce dipôle crée un champ électrique entre les différentes couches du nuage mais aussi entre la partie inférieure du nuage et le sol qui conformément aux lois de l'électrostatique, s'électrise en sens contraire. La différence de potentiel électrique entre le nuage et le sol va créer une ionisation progressive de l'atmosphère. Lorsque la charge électrique du nuage devient suffisante pour provoquer la rupture diélectrique de l'air, une prédécharge peu lumineuse, née à la partie inférieure du nuage, progresse par bonds à très grande vitesse en direction du sol. Lorsque cette prédécharge (ou pré-curseur) parvient à quelques dizaines de mètres du sol, une prédécharge ascendante prend naissance à partir d'un objet quelconque faisant saillie au sol, et rejoint le précurseur descendant. La rencontre de ces deux prédécharges constitue un intense courant électrique, ou arc de retour : c'est le coup de foudre, de type descendant. Les reliefs augmentent considérablement l'intensité du champ électrique au sol. Au sommet d'une demi-sphère posée sur un plan, le champ électrique est le triple du champ de référence sur sol plat. Ceci rend compte du sur-risque en milieu accidenté, comme en montagne ; généralement le phénomène directionnel est inverse, le traceur prend son origine au sommet de la proéminence et progresse vers le nuage, on parle de coup de foudre ascendant. Par convention, le coup de foudre est négatif lorsque c'est la partie négative du nuage qui se décharge et positif lorsque c'est la partie positive du nuage qui se décharge : en France, et autres pays européens tempérés, le coup de foudre descendant négatif est de loin le plus fréquent.

L'éclair (ou arc en retour) est la manifestation lumineuse de la foudre. Quand la charge du nuage est suffisamment importante pour que le champ électrique dépasse la résistance locale de l'atmosphère, l'éclair jaillit. Au moment de la décharge, le champ électrique est de l'ordre d'un million de volts et fournit une puissance équivalente à environ 100 millions d'ampoules électriques ordinaires. Durant cette fraction de seconde, l'énergie électrostatique est transformée en énergie électromagnétique (phénomène lumineux), en énergie acoustique (tonnerre) et enfin en chaleur. Il faut garder à l'esprit que l'éclair se propage dans les deux sens.

3. Foudroiement : données générales

Quelques chiffres en France en 2010 : 367 000 enregistrements d'éclairs nuage-sol, ce qui représente habituellement 50 000 coups sur les lignes EDF (40 à 50 % des coupures d'électricité), 17 000 incendies et 50 000 compteurs électriques détruits, 20 000 têtes de bétail tuées. Le nombre précis annuel de victimes de la foudre en France n'est pas connu mais il est estimé à 100. La mortalité est d'environ d'une vingtaine de décès par an, soit une incidence annuelle de 0,03 pour 100 000 habitants. Toutefois, il est très vraisemblable que ces chiffres soient sous-estimés. La mortalité mondiale est estimée entre 0,2 et 1,7 cas par million d'habitants ; c'est la deuxième cause de décès par phénomène naturel (4). Le foudroiement concerne une seule victime dans 70 % des cas, deux victimes dans 15 % des

situations et plus de 2 dans 15 % des cas, le risque collectif est donc bien réel (5). Si un foudroyé sur trois décède, sept survivants sur dix ont des séquelles permanentes souvent invalidantes (6). Ce chiffre reste incertain, essentiellement car les victimes de foudroiement non mortel et non sévère ne consultent pas de médecin (7).

Les foudroiements ont lieu le plus souvent en plein air, dans des régions montagneuses ou côtières à haut niveau de risque. Le foudroiement touche plus les hommes que les femmes (sexe ratio de 4/1), les sujets jeunes et en bonne santé. Il survient préférentiellement de mai à septembre, entre 7 et 19 heures. Les activités d'extérieur les plus exposées sont : activités professionnelles d'agriculture et bâtiment ; activités militaires et de loisir (VTT, randonnées, escalade, parapente, natisme...) (4). Quelques rares situations d'accident de fulguration à l'intérieur de structure (bâtiment, avion) ou à bord d'un bateau sont également décrites.

Le risque de foudroiement pour un site donné est directement lié au niveau kéraunique du site (8). Le niveau kéraunique (*keranos* : du grec signifiant foudre) définit le nombre de jours par an au cours duquel le tonnerre est entendu pour un lieu donné. Il représente donc la sévérité orageuse d'une région. En France, le niveau kéraunique moyen est de l'ordre de 20. Il est supérieur à 30 en régions montagneuses et inférieur à 15 dans certaines régions côtières. À noter que le niveau kéraunique en Indonésie ou en Afrique du Sud atteint 180. L'activité orageuse est mieux évaluée par la densité de foudroiement, défini comme le nombre d'impacts au sol par kilomètre carré et par an. En France, la densité de foudroiement, est de 1 à 3 coups/km²/an. Sur le globe, la foudre touche la terre plus de 100 fois/seconde avec des chiffres maximum sur le continent africain : jusqu'à plus de 50 coups/km²/an (4).

4. Mécanismes de foudroiement

Le coup de foudre direct est illustré par une personne debout, en contact avec le sol, sur le trajet du précurseur de l'éclair. Le courant entre par la partie la plus proéminente, le plus souvent la tête, mais éventuellement un objet brandi au-dessus de la tête (parapluie, fourche, club de golf...) et s'écoule au sol en passant par les membres inférieurs. Les éclairs descendants possèdent un voltage tel, que le courant de foudre est dérivé en grande partie à la surface du corps sous forme d'un arc de contournement. Seulement quelques ampères traversent l'organisme et ce, pendant quelques centaines de microsecondes. *A contrario*, lorsque la différence de potentiel est faible (éclairs ascendants), toute l'intensité du courant de l'éclair traverse le corps. Ces différents mécanismes permettent d'expliquer les différents types de lésions, de gravité variable, rencontrées. Les objets métalliques portés sur le corps constituent un trajet préférentiel pour le courant de foudre ; portés sur la tête, ils sont particulièrement dangereux : « effet épingle à cheveux ». Sur la partie inférieure du corps, ils favorisent la formation d'un arc de contournement, c'est « l'effet fermeture éclair » théoriquement protecteur.

Le coup de foudre par éclair latéral est responsable du foudroiement des personnes qui s'abritent de l'orage sous une structure conductrice (arbre, tente, cabane...) recevant elle-même un coup de foudre direct. La différence de potentiel entre le conducteur et la tête de l'individu s'élève, et produit un claquage diélectrique de l'air, d'où la création d'un éclair latéral qui suit le trajet de moindre résistance (le corps humain) et s'écoule vers la terre. Certains foudroiements collectifs en plein air sont provoqués par un éclair latéral se propageant d'une personne à une autre. Les conséquences sont les mêmes que celles d'un coup de foudre direct. Ces accidents peuvent se produire en extérieur comme à l'intérieur d'un domicile (téléphone).

Le coup de foudre par tension de toucher est l'électrisation de contact lorsqu'une personne touche un objet conducteur, lui-même frappé par la foudre (tuyauterie, paroi d'une grotte...). Il ne se forme pas d'arc de contournement et une quantité considérable de courant peut s'écouler à travers le corps de la victime.

Le coup de foudre par tension de pas touche les individus qui se trouvent à proximité d'un impact de foudre au sol. Le courant diffuse dans la terre autour du point d'impact, plus ou moins loin selon la résistivité des sols, dans toutes les directions. La victime est parcourue par un courant de dérivation ; debout, elle sera soumise à une différence de potentiel d'autant plus élevée, que la distance entre ses pieds sera importante et qu'elle sera proche du point d'impact. C'est la cause la plus fréquente de foudroiement mortel du bétail, du fait de la grande distance entre les pattes avant et arrière et de la présence du cœur sur le trajet.

La foudre en boule reste un phénomène incompris. Sphère lumineuse de couleur orange, enveloppée d'un halo bleuâtre, de température pouvant atteindre 10 000 °C, accompagnée d'un sifflement ou d'un crépitement et d'odeur sulfureuse. La trajectoire de la foudre en boule est caractéristique : le globe lumineux tombe verticalement puis, à l'approche du sol, change brusquement de direction et se déplace horizontalement selon un trajet en méandres. Sa vitesse ne dépasse pas 1 à 2 mètres par seconde et sa durée de vie se situe autour de 5 secondes. Elle se comporte de façon imprévisible, soit elle s'évanouit, soit elle explose en dégageant une énergie considérable et créant des dégâts de proximité. Sa capacité à traverser des cloisons (portes ou fenêtres) demeure aussi inconnue.

5. Conséquences cliniques

5.1. Physiopathologie (8-10)

Lors de l'électrocution, l'écoulement du courant électrique se fait selon un trajet de moindre résistance (formations liquidiennes, vasculaires et méningées). La résistance de la peau est conditionnée par son degré d'humidité et par la surface de contact. L'arc de contournement et la brièveté de l'électrisation ont un effet « salvateur ». Son rôle protecteur est confirmé expérimentalement chez le rat (11). En cas de coup de foudre direct sans arc de contournement ou retardé (à

plus de 20 microsecondes), la survie est d'environ 15 % alors qu'elle est supérieure à 50 % dans le cas contraire. Cet arc électrique de contournement, qui s'écoule à la surface de la peau, brûle les poils et les cheveux, et fait fondre les objets métalliques portés en surface (collier, fermeture éclair).

5.2. Situations cliniques

Dans les situations les plus bénignes, il n'y aura pas de perte de connaissance et la symptomatologie se résumera à un syndrome déficitaire plus ou moins transitoire ou hyperalgique localisé. Les lésions traumatiques (blast, chute, projection...) sont fréquentes mais non spécifiques et ne seront pas traitées dans ce chapitre.

5.2.1. Le décès

Le décès survient immédiatement ou rapidement en l'absence de réanimation spécialisée. L'arrêt cardiaque par fibrillation ventriculaire serait la cause de mort d'origine électrique la plus fréquente. Elle survient lors du passage du courant au cours de la période réfractaire relative du cycle cardiaque. En pratique clinique, le premier ECG révèle le plus souvent une asystolie (5, 7, 8, 12, 13). Dans une série de 66 victimes de foudroiements graves, 77 % des victimes présentant un arrêt cardiorespiratoire initial sont décédées. Il existe une liaison faiblement significative entre la présence de brûlures des membres inférieurs et le risque de décès par arrêt cardiocirculatoire (13). L'inhibition des centres respiratoires à l'origine d'un arrêt respiratoire, suivi d'un arrêt circulatoire, est considérée comme la seconde cause de décès immédiat après foudroiement. Comme pour les accidents électriques d'exposition aux courants alternatifs, il est possible que le seuil d'arrêt respiratoire d'origine centrale soit plus élevé que le seuil de fibrillation ventriculaire. Le décès peut aussi survenir dans les suites immédiates d'un polytraumatisme grave (blast, chute de grande hauteur, projection...) post-fulguration (14, 15).

5.2.2. Les manifestations cardio-vasculaires

Une tachycardie sinusale, avec poussée hypertensive, est habituelle, en rapport avec une libération d'adrénaline. Des troubles du rythme variés sont rapportés : extrasystoles auriculaires et ventriculaires, fibrillation auriculaire (fréquente), arythmie ventriculaire retardée... À la phase aiguë, ils sont la conséquence d'une excitation électrique directe, puis secondairement à l'ischémie myocardique. Les troubles de la conduction auriculo-ventriculaire et intra-ventriculaire sont transitoires et ne nécessitent pas d'appareillage ultérieur (20).

L'ischémie myocardique semble inévitable dès lors que le courant traverse le cœur (18). Elle résulte de l'association de l'effet joule, qui provoque des nécroses myocardiques, et d'un spasme ou d'une thrombose intracoronaire. Infarctus et insuffisance cardiaque aiguë semblent plus fréquents qu'après électrisation par courant alternatif (16). Des anomalies électrocardiographiques sont retrouvées chez 10 % des foudroyés (plus fréquentes en cas de foudroiement direct) : on décrit une simple inversion asymptotique des ondes T mais aussi des nécroses myocardiques transmuraux étendus (12). Une cardiomyopathie de Takotsubo, compliquée d'un choc cardiogénique, peut être constatée (17).

Un épanchement péricardique est possible, éventuellement compressif avec tamponnade cardiaque (19). Les vaisseaux sont des voies préférentielles de passage du courant. Un vasospasme peut survenir, par excitation directe de la musculature lisse ou par stimulation des nerfs vasoconstricteurs. Cette vasoconstriction, tant cardiaque que périphérique, rend compte de l'ischémie myocardique et de paralysies transitoires (15). Des thromboses vasculaires semblent secondaires à l'altération des parois vasculaires (nécrose de la média et de la limitante élastique interne).

5.2.3. Les troubles neurologiques

Les symptômes immédiats, transitoires et extrêmement fréquents sont : perte de connaissance (72 % des cas, même si le trajet du courant épargne la tête) (12), amnésie antérograde (46 % des cas), anxiété, agitation, confusion, irritabilité, apathie, céphalées, paresthésies.

Les troubles neurologiques graves sont variés (4, 21) et sont la conséquence de différents mécanismes :

- Paralysies post-foudroiement : kérauno-paralysies qui régressent en quelques heures sans séquelle, concernent les membres (inférieurs surtout) traversés par le courant. Ces troubles seraient dus à une perturbation fonctionnelle directe des nerfs périphériques ou à des phénomènes vasomoteurs. Ce sont des paralysies flasques avec disparition de toute sensibilité. La peau est souvent moite, pâle et marbrée. Les pouls périphériques ne sont parfois plus perçus. Il n'y a habituellement pas de trouble mictionnel, ni de trouble de la défécation.
- Lésions anatomiques dues à l'effet Joule sur le trajet du courant : hémorragies cérébrales avec hématome extradural, sous-dural ou intracrânien régulièrement rapportées (22). De même une thrombose cérébrale peut se constituer suite à un coup de foudre direct avec contact céphalique (13) ; neuropathies périphériques ; mouvements anormaux ou parésies tardives, syndrome cérébelleux. Plusieurs cas de paralysies précoces et permanentes à type de paraplégie ou de tétraplégie, par atteinte médullaire, sont décrits (15). Les lésions des nerfs crâniens sont moins fréquentes : troubles de l'audition (10 %), aphonie (6 %), parésie faciale (4 %), anisocorie (3 %), aréflexie pupillaire (3 %), troubles de la déglutition (2 %).
- Lésions dues aux spasmes vasculaires voire aux thromboses : paralysies, syndromes pyramidaux, extrapyramidaux, cérébelleux ; paralysies atrophiants spinales, troubles neurovégétatifs.
- Lésions musculo-nerveuses respiratoires : tétanisation des muscles respiratoires (différente des lésions des centres respiratoires).

5.2.4. Les lésions auditives et oculaires

L'atteinte auditive peut être une surdité de transmission due à une destruction du tympan et de l'oreille moyenne ; plus rarement surdité de perception par atteinte directe du nerf auditif ou lésions vasculaires vestibulaires. À noter le cas particulier du foudroiement téléphonique pouvant associer électrisation, barotraumatisme et brûlure du conduit auditif externe.

L'atteinte oculaire peut concerner le segment antérieur (kératites, ulcérations avec perforation de la cornée, conjonctivites, blépharites, irido-cyclites) ; des atteintes cornéennes avec lésions d'opacification évoluant vers une cataracte ; des lésions du segment postérieur : chorioretinites, œdème rétinien, hyphémas, hémorragie du vitré.

5.2.5. Les lésions cutanées

On peut observer des brûlures : électrothermiques, par arc électrique, par flash électrique. L'effet joule est responsable des brûlures électrothermiques visibles au niveau des points d'entrée et de sortie du courant. Ce sont des zones de nécrose blanchâtres ou marbrées, cartonnées, insensibles, non hémorragiques. Lorsque les points d'entrée et de sortie sont très proches, la brûlure est localisée mais profonde. Lorsque ces points sont éloignés, des lésions tissulaires profondes et étendues peuvent siéger le long du trajet intracorporel, sous une peau d'allure saine, c'est l'effet « iceberg ». Sur le trajet du courant, les masses musculaires et les axes vasculo-nerveux sont particulièrement exposés. Les lésions électrothermiques musculaires sont responsables d'œdème lésionnel, de rhabdomyolyse, de syndrome des loges et ainsi de nécrose. Des phénomènes de ruptures et de thromboses vasculaires peuvent aggraver ces lésions. Il existe un aspect particulier de brûlures superficielles, en aspect dit de Lichtenberg, en feuilles de fougère (23, 24). Cette brûlure correspondrait au passage du courant dans la microvascularisation, zone cutanée de conduction privilégiée.

Les brûlures par arc électrique se produisent avec les courants de haute tension et en l'absence de contact direct. Il existe une distance d'amorçage qui, lorsqu'elle est franchie, place la victime dans la même situation que si elle touchait le conducteur. Les brûlures par flash électrique s'expliquent par la survenue d'un éclair (rayonnement lumineux et thermique), le courant ne traverse pas le corps. Elles prédominent au niveau des zones découvertes et n'ont aucun caractère spécifique. Leur gravité est liée à la survenue de lésions oculaires (brûlures cornéennes ou exceptionnellement cataracte d'apparition retardée).

5.2.6. Autres effets divers

Des rares cas de perforations du tube digestif, notamment gastriques, ont été observés (25). Chez la femme enceinte on retrouve 50 % de morts fœtales.

5.2.7. Les troubles psychiatriques

Un tel accident peut provoquer chez les victimes, voire chez les sauveteurs ou les témoins, un « traumatisme psychique ». Les réactions immédiates peuvent être inadaptées (prostration ou réaction de type hystérique) ; symptômes dépressifs et phobiques peuvent survenir dans le cadre d'un « syndrome de stress post-traumatique » dont on estime l'incidence à 30 % (4) et qui entraîne souvent des difficultés de réinsertion socioprofessionnelle des patients. Il semble que les séquelles psychosociales des accidents électriques sont indépendantes du niveau de tension du courant en cause et donc de la gravité des lésions organiques initiales. De

même les taux et délais de reprise d'une activité professionnelle et taux de séquelles neuropsychiatriques sont similaires quel que soit le niveau de tension du courant en cause (26).

6. Stratégies de prise en charge des victimes (27, 28)

Les premiers secours doivent être réalisés par les témoins de l'accident. La victime doit être protégée du sur-accident éventuel. L'appel au SAMU-Centre 15 doit préciser les mécanismes de l'accident, l'état des fonctions vitales ainsi que l'existence et la description sommaire des lésions de brûlures et traumatiques. Le médecin régulateur décide ainsi de l'envoi des secours adaptés, puis prodigue les conseils, non spécifiques, aux témoins. Il doit préciser qu'il n'existe aucun danger d'électrocution à entrer en contact avec une personne qui vient d'être foudroyée. *A contrario*, pour les médecins régulateurs, le foudroiement est l'équivalent d'un accident électrique à haute tension motivant systématiquement l'engagement d'un moyen SMUR.

Si l'orage est toujours actif, l'intervention des secours spécialisés doit, particulièrement en montagne, obéir à certaines précautions (cf. *infra*).

Sur place, le médecin est face à un patient foudroyé donc électrisé, souvent brûlé, blasté, éventuellement polyfracturé, voire polytraumatisé, parfois hypotherme et psychologiquement choqué. Rien dans sa prise en charge n'est spécifique mais tous ces aspects doivent être considérés. En conséquence, le bilan clinique initial est exhaustif pour une prise en charge complète essentiellement symptomatique. Quelques points particuliers méritent toutefois d'être soulignés.

6.1. L'arrêt cardiocirculatoire

Sa prise en charge n'a rien de spécifique. La réanimation cardiopulmonaire est volontiers prolongée, surtout si elle a pu être initiée tôt, en raison du (relatif) bon pronostic de l'arrêt cardiaque dans ces circonstances (sujets souvent jeunes sans comorbidité) et de l'hypothermie fréquente (4, 29). Une mydriase aréactive dans ce contexte n'a pas obligatoirement une valeur pronostique péjorative, et ne doit en aucun cas justifier un arrêt précoce de la réanimation (28).

30 % des accidents de fulguration comptent plusieurs victimes : dans cette situation, les règles de tri diffèrent de celles recommandées en traumatologie classique. Devant un accident multiple de foudroiement, ce sont précisément les patients en arrêt cardiocirculatoire qui doivent être pris en charge en priorité. Leur pronostic est meilleur qu'en situation « habituelle » d'arrêt cardiaque (28, 30).

6.2. Brûlures, blast et exposition circonstancielle

Les brûlures cutanées thermiques classiques nécessitent des soins locaux et une protection par un pansement stérile. Les brûlures électrothermiques avec passage du courant posent le problème particulier des lésions inapparentes. Les apports

hydriques calculés à partir des seules zones brûlées au point d'entrée et de sortie sont sous-estimés. Ceux-ci doivent être majorés de 50 % ou calculés sur la base de 9 à 12 mL/kg/% SCB le premier jour. Le risque d'insuffisance rénale par rhabdomyolyse aiguë doit être prévenu par l'hyperhydratation. Les figures de Lichtenberg n'étant pas de véritables brûlures, ne nécessitent aucun traitement local. Il est toutefois très important sur un plan médico-légal de noter leur présence sur la fiche d'intervention ou mieux de les photographier à cause de leurs caractères transitoires mais pathognomoniques des accidents par foudroiement. Selon les circonstances (incendie secondaire), l'hypothèse d'une intoxication associée par inhalation de fumées d'incendie doit être systématiquement envisagée : le traitement habituel est requis.

À l'hôpital, le bilan clinique exhaustif doit être complété d'un bilan paraclinique tout aussi minutieux : monitoring multiparamétrique, électrocardiogrammes répétés, échocardiographie et bilan biologique orienté, évaluation de la rhabdomyolyse et des défaillances d'organe, bilan radiologique non spécifique mais respectant les règles d'investigation d'un patient traumatisé grave. L'imagerie scannographique thoraco-abdomino-pelvienne en 1 temps doit être privilégiée et il existe des propositions de réalisation de façon systématique d'une tomodensitométrie crâne et rachis cervical (31). Les examens ORL et ophtalmologique initiaux doivent être répétés à distance.

7. Mesures de prévention (28, 30, 32)

La protection des édifices contre la foudre est très ancienne puisque c'est au XVIII^e siècle que Benjamin Franklin a mis au point le paratonnerre. Ce dispositif comprend une tige métallique dressée verticalement au-dessus du bâtiment, parfaitement isolée, et dont l'extrémité inférieure est mise à la terre. La zone de protection d'un paratonnerre est généralement limitée à un cône ayant pour base le double de l'altitude de la pointe. La protection nécessaire des réseaux EDF particulièrement exposés fait l'objet de recherches incessantes (éclateur à cornes, parafoudre).

Il n'y a pas de foudre sans cumulonimbus. Il faut donc être attentif aux prévisions météorologiques, surtout en montagne, en fin d'après-midi l'été, et se souvenir que la foudre est attirée par les zones proéminentes du sol riches en charges positives (crêtes, sommets, ...). Par temps d'orage, il convient de respecter la règle des « 30-30 » qui fait état du risque majoré en début et fin d'orage : au premier coup de tonnerre, il faut s'abriter (se protéger de l'impact direct) dans les 30 secondes et y rester jusqu'à 30 minutes après le dernier éclair ou coup de tonnerre perçu. Il n'existe pas d'abri idéal, mais certaines structures protègent mieux que d'autres : un lieu clos et large (les tentes et lieux étroits ne protègent pas) est plus sûr qu'un lieu ouvert sur l'extérieur ; un véhicule complètement fermé bien que métallique, procure également un abri sécurisé contre la foudre. De manière générale, il faudra s'éloigner le plus possible des portes et fenêtres ouvertes, éviter tout contact avec des installations de plomberie ou électriques, ou

encore avec des structures en acier ou humides et se débarrasser de tout objet métallique. Il faut également se protéger contre les courants de décharge circulant en surface : donc éviter de s'adosser à une paroi, de se glisser dans une fissure, de s'abriter à l'entrée d'une grotte ou tout endroit où se situe un ruissellement. Sur une paroi, il est conseillé de s'éloigner de celle-ci, de s'accroupir isolé du sol par une corde ou un sac, et de s'assurer par une corde fixée perpendiculairement à la ligne de pente. Dans ces milieux périlleux, il faut également limiter les risques de traumatisme secondaire : le port de casque est fortement conseillé. Il est par ailleurs fortement déconseillé d'utiliser des moyens de communication radio-phoniques par temps orageux. Enfin, il faudra respecter une distance de sécurité entre chaque individu (idéalement supérieure à 2 mètres afin d'éviter la formation d'éclair latéral).

8. Conclusion

Le foudroiement est un phénomène naturel qui met en jeu le pronostic vital immédiatement ou de façon retardée, et qui peut aussi être à l'origine de nombreuses séquelles physiques et psychologiques. La prise en charge de la victime foudroyée nécessite une vision multifacettes depuis les lieux de l'accident jusqu'à la prise en charge hospitalière. Même si peu d'éléments de la prise en charge sont spécifiques, le bilan clinique et paraclinique doit être exhaustif. Concernant les secours, souvent en milieu périlleux, quelques mesures spécifiques de protection doivent être respectées.

Références

1. INERIS. Le risque foudre et les installations classées pour la protection de l'environnement. 2001 (http://aida.ineris.fr/guide_silo/Fichiers/Article_9/foudre2.pdf)
2. Gary C. La foudre. La Recherche 1989 ; 211 : 722-34.
3. Hermant A., Lesage C. L'électricité atmosphérique et la foudre. In : Que sais-je ? (n° 3127), 1997.
4. Ritenour A.E. Lightning injury: a review. Burns 2008 Aug ; 34 (5) : 585-94. Epub 2008 Apr 18.
5. Carte A.E., Anderson R.B., Cooper M.A. A large group of children struck by lightning. Ann Emerg Med 2002 ; 39 : 665-70.
6. Dokov W. Assessment of risk factors for death in electrical injury, Burns 2009 Feb ; 35 (1) : 114-7).
7. Lifschultz B.D., Donoghue E.R. Deaths caused by lightning. J Forensic Sci 1993 ; 38 : 353-8.
8. Adekoya N., Nolte K.B. Struck-by-lightning deaths in the United States. J Environ Health 2005 ; 67 : 45-50, 5.
9. O'Keefe Gatewood M., Zane R.D. Lightning injuries. Emerg Med Clin North Am 2004 ; 22 : 369-403.
10. Whitcomb D., Martinez J.A., Daberkow D. Lightning injuries. South Med J 2002 ; 95 : 1331-4.

11. Ohashi M., Kitagawa N., Ishikawa T. Lightning injury caused by discharges accompanying flashovers – a clinical and experimental study of death and survival. *Burns Incl Therm Inj* 1986 ; 12 : 496-501.
12. Cooper MA. Lightning injuries: prognostic signs for death. *Ann Emerg Med* 1980 ; 9 : 134-8.
13. Nelson K.L., Mills W. Jr, Umbel S. et al. Lightning, sudden cardiac death, simulation and an automated external defibrillator: the perfect storm. *Resuscitation* 2007 ; 74 : 567-71.
14. Cherington M. Neurologic manifestations of lightning strikes. *Neurology* 2003 ; 28 ; 60 : 182-5.
15. Cherington M., Yarnell P., Lammereste D. Lightning strikes: nature of neurological damage in patients evaluated in hospital emergency departments. *Ann Emerg Med* 1992 ; 21 : 575-8.
16. Carleton S.C. Cardiac problems associated with electrical injury. *Cardiol Clin* 1995 ; 13 : 263-6.
17. Dundon B.K. Takotsubo cardiomyopathy following lightning strike. *Emerg Med J*. 2008 Jul ; 25 (7) : 460.
18. Saglam H., Yavuz Y., Yurumez Y. et al. A case of acute myocardial infarction due to indirect lightning strike. *J Electrocardiol* 2007 ; 40 : 527-3.
19. Rivera J., Romero K.A., González-Chon O. et al. Severe stunned myocardium after lightning strike. *Crit Care Med* 2007 ; 35 : 280-5.
20. Robert L. Cardiovascular effect of lightning strikes. *J Am Coll Cardiol* 1993 ; 21 : 531-6.
21. Cherington M. Central nervous system complications of lightning and electrical injuries. *Sem Neurol* 1995 ; 15 : 233-40.
22. Steinbaum S., Harviel J.D., Jaffin J.H., Jordan M.H. Lightning strike to the head: case report. *J Trauma* 1994 ; 36 : 13-5.
23. Cherington M., Olson S., Yarnell P.R. Lightning and Lichtenberg figures. *Injury* 2003 ; 34 : 367-71.
24. Domart Y., Garet E. Images in clinical medicine. Lichtenberg figures due to a lightning strike. *N Engl J Med* 2000 ; 343 : 1536.
25. Kilbas Z. Lightning strike: an unusual etiology of gastric perforation. *Am J Emerg Med*. 2008 Oct ; 26 (8) : 966.e5-7.
26. Chudasama S. Does voltage predict return to work and neuropsychiatric sequelae following electrical burn injury? *Ann Plast Surg* 2010 May ; 64 (5) : 522-5.
27. Zimmermann C., Cooper M.A., Holle R.L. Lightning safety guidelines. *Ann Emerg Med* 2002 ; 39 : 660-4.
28. Zafren K., Durrer B., Herry J.P., Brugger H., ICAR and UIAA MEDCOM. Lightning injuries: prevention and on-site treatment in mountains and remote areas. Official guidelines of the International Commission for Mountain Emergency Medicine and the Medical Commission of the International Mountaineering and Climbing Federation (ICAR and UIAA MEDCOM). *Resuscitation* 2005 ; 65 : 369-72.
29. Marcus M.A., Thijs N., Meulemans A.I. A prolonged but successful resuscitation of a patient struck by lightning. *Eur J Emerg Med* 1994 ; 1 : 199-202.
30. Zimmermann C., Cooper M.A., Holle R.L. Lightning safety guidelines. *Ann Emerg Med* 2002 ; 39 : 660-4.
31. DeFranco M.J. Environmental issues for team physicians, *Am J Sports Med*. 2008 Nov ; 36 (11) : 2226-37.
32. Baptiste O., Girer A., Foray J., Marsigny B. Les accidents de fulguration en haute montagne. *Chirurgie* 1990 ; 116 : 60.