

Électropathologie

70 ans d'expérience à EDF

Aleksandra Piotrowski
Dr Jacques Lambrozo



Électropathologie

70 ans d'expérience à EDF

Aleksandra Piotrowski
Dr Jacques Lambrozo

L'électricité c'est la vie : certainement !

L'électricité c'est la vie ? Sûrement ?

L'électricité, nous relie à l'ensemble de nos activités professionnelles et quotidiennes. Elle est à la fois tellement proche et accessible que nous oublions qu'il s'agit d'un agent physique qui comporte des risques d'utilisation parfois sérieux.

« *Le courant* » est incolore, inodore, inaudible, invisible mais il est pourtant présent partout et expose à des risques qui sont ici décrits en détail et regroupés sous le terme d'électropathologie. Si nous avons fait, pour la plupart d'entre nous, à la suite d'un geste malencontreux l'expérience « *d'un coup de jus* » sans conséquences dommageables, le passage du courant à travers le corps humain peut entraîner des dommages irréversibles : des brûlures profondes qui peuvent conduire à des amputations, des troubles du rythme cardiaque voire des infarctus, des complications neurologiques qui laissent les séquelles douloureuses ou invalidantes, un syndrome de stress post-traumatique durable et rebelle au traitement.

Autant de bonnes raisons de savoir reconnaître le risque électrique et de respecter les mesures de prévention. Au travail, les ouvriers du bâtiment sont parfois particulièrement exposés ; pendant les loisirs, la pêche à la ligne n'est pas toujours exempte de dangereuses surprises. Dans cet ouvrage, à partir de l'expérience de médecins et de préventeurs qui ont réussi à circonscrire puis à réduire très significativement le risque dans la profession la plus exposée qui soit – les électriciens – vous trouverez la somme unique de connaissances vis-à-vis du risque électrique : complications, mécanismes, éléments de prévention, modalités thérapeutiques illustrés à partir du suivi d'une cohorte des électriciens d'EDF sur plus de soixante-dix ans.

Suivi qui démontre que savoir c'est pouvoir. Bien comprendre le risque auquel on est exposé assure d'aboutir à une prévention efficace. Ici la démonstration en est faite.

Aleksandra Piotrowski, diplômée de Toxicologie de l'Université de Paris V, est responsable de l'équipe de toxicologie industrielle au sein du Pôle de Santé Sécurité d'EDF. Entre 2009 et 2022, elle a dirigé l'enquête permanente sur les accidents d'origine électrique chez les salariés d'EDF, d'ENEDIS et de RTE, enquête dont les principales données sont exposées dans le présent ouvrage.

Le Dr Jacques Lambrozo est ancien interne des hôpitaux de Paris, ancien chef de clinique à la faculté, expert auprès de la Cour d'appel de Paris. Il a dirigé le service des études médicales d'EDF où il a assuré l'expertise en électropathologie.

978-2-7598-2546-2



Électropathologie

70 ans d'expérience à EDF

Aleksandra Piotrowski et Dr Jacques Lambrozo

Illustrations de couverture : Travaux sous haute tension (225 kV, AC), simulation dans un laboratoire d'essai d'EDF. Photo aimablement fournie par J.-P. Le Cocguen/EDF.

Imprimé en France

ISBN (papier) : 978-2-7598-2546-2 – ISBN (ebook) : 978-2-7598-2940-8

This book is published in under Open Access Creative Commons License CC-BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) allowing non-commercial use, distribution, reproduction of the text, via any medium, provided the source is cited.

© The authors, 2022

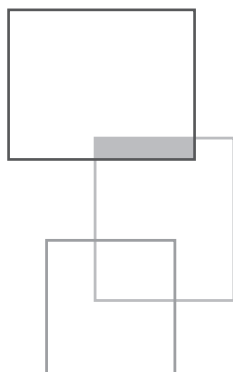


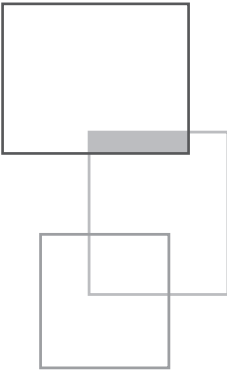
Table des matières

Préface	3
Avant-propos	7
Remerciements	9
Chapitre 1 • Rappel historique	11
1.1 Introduction	11
1.2 Premières expérimentations et premiers accidents	13
1.2.1 Électricité d'origine naturelle : la foudre	13
1.2.2 Électricité statique	14
1.3 Électricité produite industriellement	14
1.4 Les applications médicales	16
1.5 Les « armes électriques »	17
Chapitre 2 • Les accidents d'origine électrique en chiffres	19
2.1 Accidents d'origine électrique non professionnels	19
2.1.1 Foudroiement	20
2.1.2 Accidents domestiques	21
2.2 Accidents du travail d'origine électrique	26
2.2.1 Situation en France	26
2.2.2 Situation du Groupe EDF en France : les succès de la prévention	28

Chapitre 3 • Physiopathologie de l'électrisation	31
3.1 Généralités et définitions	32
3.1.1 Paramètres du danger électrique	32
3.1.2 Types de courant	33
3.1.3 Domaines de tension	34
3.2 Facteurs de gravité	36
3.2.1 Intensité du courant	37
3.2.2 Tension : c'est bien souvent le seul paramètre connu	41
3.2.3 Les impédances	41
3.2.4 Temps de contact	41
3.2.5 Trajet	42
3.2.6 Fréquence du courant et forme	43
3.3 Quels mécanismes mettent-ils en jeu le pronostic vital ?	44
3.3.1 Fibrillation ventriculaire	45
3.3.2 Brûlures	49
3.3.3 Lésions	54
Chapitre 4 • Un an après : les séquelles	59
4.1 Séquelles directement liées aux brûlures	59
4.1.1 Séquelles inesthétiques	59
4.1.2 Séquelles orthopédiques	60
4.1.3 Séquelles sensorielles	60
4.2 Séquelles rénales	61
4.3 Séquelles cardio-vasculaires	61
4.4 Séquelles neurologiques	61
4.5 Séquelles psychologiques et psychiatriques	62
Chapitre 5 • 70 ans d'électropathologie à EDF	65
5.1 Méthode	66
5.2 Résultats généraux	67
5.2.1 Comparaison	67
5.2.2 Qui sont les sujets accidentés ?	69
5.2.3 Types d'accidents	70
5.2.4 Qui, quoi, comment ?	72
5.3 Manifestations et lésions initiales	73
5.3.1 Gravité initiale	74
5.3.2 Lésions cardiaques	75
5.3.3 Lésions neurologiques	75
5.3.4 Lésions rénales	77

5.3.5	Autres manifestations	77
5.3.6	Lésions cutanées secondaires aux brûlures	77
5.4	Complications	83
5.4.1	Complications infectieuses	83
5.4.2	Complications hématologiques	84
5.4.3	Complications digestives	84
5.4.4	Complications orthopédiques	84
5.5	Séquelles	84
Chapitre 6 • Conduite à tenir en urgence		91
6.1	Premiers gestes	91
6.2	Premiers soins	93
6.3	Recours au défibrillateur	93
6.4	Surveillance médicale	94
6.5	Le cas particulier des brûlures	95
6.6	Le cas de la femme enceinte	96
Chapitre 7 • Éléments de prévention		97
7.1	Prévention médicale	97
7.1.1	Lors de la visite d'embauche	97
7.1.2	Lors des visites périodiques	99
7.1.3	Lors du tiers temps	99
7.2	Place des facteurs humains	99
Chapitre 8 • Conclusions		101
Glossaire général		103
Glossaire électrique		107
Bibliographie		109
Index		117

Les accidents de travail liés à l'électricité sont moins fréquents qu'auparavant grâce aux efforts de prévention. En revanche, leur gravité et leurs séquelles restent préoccupantes.



Préface

Every year new useful applications of electrical power are developed that result in expanded human use of electrical power in modern society. This inexorably leads to increased human contact with electrically energized devices. Despite the improved safety protocols and engineering design features, electrical shock injury remains a significant public health problem in most countries across the world today.

While it has been known for millennia that electrical forces may cause damage to tissues, only in the past 30 years has become known that multiple biophysical modes of tissue injury can be caused by electrical forces. Indeed, electrical shocks to humans often produces one of the most complex forms of physical injury. As a consequence, survivors of electrical shock injury frequently manifest a wider spectrum of clinical abnormalities than other forms of physical trauma such as thermal burns. Indeed, some clinical problems, such as central neurological and neuropsychological effects, may not manifest for months to years.

Because electrical shock injuries represent a small fraction of trauma injuries seeking medical care, medical education contains very little about the harmful manifestations of electrical injury. Therefore, this book by Dr. Lambrozo and Aleksandra Piotrowski is particularly important as an excellent source of comprehensive clinical information about the clinical manifestations and epidemiology of electrical shock injuries. I expect it will become a valuable resource for physicians and scientists in need of in-depth information about adverse medical consequences of electrical shock.

I am particularly delighted to write a preface to this Handbook of Electropathology issued by my colleagues from EDF Medical Studies Department. I have had the great fortune of collaborating with my EDF colleagues for more than 30 years. I would like to salute *Électricité de France* for having the vision and commitment to establish and support one of the first comprehensive medical research programs focused on electrical shock injury.

Raphael C. Lee, MD, ScD, FACS

Paul and Allene Russell Distinguished Service Professor

Fellow, Pritzker School of Molecular Engineering

Bucksbaum Senior Clinical Scholar

University of Chicago

Chairman, Chicago Electrical Trauma Rehabilitation Institute

Traduction

Chaque année, de nouvelles applications de l'électricité sont développées, ce qui entraîne son utilisation croissante dans la société moderne. Cela conduit donc inexorablement à un contact accru de l'homme avec des appareils sous tension électrique. Malgré l'amélioration des protocoles de sécurité et des caractéristiques de conception technique, les lésions dues aux chocs électriques restent un problème de santé publique important dans la plupart des pays du monde.

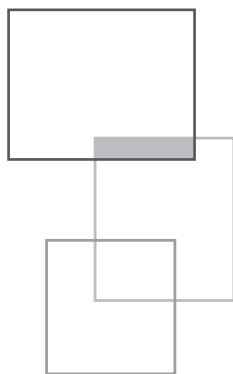
Si l'on n'ignore pas depuis des millénaires que les forces électriques peuvent endommager les tissus, ce n'est que depuis 30 ans que l'on sait que de multiples modalités biophysiques de lésions tissulaires peuvent être causées par les forces électriques. En effet, les chocs électriques chez l'homme produisent souvent l'une des formes les plus complexes de lésions physiques. Par conséquent, les survivants d'un choc électrique présentent souvent un plus large éventail d'anomalies cliniques que d'autres formes de traumatismes physiques, comme les brûlures thermiques. En effet, certains problèmes cliniques, tels que les effets neurologiques et neuropsychologiques centraux, peuvent ne pas se manifester avant des mois, voire des années.

Étant donné que les lésions par choc électrique ne représentent qu'une petite part des traumatismes faisant l'objet de soins médicaux, l'enseignement médical ne contient que très peu d'informations sur les manifestations nocives des lésions électriques. C'est pourquoi le livre de Jacques Lambrozo et d'Aleksandra Piotrowski, particulièrement important, est une excellente source d'informations complètes sur les manifestations cliniques et l'épidémiologie des lésions par électrisation. Je pense qu'il deviendra une ressource précieuse pour les médecins et les scientifiques qui ont besoin d'informations approfondies sur les conséquences médicales des chocs électriques.

Je suis particulièrement heureux d'écrire une préface à ce livre publié par mes collègues du Service des Études Médicales d'EDF. J'ai eu la grande chance de collaborer avec mes collègues d'EDF depuis plus de 30 ans. Je tiens à saluer Électricité de France pour avoir eu la vision et l'engagement d'établir et de soutenir l'un des premiers programmes complets de recherche médicale axés sur les lésions dues aux chocs électriques.

Raphael C. Lee, MD, ScD, FACS

Paul and Allene Russell Distinguished Service Professor
Fellow, Pritzker School of Molecular Engineering
Bucksbaum Senior Clinical Scholar
University of Chicago
Chairman, Chicago Electrical Trauma Rehabilitation Institute



Avant-propos

La connaissance pour tous des risques dus à l'électricité, a toujours été une préoccupation centrale d'EDF.

Ce document présente donc des données d'accidentologie concernant 70 ans d'existence d'EDF.

Ceci est rendu possible grâce à la présence de services médicaux intégrés et indépendants.

Les médecins entreprennent des études dans le respect absolu du secret professionnel, en liaison avec toutes les parties prenantes de l'entreprise.

Quelle que soit l'époque la sécurité n'est pas une fin en soi mais c'est un incontournable pour la maîtrise des risques.

Un risque est la rencontre d'une personne avec un danger.

Si le risque zéro n'existe pas, le risque calculé existe. Le résultat de ce calcul va alors dépendre de ce qui est accepté et retenu en matière de connaissance, de coût financier et d'effets attendus par chacune des parties prenantes.

Quoi qu'il en soit il faut retenir que l'électricité est devenue un bien à part qualifiable de première nécessité après celle du « pain » et de l'eau ou bien il faut accepter de revenir à l'espérance de vie des temps préindustriels.

L'histoire de la fée électricité avec ses risques et ses multiples bienfaits évolue en parallèle avec l'adaptation de l'homme et les nouvelles techniques.

La maîtrise des risques dus à l'électricité implique donc une connaissance actualisée de chacun de ces deux éléments : le facteur humain et le facteur technique :

- évolution du facteur humain : nous assistons à une multiplication des rencontres homme-électricité du fait de l'augmentation du nombre d'utilisateurs, des points de livraison et des modes d'utilisation de cette énergie particulièrement souple ;
- évolution des techniques, nous constatons un foisonnement des applications nouvelles de l'électricité pour le confort, les transports, les communications, la médecine, la recherche, l'exploitation et la maintenance des matériels avec ou sans interruption du service.

Ces évolutions imposent l'étude de nouveaux paramètres notamment : tension de service, forme et fréquence du signal et temps d'exposition, modalités de contacts attendus ou accidentels.

Quoi qu'il en soit les lois physiques étant immuables, la présente étude synthétique rappelle que le danger dû à l'électricité pour l'être humain, lui-même générateur d'électricité, résulte toujours de l'effet d'une dose. La dose représente une certaine quantité d'électricité délivrée pendant un certain temps.

L'ouvrage rédigé par Aleksandra Piotrowski et Jacques Lambrozo est unique en son genre, pour une entreprise.

Il s'inscrit en ces périodes de concurrence affirmée et le risque de distanciation plus ou moins grande entre le financier, le concepteur, l'exploitant et l'utilisateur dans une volonté toujours maintenue de transparence et de transfert de savoir à la disposition du plus grand nombre.

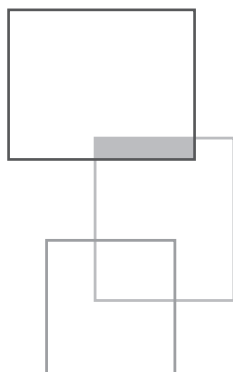
Dr Dominique Folliot

Ex-médecin coordonnateur à Électricité de France et Gaz de France

Coordonnateur GT/CEI chapitre 891 Electrobiologie, 1979

Chapter Editoe Electricity Physiological effects 40.2 Encyclopaedia of occupational health and safety 4th edition Vol II

Electrocution, Dictionnaire Sciences criminelles. Dalloz éd. 2004 pages 319 à 321

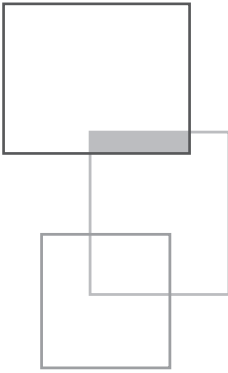


Remerciements

Nous voudrions rendre ici hommage à nos collègues, médecins d'EDF, qui par leur professionnalisme, ont fait progresser les connaissances en électropathologie et contribuer à la maîtrise du risque électrique dans l'entreprise. Leurs travaux sur 70 ans ont permis de développer nos savoirs et de constituer une école dédiée : Drs René Charles François, Henri Le Loch, Jean Cabanes et Élisabeth Gourbière, tous piliers de ce travail.

Cet ouvrage n'aurait pas vu le jour sans l'aide indispensable apportée par Stéphanie Billot, Anne Duburcq, Mireille Gary, Claudine Rapp Grimault, Camille Nevoret et ainsi que les Drs Denis Simon, Dominique Von Seckendorff, Catherine Godard, Philippe Chataignault et Thierry Calvez.

Last but not the least nous n'oublions pas de témoigner toute notre reconnaissance à Isabelle Magne, Pierre-André Cabanes, Véronique Ezratty, Loïg Belbeoc'h et Martine Souques qui en ont assuré la relecture patiente, rigoureuse et enrichissante.



Chapitre 1

Rappel historique

1.1 Introduction

L'électricité est synonyme de progrès, de confort et de sécurité, à tel point qu'il est devenu impossible dans nos sociétés de s'en passer. La vie économique, industrielle, la vie sociale et la vie tout court (parfois) en dépendent étroitement.

Le revers de la médaille est justement notre proximité familière qui tend à en faire oublier les risques. Invisible, incolore, silencieux, inodore et pourtant si proche, « le courant électrique » comporte des risques divers en regard de la multitude d'applications qu'il permet.

Certes, depuis le premier accident électrique mortel en 1879, des avancées en matière de protection et de prévention ont permis de réduire très significativement le risque électrique, notamment lorsqu'il est comparé à d'autres expositions de la vie professionnelle ou domestique. Mais le risque demeure et il doit être bien connu, compris et prévenu. C'est à ce prix que l'on peut atteindre l'asymptote.

Pour l'homme et la femme du XXI^e siècle, l'électricité à portée de main est un geste banal, obtenu presque inconsciemment en branchant une prise ou en appuyant sur un bouton.

Mais remontons le temps.

Nos premières connaissances semblent être celles décrites par Thalès et Milet vers 600 ans avant notre ère, elles concernent le pouvoir de l'ambre jaune qui frotté, devient capable d'attirer des corps légers. On n'en tirait pas d'autres explications que de reconnaître à l'ambre jaune la possession d'une âme et à la foudre d'être l'expression « du feu » de Zeus ou Jupiter selon les civilisations (Cabanès 1985, Blondel 1994).

En 1600, William Gilbert (1544-1603) invente le mot « électrique » à partir du grec ἤλεκτρον (*elektron*) qui signifie alors « ambre jaune » pour qualifier la force d'attraction à distance due au frottement des boules de verre. Il voulait mettre l'accent sur la différence entre l'action de l'« ambre » et de l'« aimant » (Blondel 1994). Cette période de découvertes et d'expérimentations nourries par de nombreuses observations ont justement servi de « terreau » aux connaissances actuelles.

En 1657, Otto Von Guericke (1602-1686) avec la boule de soufre frottée, fabrique la première machine qui produit une « décharge électrique » (Blondel 1994).

L'époque proprement scientifique, celle des expérimentations novatrices débute au XVIII^e siècle. Stephen Gray (1666-1736) en 1730 découvre la conduction de l'électricité classant les corps en deux catégories : les conducteurs qui laissent s'enfuir les « effluves » électriques et qui ne peuvent pas s'électriser par frottement et les isolants qui conservent les « effluves » électriques à leur surface.

En 1746, Peter Van Musschenbrœk (1692-1761) décrit l'expérience de la « bouteille de Leyde » du nom de l'université dans laquelle il enseigne, et ainsi qualifiée par l'abbé Nollet. À la différence des trois boules de verre frottées, la bouteille produit des décharges beaucoup plus fortes et semble accumuler l'électricité ; c'est en quelque sorte le premier condensateur. Nollet résume les connaissances de l'époque et décrit pour la première fois un aperçu des sensations de l'électrisation :

« Attirer et repousser des corps légers qui sont à une distance convenable ; faire sentir sur la peau une impression semblable à peu près à celle d'une toile d'araignée qu'on rencontrerait flottante en l'air ; répandre une odeur qu'on peut comparer à celle du phosphore, d'urine ou de l'ail ; lancer les aigrettes d'une manière enflammée ; étinceler avec éclat ; piquer très sensiblement le doigt ou toute autre partie du corps qu'on présente de près ; mettre le feu aux liqueurs ou vapeurs alcooliques ; enfin communiquer à d'autres corps la faculté de produire ces mêmes effets pendant un certain temps, voilà les signes les plus ordinaires d'après lesquels on a coutume de juger si un corps est électrique ».

Au XIX^e siècle débute la période de l'« électricité dynamique ». Alessandro Volta (1745-1827) met au point un électromètre puis en 1800, la pile voltaïque, à la suite d'une controverse avec Luigi Galvani (1737-1798) qui étudie l'électricité animale, sur un poisson torpille qu'il appelle « organe électrique artificiel » (Blondel 1994).

En 1820, Hans Christian Oersted (1777-1851) observe expérimentalement le lien entre électricité et magnétisme (un fil relié à une pile fait bouger l'aiguille d'une boussole), c'est le début de l'électromagnétisme. André-Marie Ampère (1775-1836) établit la base mathématique permettant d'expliquer ces expérimentations et présente le résultat de ses travaux le 18 septembre 1820 à l'Académie des sciences en introduisant la notion de courant. Il propose d'appeler « intensité du courant » la quantité de charges qui traverse le filament pendant une seconde. Aussi n'est-il pas étonnant qu'en 1881 le nom Ampère devienne l'unité d'intensité.

En 1831, Michael Faraday (1791-1867) découvre l'induction électromagnétique, dont l'une des applications sera le transformateur. Zénobe Gramme (1826-1901) met au point, entre autres, le principe du fonctionnement de la dynamo.

En 1889, Bourgneuf devient la première ville française éclairée par du courant continu, avec un site de production distant d'une dizaine de kilomètres.

Lucien Gaulard (1850-1888) invente en 1884 le transformateur, qui permet d'élever la tension délivrée par un alternateur, ce qui facilite le transport de l'énergie électrique par des lignes à haute tension.

À partir de 1880, les ampoules à incandescence mises au point par Thomas Edison (1847-1931) commencent à concurrencer le gaz dans les rues et les lieux publics. Il faudra attendre 1913 et Irving Langmuir (1881-1957) pour la mise au point de la lampe à filament de tungstène (Cabanes 1985).

En 1888, Nikola Tesla (1856-1943) met au point le système polyphasé et, à partir de là, on assiste au développement du transport de l'électricité par courant alternatif et à l'expansion rapide des premières applications de l'électricité. Dès lors, l'électricité est distribuée dans l'industrie (là où se produisent la majeure partie des accidents graves dits en haute tension) puis à domicile.

1.2 Premières expérimentations et premiers accidents

1.2.1 *Électricité d'origine naturelle : la foudre*

Les accidents liés à l'électricité naturelle, la foudre sont connus depuis l'Antiquité. Elle était censée traduire la colère des dieux vis à vis des hommes. La plus ancienne représentation connue de la foudre apparaît sur un sceau de l'époque babylonienne (Figure 1).

On y voit le dieu qui gouverne les météores, brandissant un fouet et dont le char est tiré par un animal mythique. Une divinité féminine tient dans ses mains le Feu du Ciel (Gary 1994).



Figure 1 Représentation de la foudre sur un sceau de Babylone (2000 ans avant JC).
© The Morgan Library & Museum. Morgan Seal 220. New York.

1.2.2 **Électricité statique**

La nature électrique de la foudre a été comprise à la suite des études expérimentales sur l'électricité statique au cours du XVII^e siècle.

Des machines électrostatiques sont alors mises au point ; d'abord par Otto von Guericke avec la boule de soufre ; puis avec les machines de Ramsden et Leyde qui ont permis de réaliser une expérimentation sur les animaux et les humains.

Stephen Gray a sans doute le premier appliqué un courant électrique sur un être humain en 1730. Gray montrait qu'un jeune garçon pouvait devenir « électrique » : c'est-à-dire attirer des corps légers lorsqu'il était touché par un tube de verre frotté. À son tour Dufay se suspend par des fils de soie pour étudier les effets de l'électricité sur le corps humain. Son jeune assistant, l'abbé Nollet, ayant « électrisé » son doigt et s'approchant du corps suspendu de Dufay ressent et voit une « étincelle » qu'il nomme « le feu électrique ». Il fait ensuite sursauter, devant Louis XV et sa cour, 180 gardes royaux se tenant par la main puis il renouvelle l'expérience avec un ensemble de moines parisiens qui en se tenant par la main formaient une chaîne de 1,5 km (Cabanes 1985, Blondel 1994). Commotions, convulsions, saignements de nez sont décrits au cours d'expériences de ce type. Toute l'Europe veut connaître les émotions de l'électrisation et paie même pour l'expérimenter.

1.3 **Électricité produite industriellement**

La première utilisation de l'électricité dans le monde du spectacle date de la représentation de l'opéra de Meyerbeer : « *Le prophète* » en 1849, et le premier accident mortel par électrisation daterait de 1879. Un machiniste de théâtre à Lyon étant entré en contact avec un conducteur sous une tension de 250 volts (V) est électrocuté. Il sera suivi, un an plus tard, par la mort d'un musicien d'orchestre dans un théâtre à Birmingham (Cabanes 1985, Blondel 1994).

En 1890, dans l'État de New York a lieu la première exécution légale par chaise électrique. La tension était de 1700 V, l'intensité du courant pouvant atteindre 8 A avec un temps de passage de 3 à 8 minutes. (Lee, Cravalho *et al.* 1992).

Dès cette époque se pose la question de la physiopathologie de la mort liée au passage du courant électrique. En 1899, on assiste à un progrès important lorsque deux équipes, Jean Louis Prévost (1837-1927) et son assistant Federico Battelli (1867-1941) en Suisse d'une part et, R.H. Cunningham aux États-Unis montrent que la « *paralysie du cœur* » correspond à une fibrillation ventriculaire, sans pouvoir encore en expliquer le mécanisme. Il apparaît alors que la fibrillation ventriculaire représente la cause principale du décès par électrocution. Les autres causes évoquées par Jex Blake en 1913 : « contracture » tétanique des muscles respiratoires et inhibition respiratoire centrale interviennent plus rarement mais rendent compte des inhibitions des centres respiratoires bulbaires et des arrêts respiratoires transitoires (Jex-Blake 1913). Ces chercheurs sont présents dans le célèbre tableau de Raoul Dufy « la fée électricité » (figure 2).

À la même époque, les expérimentateurs eux-mêmes, comme plus tard les radiologues avec les rayons X, sont victimes d'accidents d'origine électrique.

Le nombre d'accidents mortels augmente rapidement ainsi en 1888 on estimait à près de 200 le nombre annuel d'électrocutions aux États-Unis. Heureusement la fréquence des accidents d'origine électrique ne suivra pas la courbe de la consommation d'électricité. À titre d'exemple, en Angleterre la consommation électrique est multipliée par un facteur 50 pour la période de 1920 à 1975 tandis que le nombre d'accidents mortels est multiplié par 5 (Cabanes 1985).



Figure 2 *Registre inférieur du tableau de Raoul Dufy « La Fée électricité » 1937. Musée d'art moderne de la ville de Paris. © Adagp, Paris [2022].*

Plus près de nous, car elles appartiennent à l'histoire de l'électropathologie, mais dans le registre prévention, les brûlures des lèvres et de la langue chez le petit enfant, qui laissaient des cicatrices chéloïdes sources de séquelles fonctionnelles et inesthétiques ont disparu (Figure 3).



Figure 3 *Blessure aux lèvres d'un enfant à la suite d'une électrisation. Photothèque EDF, 2008.*

L'usage des prises à éclipse, qu'elles soient murales ou mobiles, assure chez l'enfant comme chez l'adulte une sécurité optimale.

1.4 Les applications médicales

« Je suis persuadé que les médecins finiront par abandonner cette méthode barbare qui, sous prétexte de médicament, consiste à nous empoisonner avec toutes les drogues toxiques de la chimie. Des agents physiques tels que l'électricité sous toutes ses formes permettront d'agir puissamment et efficacement sur les sources de vie. »
Arsène d'Arsonval (1851-1940).

Christian Kratzenstein (1723-1795) en Allemagne, dans une publication de 1744 note que le contact avec des boules de verre frottées, en accélérant le pouls, favoriserait la circulation sanguine.

Dès 1751 Benjamin Franklin (1706-1790) électrise un poulet en dirigeant un choc électrique sur la tête et le réanime à l'aide d'insufflations. Il s'agit probablement du premier récit d'utilisation de la ventilation artificielle après un électrochoc (Cabanes 1985).

C'est de 1774 que daterait une des premières applications médicales avec une décharge électrique chez un jeune homme en état de mort apparente, suivie d'une ventilation spontanée (Blondel, Rasmussen *et al.* 2016).

En 1780, Nicolas Le Dru (1731-1807) va l'un des premiers découvrir les ressources de l'électrothérapie.

Déjà, dès le début du XIX^e siècle les médecins s'intéressent au bénéfice des « effluves » produits par les machines électriques (à l'époque les boules de verres frottées).

Le médecin, biologiste et physicien français, d'Arsonval va utiliser le courant sous tension plus ou moins élevée pour développer l'électrothérapie, appelée la « Darsonvalisation » (Figure 4).

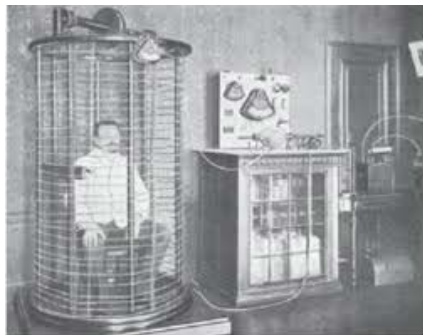


Figure 4 Un patient darsonvalisé dans le solénoïde d'autoconduction. *La Science et la Vie*, juillet 1913, p. 13.

En conséquence durant la seconde moitié du XIX^e siècle, nombre d'électriciens se proclament « guérisseurs » et leurs machines, souvent sommaires, se répandent dans les hôpitaux. Dans toute l'Europe et l'Amérique, paralytiques, migraineux, épileptiques font l'objet de « cures » électriques. Malgré ces premières dérives, l'électricité devient et demeure omniprésente en médecine, qu'il s'agisse notamment du bistouri de coupe ou de coagulation, du défibrillateur automatique, en passant par le développement des neuro stimulateurs électrique transcutanés (T.E.N.S.) (Daniel L. Kirsch, 1980).

1.5 Les « armes électriques »

Les armes électriques à impulsions, tels que les pistolets à impulsion électrique (*electrical stun gun* ou TASER), sont des armes utilisées par les forces de l'ordre délivrant un courant de haute tension (Encadré 1).

Encadré 1 - Armes électriques à impulsions.

Source : *Pistolet à poing à impulsion électrique*. Mark W. Kroll, Ingénierie Biomédicale de l'Université de Minnesota

Les pistolets à impulsion électrique PIE, sont utilisés aux États-Unis en raison de la réduction des blessures graves et mortelles occasionnées par les tirs. Des études prospectives révèlent une réduction significative de l'ordre de 65 % environ du taux de blessures et de la mortalité par tir (Ferdik, Kaminski *et al.* 2014).

Les impulsions électriques de courte durée (50-100 microsecondes (μ s)) sont destinées à stimuler les motoneurons de type alpha, qui contrôlent la contraction du muscle squelettique, avec un risque minime de stimulation du muscle cardiaque. Ces impulsions conduisent généralement à une perte de contrôle musculaire local qui entraîne une chute au sol permettant de mettre fin à une confrontation ou une tentative de suicide (Ho, Dawes *et al.* 2012, Criscione et Kroll 2014).

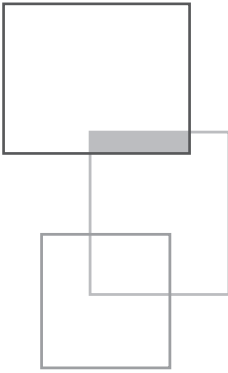
Les impulsions sont délivrées avec une charge de 60-100 microcoulomb (μ C) à une fréquence de 18-22 Hz et un courant moyen inférieur à 2 mA.

Les expériences sur des cochons de petite taille (~ 30 kg), plus sensibles au courant électrique en raison de leur réseau de Purkinje en position post-murale montrent un risque de fibrillation ventriculaire (FV) lorsque les électrodes PIE sont placées entre 2 et 8 mm du cœur (Kroll, Ritter *et al.* 2018). Les études chez l'homme montrent majoritairement une absence de risque de FV chez l'adulte (> 50 kg).

Les risques de décès proviennent de lésions cérébrales ou de la moelle épinière (découlant d'une chute) ou de l'inflammation de vapeurs explosives. (Kroll, Adamec *et al.* 2016, Kroll, Ritter *et al.* 2017).

Les cartouches d'armes PIE à poing d'Axon déploient des sondes à l'aide de gaz comprimé inerte à 50 m/s.

Le principal risque de blessure est la cécité causée par une sonde atteignant l'œil.



Chapitre 2

Les accidents d'origine électrique en chiffres

La plupart des pays disposent de données de létalité mais ne distinguent pas toujours les accidents professionnels et domestiques.

2.1 Accidents d'origine électrique non professionnels

Grâce aux progrès de la prévention et à l'éducation du public, la courbe de l'augmentation de la production et de la consommation d'énergie électrique n'est pas corrélée à l'incidence des accidents dus à l'électricité. Au contraire, le nombre d'accidents d'origine électrique domestiques et professionnels a diminué de 50 % en 25 ans. Cependant, il reste difficile à estimer précisément, car, de gravité variable, ces accidents ne donnent pas toujours lieu à une déclaration, à une consultation ou à une hospitalisation.

Selon les études internationales, les accidents d'électrisation représentent 0,05 à 5 % du recrutement des centres de traitement des brûlés dans les pays occidentaux (Hunt, Sato *et al.* 1980, Gueugniaud, Vaudelin *et al.* 1997, Aggarwal, Maitz *et al.* 2011, Shih, Shahrokhi *et al.* 2017).

2.1.1 **Foudroiemnt**

Selon Météo-France, on dénombre, en moyenne, en France 500 000 impacts de la foudre au sol et 260 jours d'orage par an. Les conséquences non négligeables sont humaines (en moyenne 10 à 20 décès annuels), animales (près de 2000 têtes de bétail périssent par foudroiemnt) et matérielles, sur les réseaux électriques, les bâtiments (dont le matériel informatique) et les aéronefs.

Elle endommage chaque année 15 à 20 % du parc informatique français et des milliers d'appareils. Lorsqu'elle frappe les lignes d'alimentation électrique, elle suit le réseau électrique de l'habitation et provoque une surtension dans les appareils reliés à ce réseau. Les éteindre ne suffit pas, il faut les débrancher et même veiller à ce que la fiche soit éloignée de la prise pour éviter qu'un arc électrique ne jaillisse entre les deux.

Les conséquences économiques dépassent le milliard d'euros. Si les foudroiemnts en montagne ou sous un arbre sont des circonstances bien connues des randonneurs et des alpinistes, le foudroiemnt en téléphonant (avec un téléphone GSM) par temps d'orage mérite une mention particulière car le coup de foudre peut survenir surtout en campagne (en ville les immeubles font en quelque sorte office d'écran) à plusieurs kilomètres et la surtension générée localement sur la ligne va se propager jusqu'au poste de téléphone, où elle se manifestera sous forme d'une différence de potentiel entre le poste et la terre. Si ce poste est installé trop près d'une pièce métallique mise à la terre, telle que corps de chauffe, réfrigérateur, etc., la personne en train de téléphoner, qui forme un pont conducteur, va être traversée par un courant. Il en résulte une très forte commotion et parfois, quoique rarement, un décès.

Encadré 2 - Le médecin face au foudroyé.

Source : Pr. Christian Virenque. Professeur honoraire de l'Université Toulouse III, fondateur des SAMU, spécialiste de médecine d'urgence au CHU de Toulouse. *Nous le remercions chaleureusement (n.d.l.r.).*

Lors d'un foudroiemnt, le rôle des témoins et ou des personnes de passage est essentiel dans le déclenchement de l'alerte et ceci bien que l'emploi du téléphone mobile puisse être dangereux alors que l'orage perdure. Dans l'attente des secours, la pratique de la réanimation cardio-pulmonaire (RCP) est évidemment basique jusqu'à leur arrivée, munis d'un défibrillateur automatisé externe (DAE). Un choc électrique in situ peut bien entendu rétablir l'hémodynamique.

Dans des situations moins dramatiques, le contrôle de la voie veineuse, un remplissage, l'injection de sédatifs, d'analgésiques, le contrôle de la liberté des voies aériennes, l'oxygénothérapie, voire la respiration artificielle, enfin les gestes visant la gestion des lésions traumatiques éventuelles permettent à l'urgentiste de mettre en condition la victime pour l'aider à supporter l'évacuation vers un établissement de soins prévenu par le médecin régulateur. Même dans les cas les plus légers marqués par une perte de connaissance (PC) de courte durée, la mise en

observation est impérative. Notons qu'un collectif de foudroyés peut nécessiter de déclencher un plan de secours.

Dans tous les cas, l'équipe d'intervention renseigne une fiche médicale comportant le bilan circonstanciel, fonctionnel, lésionnel. On pratique aujourd'hui des prélèvements de vêtements et objets mais aussi de sang et d'urines à transmettre à un laboratoire spécialisé dans la mise en évidence de nanoparticules (notamment dans une perspective médico légale).

Le médecin du service d'accueil réalise un examen clinique complet en particulier neurosensoriel, cardiaque, ORL, ophtalmo et psychologique. Sur le plan paraclinique, on conseille l'EKG, un bilan biologique général incluant dosage des enzymes (transaminases, créatine kinase et troponine pour l'essentiel), de la myoglobine, une imagerie cérébro-médullaire. Un dossier référentiel est ainsi constitué particulièrement intéressant par rapport aux complications retardées très souvent observées plusieurs semaines plus tard.

L'imputabilité, à l'accident de foudroiement, de ces manifestations retardées sera établie par une consultation spécialisée dont les coordonnées sont fournies au patient.

Le soutien psychologique est très souvent nécessaire face aux dépressions et signes de stress post-traumatique qui s'installent dans le mois qui suit, dans une grande majorité de cas. Si la plupart des cas n'imposent qu'une mise en observation de quelques heures, les formes les plus graves aboutissent à des soins intensifs puis de rééducation qui peuvent être très prolongés.

En cas de décès, une vérification anatomique serait très utile pour contribuer à mieux comprendre les effets biologiques de la foudre sur les êtres vivants.

2.1.2 **Accidents domestiques**

2.1.2.1 **En France**

Les accidents d'origine électrique font partie des accidents de la vie courante (AcVC). En 2017, 21 470 décès par AcVC ont été recensés en France métropolitaine (taux standardisé : 28,1/100 000) (Figure 5). Une surmortalité masculine a été retrouvée : 36,7/100 000 chez les hommes *versus* 21,3/100 000 chez les femmes. Des disparités régionales existent. Les deux tiers des décès par AcVC concernent les personnes de 75 ans et plus.

Les chutes, les coups, les écrasements/coupures/perforations, les corps étranger et les surmenages¹ physiques sont les principaux mécanismes de décès par AcVC.

1. Surmenage survenu en poussant, tirant, soulevant, saisissant, en tordant, en tournant et autres surmenages, incluant notamment les entorses et les faux-mouvements.

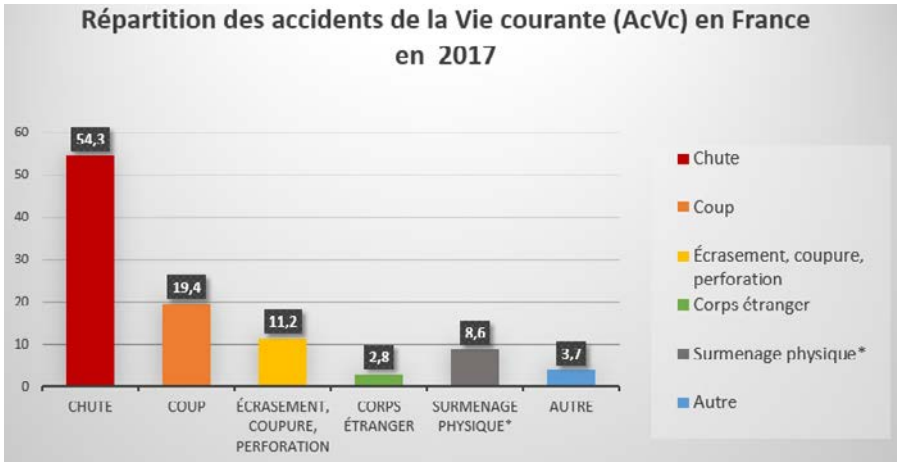


Figure 5 Nombre d'accidents de la vie courante en France en 2017 (2018).

Depuis 2000, le taux de mortalité par AcVC a diminué de 2,2 % par an. Cette diminution, variable selon les types d'AcVC, a été observée surtout chez les moins de 15 ans (5,4 % par an). Cependant depuis 2006, une augmentation des décès par AcVC est à nouveau constatée.

Le nombre d'accidents d'origine électrique mortels varie entre 30 et 80 cas annuels. En 2008, 61 cas d'électrocution ont été enregistrés, 48 cas en 2010, 32 en 2012, 50 en 2013 et 40 en 2015 (INSERM 2016, Lasbeur et Thélot 2017, Ung, Hatignoux *et al.* 2021).

Encadré 3 - Méthode de recueil des statistiques nationales des causes médicales de décès.

En France, le Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDC) de l'Inserm est chargé d'élaborer annuellement la statistique nationale des causes médicales de décès en collaboration avec l'INSEE. Le CépiDC après avoir analysé les diagnostics mentionnés sur les certificats médicaux de décès, les code selon les règles de la Classification Internationale des Maladies (CIM) de l'Organisation Mondiale de la santé (OMS). La CIM est la norme internationale de référence pour l'enregistrement, la notification, l'analyse, l'interprétation et la comparaison systématiques des données de mortalité et de morbidité.

Les codes correspondent aux expositions au courant électrique dans la CIM-10 :

- W85 : Exposition aux lignes électriques
- W86 : Exposition à d'autres formes précisées de courant électrique

- W87 : Exposition au courant électrique, sans précision. Sont inclus brûlure ou autre lésion traumatique dues au courant électrique sans détail ; choc électrique sans autre indication ; électrocution sans autre indication.

Cela correspond au code NF08-4 dans la dernière version CIM-11.

Les accidents chez les enfants sont mieux répertoriés. Leur nombre avoisine en France 2000 par an chez les enfants en âge de la marche soit de 18 mois à 2 ans. Par exemple entre 1999 et 2001, 21 % des électrisations concernaient les enfants de moins de 5 ans, quel que soit le sexe (Aurengo 1997, Institut de veille sanitaire (InVs) 2004).

En 41 ans, le nombre d'électrocutions a été divisé par 5, passant d'environ 200 décès par an à 40. Cette baisse constante du nombre d'électrocutions est directement liée à l'évolution de la réglementation et de la normalisation :

- norme NF C 15-100 et la prise de terre en 1969,
- tableau électrique en 1980,
- dispositif différentiel 30 mA en 1991,
- diagnostic électrique obligatoire (DEO) pour la vente des logements de plus de 15 ans en 2009,
- DEO pour la location d'un logement à partir de 2017.

Habitation

L'Observatoire National de la sécurité électrique (ONSE) estime à 3 000 le nombre de personnes victimes d'électrisation. Dans les logements avec des installations électriques datant de plus de 15 ans, deux tiers d'entre eux ne respectent pas au moins un des six points de sécurité du Décret n° 2008-384 du 22 avril 2008 :

- prise de terre défectueuse (80 %),
- mauvaise liaison équipotentielle et la zone de sécurité des salles d'eau (60 %),
- risque de contacts directs avec des éléments sous tension (60 %),
- appareils vétustes (50 %).

Pêcheurs en eau douce

Les accidents des pêcheurs sont particulièrement redoutables et pourtant évitables par une information régulièrement répétée. Un contact, voire la proximité (moins de 60 cm) entre les cannes à pêche en graphite et/ou carbone, et des câbles électriques peut générer des brûlures sévères affectant principalement les membres supérieurs (Chi, Ning *et al.* 1996, Yuan et Peng 2002).

Des actions de sensibilisation et de prévention spécifiques auprès des publics les plus exposés sont déployées. Enedis et RTE éditent des brochures avec des recommandations de sécurité notamment pour les pêcheurs (Figure 6). Un seul mot d'ordre : « *Pour les loisirs, comme pour le travail, restez à distance des lignes électriques* ». (2016)

« En manœuvrant votre canne à pêche ou votre fil trop près des lignes électriques, vous encourez un risque d'électrocution. »

Depuis 2014, RTE a renforcé son partenariat de sensibilisation avec la Fédération Nationale de Pêche en France (FNPF). Ensemble, nous déclinons la coopération auprès de chaque fédération départementale, identifions les zones potentiellement à risque et créons un module de formation pour tous. Nous avons par exemple sécurisé la pratique de la pêche sur l'étang de Batavia, situé dans la commune d'Arques (62), surplombé par une ligne électrique, en installant des bouées signalétiques avec la Fédération de pêche du Pas de Calais.

Agriculteurs

La conduite d'engins, les feux et l'arrosage à proximité des lignes électriques sont autant de gestes susceptibles de vous mettre en danger (ENEDIS 2017).

Depuis 2010, RTE et ENEDIS coopèrent avec la Caisse Centrale de la Mutualité Sociale Agricole (CCMSA) pour promouvoir localement la prévention des risques d'accident.

Entreprises de Travaux Publics

Avant de lancer un chantier, chaque entreprise est tenue d'identifier les réseaux de transport et de distribution d'électricité potentiellement impactés. Objectif : examiner avec le gestionnaire les principales mesures de prévention à mettre en œuvre.



Figure 6 « Électricité Prudence – Gardons nos distances », ENEDIS 2017.

En 2008, une charte de suivi de prévention des risques électriques (formation, sensibilisation, rappel de la réglementation, etc.) a été signée par les partenaires suivants : ENEDIS, le Syndicat National du Pompage du Béton (SNPB), le Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNPBE), l'Union de la Maçonnerie et du Gros Œuvre (UMGO), l'Union Nationale des Entrepreneurs de Sols Industriels (UNESI), l'Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics (OPPBTP), la Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment (CAPEB).

Utilisateurs de matériel de location

En présence de lignes électriques aériennes, les échafaudages et autres engins télescopiques sont susceptibles de compromettre la sécurité des intervenants. C'est pourquoi, avant de débiter un chantier, il est impératif de vérifier qu'aucun réseau d'électricité n'est impacté par l'emprise des travaux. Les entreprises qui doivent effectuer des travaux proches d'une ligne électrique aérienne, doivent rédiger une Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT) avant le début du chantier en faisant référence à la Déclaration de projet de Travaux (DT) transmise par le donneur d'ordre. La distance des travaux à la ligne doit être estimée et indiquée dans la déclaration. Avant les travaux, le site : construire sans détruire² permet de connaître les exploitants de réseau impactés par l'emprise des travaux.

Pratiquants d'un sport de plein air

Les ouvrages électriques présentent un risque majeur pour les utilisateurs d'ULM, parapentes, montgolfières, etc. Depuis 2010, RTE et ENEDIS coopèrent avec la Fédération Française d'Aérostation (FFA) pour sensibiliser les adhérents aux risques.

Élagueurs

L'élagage d'un arbre à proximité d'une ligne électrique implique une réglementation spécifique et des précautions particulières.

Pompiers

Lors d'opérations de secours, ils sont régulièrement amenés à intervenir à proximité ou directement sur les ouvrages électriques et sont parfaitement sensibilisés à ce risque.

2.1.2.2 En Europe

Les statistiques les moins fiables concernent de fait les accidents d'origine électrique domestiques et de loisirs.

2. <https://www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr/gu-presentation/construire-sans-detruire/tele-service-reseaux-et-canalisation.html>

À partir du taux de décès global annuel de 0,066 pour 100 000 personnes en France et au Royaume-Uni, le *Forum for European Electrical Domestic Safety* estime le nombre d'électrocutions en Europe à 300 par an (Concas, Dôme *et al.* 2020).

Selon ce rapport, les accidents d'origine électrique ainsi que les incendies domestiques associés s'expliquent en grande partie par la vétusté d'une partie des logements en Europe. Ainsi 86 % des maisons de l'UE ont plus de 25 ans et 51 % plus de 45 ans (Concas, Dôme *et al.* 2020).

2.1.2.3 Aux États-Unis

Aux États-Unis, la tension du courant domestique est de 110 volts. L'électricité serait responsable d'environ 1 000 décès par an. Parmi ceux-ci, environ 400 sont dus à des brûlures électriques à haute tension. On ne dénombre pas moins de 30 000 incidents de chocs électriques (électrisation) par an non létaux. Chaque année, environ 5 % de toutes les admissions en service de brûlés sont consécutives à l'électricité. Chez les adultes, ces lésions surviennent surtout en milieu professionnel. Elles sont la quatrième cause de décès par accident de travail. Chez les enfants, les brûlures électriques surviennent naturellement le plus souvent à la maison (Foris et Huecker 2017).

Bien que les installations électriques à 3 fils (neutre/phase/terre) aient été imposées dans les années 60, au tournant du XXI^e siècle, seulement la moitié environ des installations aux États-Unis disposaient de mises à la terre selon UL. De plus, quand elle est présente, la mise à la terre n'est pas toujours dûment réalisée. Pour pallier ce problème il est possible de recourir à l'utilisation d'adaptateur de prise « mis à la terre », également connu sous le nom de *plug cheater* (« prise tricheur ») pour permettre au produit de fonctionner (Perkins 2017).

2.2 Accidents du travail d'origine électrique

2.2.1 Situation en France

Une notable diminution car leur nombre est passé de 3 000 avant 1975 à 534 en 2019 selon la Caisse Nationale d'Assurance Maladie (Figure 7).

« Les accidents d'origine électrique se produisent surtout lors d'opérations sur des installations fixes basse tension (armoires, coffrets, prises de courant, etc.), au cours de l'utilisation de machines-outils portatives, ou lors d'interventions sur ou au voisinage de lignes aériennes, de postes de transformation ou de canalisations enterrées » (INRS 2021). Aussi représentent-ils un pourcentage faible et sensiblement stable de 0,10 à 0,12 % de l'ensemble des accidents du travail avec au moins 4 jours d'arrêt.

En revanche, si l'incidence est faible, leur gravité demeure. En 2019, les accidents mortels d'origine électrique représentaient 0,4 % de tous les accidents du travail mortels mais un peu moins de 0,1 % de l'ensemble des accidents du travail.

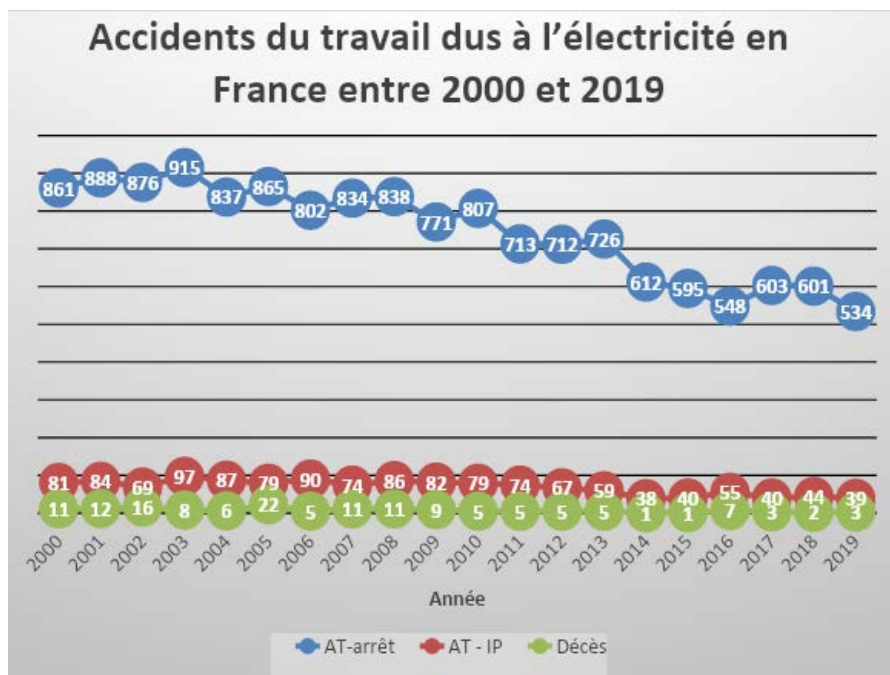


Figure 7 Accidents du travail dus à l'électricité en France. Caisse Nationale d'Assurance Maladie. AT-4 jours : accidents du travail avec au moins 4 jours d'arrêt, IP : accidents ayant entraîné une incapacité permanente, Décès : accidents ayant entraîné la mort.

Les accidents d'origine électrique sont donc quatre fois plus souvent mortels que les autres accidents du travail (Assurance Maladie 2020).

Trente pour cent des incendies seraient d'origine électrique. Les principales causes sont selon l'INRS :

- l'échauffement des câbles dû à une surcharge,
- le court-circuit entraînant un arc électrique,
- un défaut d'isolement conduisant à une circulation anormale du courant entre récepteur et masse ou entre récepteur et terre,
- des contacts défectueux (de type connexion mal serrée ou oxydée) entraînant une résistance anormale et un échauffement,
- la foudre,
- une décharge électrostatique.

Selon les Comités Techniques Nationaux (CTN) en 2019, les salariés les plus gravement touchés appartenaient aux entreprises du bâtiment et travaux publics (23,6 %) car les flèches des grues peuvent entrer en contact lors d'une manœuvre avec un

conducteur sous tension, d'activités de service et de travail temporaire (23,4 %) et de métallurgie (15,9 %).

En 2019, trois accidents mortels avaient été déplorés dans le secteur Industries des transports, de l'eau, du gaz, de l'électricité (CTN C).

2.2.2 Situation du Groupe EDF en France : les succès de la prévention

Le groupe EDF au sein du monde du travail est un cas particulier. Si le risque d'accident électrique y est amplifié par la nature même de l'activité professionnelle, on y observe une tendance remarquable à la diminution de leur nombre, du fait d'une politique active de prévention qui porte ses fruits.

La spécificité de la réglementation française en matière de sécurité et de santé au travail, ainsi que la qualité des données disponibles amènent à s'intéresser plus particulièrement aux entités françaises du groupe EDF : celle qui gère les principaux centres de production (EDF SA), celle qui gère le réseau de distribution d'électricité (ENEDIS, ex-ErDF) et RTE qui gère le réseau de transport d'électricité.

Entre 1950 et 2000 le nombre d'accidents d'origine électrique non létaux est réduit d'un facteur 6 et celui des accidents d'origine électrique létaux d'un facteur 25, alors que le nombre d'agents a augmenté de 1,5 fois et la consommation électrique multipliée par 14 (Figure 8).

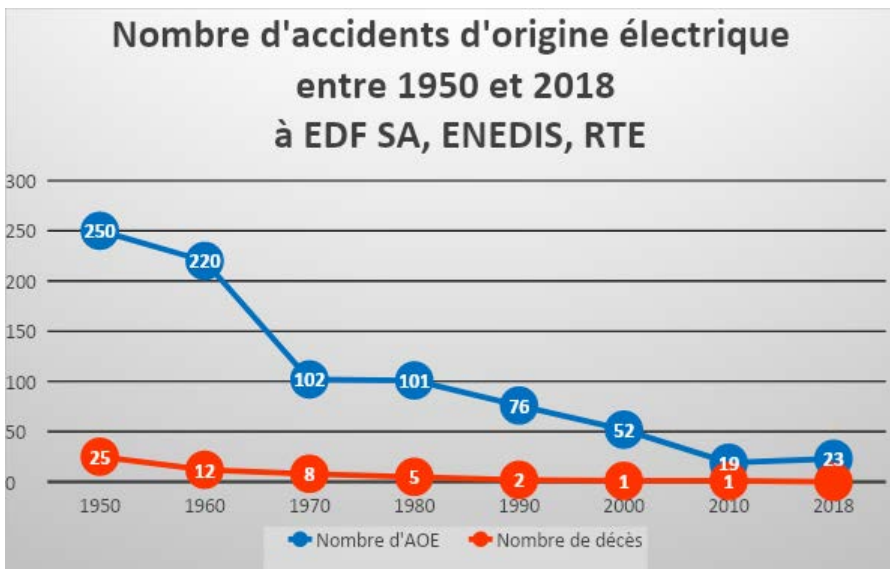
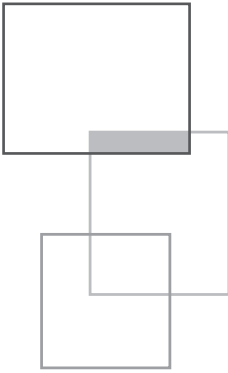


Figure 8 Évolution des accidents d'origine électrique chez les agents d'EDF SA, RTE, ENEDIS.

Une analyse plus détaillée montre que la décroissance du nombre d'accidents électriques non létaux est franche entre les années 1960 et les années 1970 puis un plateau semble atteint dans les années 1970, pour connaître une nouvelle réduction à la fin des années 80. La courbe des accidents d'origine électrique létaux est régulièrement décroissante.

Durant les 20 dernières années, les accidents d'origine électrique représentent, selon les années, entre 0,7 % et 1,6 % de l'ensemble des accidents de travail d'EDF France.

Par ailleurs, il faut noter qu'aujourd'hui les installations basse tension sont plus accidentogènes que celles en haute tension.

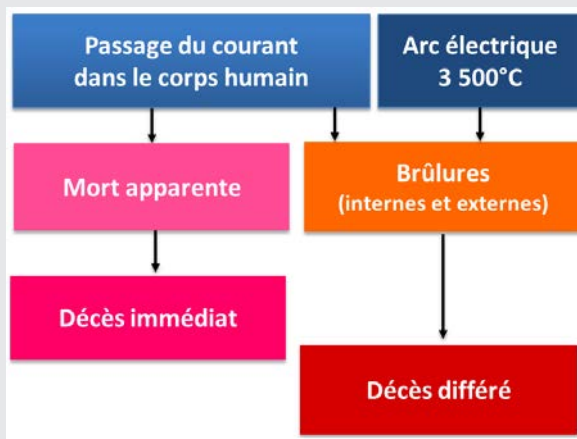


Chapitre 3

Physiopathologie de l'électrisation

Encadré 4 - À retenir : physiopathologie de l'électrisation.

Les deux principales conséquences de l'électrisation sont la fibrillation ventriculaire et les brûlures. L'électrocution est une électrisation mortelle, le plus souvent (mais pas exclusivement) par fibrillation ventriculaire.



L'électrisation concerne toutes les conséquences du passage du courant à travers le corps humain. Elle implique que deux points du corps humain soient portés

à des potentiels différents. L'aspect initial ne doit pas faussement rassurer car le courant suit les axes vasculo-nerveux et entraîne des brûlures à distance, graves et étendues.

Les brûlures électriques sont évolutives. Des nécroses progressives des tissus sous-jacents ou en amont des points de contact peuvent se manifester. Notamment la survenue d'un syndrome des loges au niveau des membres, qui va nécessiter une aponévrotomie de décharge, voire une amputation.

Des brûlures en apparence bénignes peuvent dissimuler une destruction tissulaire évolutive.

3.1 Généralités et définitions

De manière générale, à tension égale, le courant continu est moins dangereux que le courant alternatif.

3.1.1 Paramètres du danger électrique

L'énergie qui tue c'est du courant + la durée de contact

Les différents paramètres du risque électrique sont étroitement liés entre eux par deux lois :

- **La loi d'Ohm** $U = Z I$

L'impédance (ou la résistance quand l'inductance et la capacité peuvent être négligées) joue un rôle essentiel. Pour une impédance donnée quand la tension U augmente, le courant I augmente proportionnellement mais lorsque l'impédance diminue (si la peau est humide par exemple), pour une tension donnée l'intensité va notablement augmenter.

- **La loi de Joule** $W = Z I^2 t$

La loi de Joule rend compte du dégagement de chaleur dans l'organisme (donc de la gravité de la brûlure). Elle fait intervenir le carré de l'intensité, l'impédance mais aussi le facteur TEMPS.

Les différents paramètres du risque électrique et leurs unités sont :

- $[U]$ définit la tension exprimée en volts (V). La tension (ou différence de potentiel) entre 2 points représente la force électrique avec laquelle le courant est transmis. Elle peut être comparée à la pression de l'eau elle-même fonction de la hauteur de chute : plus cette hauteur est élevée plus la pression sera importante.
- $[I]$ définit l'intensité exprimée en ampères (A) et correspond au débit de charges électriques Q à travers une surface, c'est-à-dire $I = Q/t$. Elle peut être comparée

au débit d'un fleuve : plus le débit est élevé plus le risque est grand d'être emporté.

- $[R]$ définit la résistance exprimée en ohms (Ω). C'est la résistance du corps au passage du courant. Elle est inversement proportionnelle au risque d'électrisation. Elle peut être comparée au diamètre d'un tuyau d'eau. Plus le diamètre est grand, plus il passe d'eau : la résistance à l'écoulement est faible.
- $[Z]$ définit l'impédance totale du corps, exprimée en ohms (Ω). C'est la somme vectorielle de l'impédance interne du corps (essentiellement résistive et proportionnelle au contenu en eau des tissus) et de l'impédance de la peau (dont la composante capacitive n'est pas négligeable).
- $[t]$ le temps de passage du courant, exprimé en secondes (s).
- $[W]$ énergie sous forme de chaleur, exprimée en watt (W) ou en Joule (J).
- $[P]$ puissance : énergie divisée par le temps, exprimée en watt (W) peut également se calculer à partir de la tension multipliée par le courant.
- $[f]$ définit la fréquence du courant exprimée en hertz (Hz).

Ainsi le défibrillateur produit un choc électrique avec une tension de 1000 V, une intensité de 20 A pendant 10ms.

$$P = 1000 \text{ V} \times 20 \text{ A} = 20\,000 \text{ W}$$

$$\text{Énergie délivrée en joules : } 20\,000 \text{ W} \times 0,01 \text{ s} = 200 \text{ J}$$

Il faut noter qu'outre les brûlures thermiques secondaires à l'effet Joule, intervient l'électroporation responsable de la perméabilisation des membranes cellulaires et de la dénaturation des macromolécules telles que les protéines par formation directe des macromolécules toxiques (Lee, Zhang *et al.* 2000).

3.1.2 Types de courant

Le courant électrique résulte de la circulation d'électrons dans un corps conducteur (certains métaux, les gaz, etc.). Il existe de nombreux types de courant. Les deux principaux sont :

- le courant alternatif (-) dont les fréquences les plus répandues sont 50 et 60 Hertz,
- le courant continu (=).

Le courant continu

Un courant est dit continu lorsqu'il s'écoule continûment dans une seule direction. Le flux des électrons s'écoule toujours dans le même sens, de la borne négative vers la borne positive.

Le courant continu est produit par l'activité chimique d'une batterie ou d'une pile dans un circuit électrique fermé.

Le courant alternatif

Un courant alternatif circule alternativement dans une direction puis dans l'autre à intervalles réguliers appelés cycles. Il est de forme sinusoïdale (Figure 9) et il change de sens 100 fois par seconde (50 cycles) ; c'est ce qui définit la fréquence de 50 Hz de notre courant alternatif.

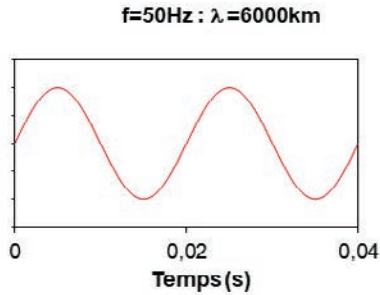


Figure 9 *Signal sinusoïdal (Perrin et Souques 2018).*

Il est produit par la rotation d'un alternateur. C'est le cas des centrales électriques où l'électricité est produite grâce à une turbine et un alternateur.

Le courant alternatif est distribué selon deux modalités :

- le courant monophasé (repose sur une différence de tension entre la phase et le neutre de 230 volts) pour la plupart des utilisations domestiques,
- le courant triphasé (trois phases déphasées de $2\pi/3$ et un neutre) permet une tension plus importante et convient aux appareils fonctionnant en 400 volts, par exemple des moteurs, et permet également de limiter les pertes lors du transport de l'électricité par rapport au courant monophasé.

3.1.3 Domaines de tension

L'électricité produite par les centrales est acheminée sur de longues distances par des lignes à très haute tension, dite « HTB », entre 50 000 et 400 000 volts, gérées par RTE.

L'électricité est ensuite modifiée dans des postes de transformation placés à l'interconnexion des réseaux de transport et de distribution.

Une fois sur le réseau de distribution, l'électricité haute tension (HTA – entre 1000 V et 50 000 V, le plus souvent 20 000 V en France) alimente directement les clients industriels. Pour les autres clients (particuliers, commerçants, artisans, etc.), elle est convertie en basse tension (400 ou 230 V) par des postes de transformation avant de leur être livrée (Figure 10).

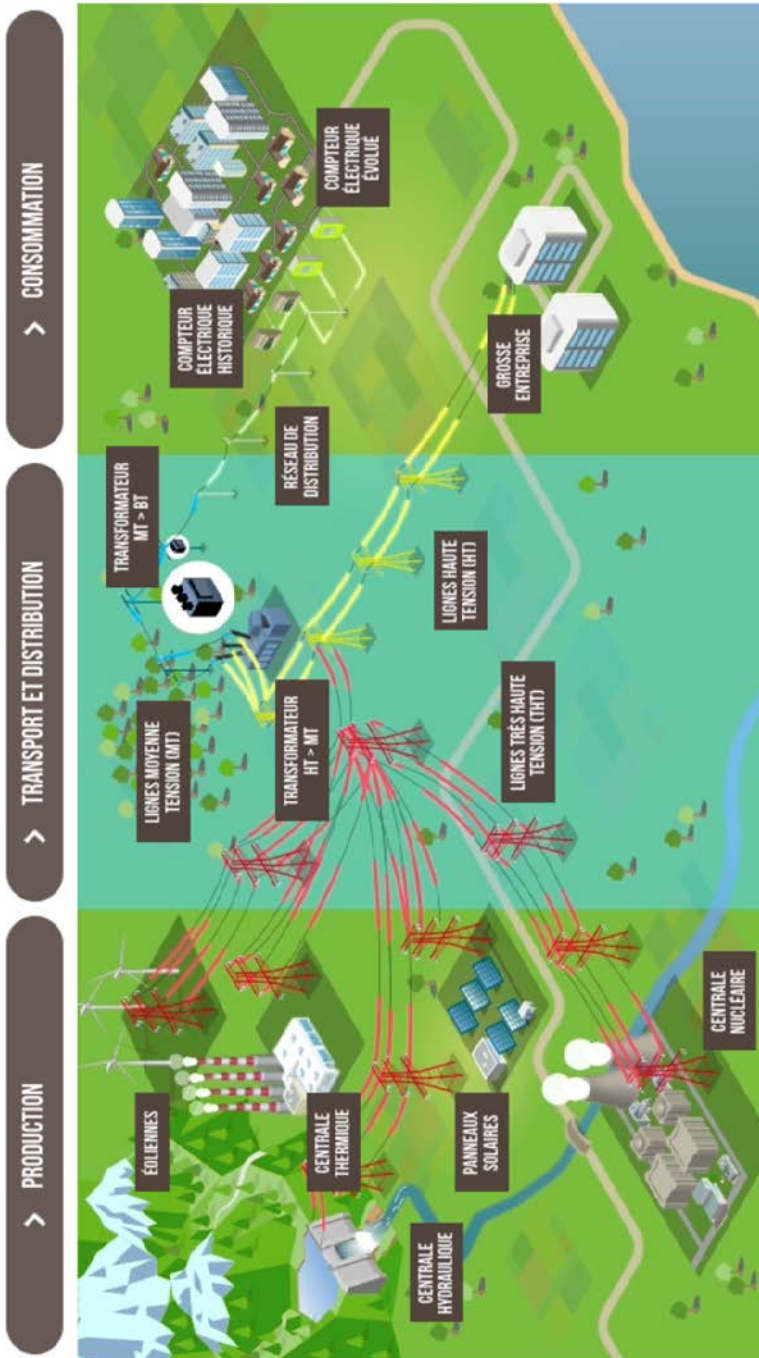


Figure 10 Organisation du réseau d'électricité en France. EDF (Commission de régulation de l'énergie 2021).

Les sources de courant sont classées en quatre catégories principales par l'article R4226-2 du code du travail (version en vigueur depuis le 1^{er} juillet 2011) (Tableau 1).

Tableau 1 Domaines de tensions Norme NF C18-510.

Domaines de tensions		Valeur de tension nominale	
		Alternatif	Continu
Très basse tension		$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 120 \text{ V}$
Basse tension domaine BT	BT	$50 \text{ V} < U \leq 1\,000 \text{ V}$	$120 \text{ V} < U \leq 1\,500 \text{ V}$
Haute tension	HTA	$1\,000 \text{ V} < U \leq 50\,000 \text{ V}$	$1\,500 \text{ V} < U \leq 75\,000 \text{ V}$
	HTB	$U > 50\,000 \text{ V}$	$U > 75\,000 \text{ V}$

À titre de comparaison, les accidents domestiques concernent la tension en 230 volts (220 V avant l'arrêté du 29 mai 1986) tandis que la foudre génère une décharge d'une dizaine de millions de volts, une intensité de 40 000 ampères en moyenne et un temps de passage pouvant aller jusqu'à 1 seconde.

3.2 Facteurs de gravité

La gravité de l'électrisation dépend des facteurs spécifiques à la source électrique, comme les paramètres physiques, et de facteurs propres à la victime et à l'environnement. Ces facteurs de gravité sont l'intensité du courant, la tension et le temps de passage du courant. Mais aussi l'impédance du corps, le trajet du courant et enfin l'état de la peau (Figure 11).

En règle générale, le risque électrique est surtout fonction de l'énergie délivrée c'est-à-dire de la conjonction :

- de l'intensité en fonction du temps,
- et de la résistance des tissus traversés dans le corps, et non de la seule tension de la source du courant.

Le pire cas correspond à une exposition au courant alternatif sur une large surface de contact, pendant une longue durée, en présence de conditions humide et salée.

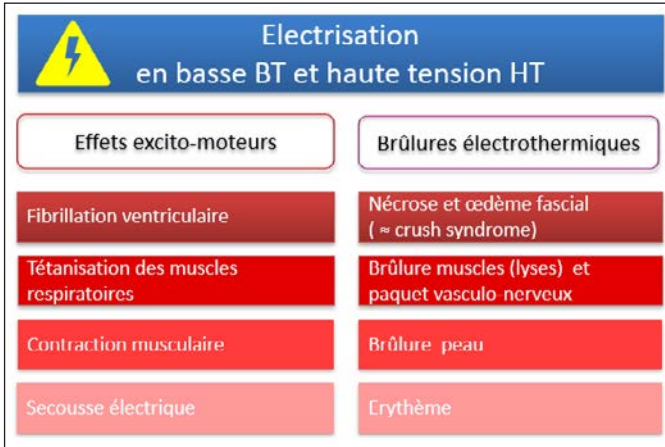


Figure 11 Facteurs de gravité d'une électrisation.

3.2.1 Intensité du courant

L'intensité du courant ne peut pas être aisément calculée car elle varie en fonction des conditions externes (par exemple résistance au passage du courant dans l'organisme). Pourtant c'est ce paramètre qui, avec le temps, a un rôle primordial dans la physiopathologie des accidents d'origine électrique.

Des études menées sur des animaux et l'homme, ont permis pour des courants alternatifs (15 à 100 Hz) de fixer des valeurs d'intensité pour des conditions définies, notamment un homme de 70 kg en bonne santé apparente. À partir de ces résultats expérimentaux la Commission Electrotechnique Internationale (IEC) a établi les relations temps-courant définissant les zones correspondant aux risques.

Les effets produits pour une intensité et un temps de passage donnés permettent de tracer les courbes qui délimitent des zones de dangerosité, notamment en matière de risque de fibrillation ventriculaire (non valable pour les brûlures) (Figure 12).

Dans le domaine 1, perception possible.

Dans le domaine 2, des picotements mais aucun effet dangereux.

Dans le domaine 3, des effets non mortels (contractions musculaires involontaires) avec perturbations généralement réversibles.

Dans le domaine 4, une fibrillation du cœur probable, des brûlures graves ou autres dommages cellulaires. La probabilité de la fibrillation ventriculaire augmente avec l'intensité du courant et le temps :

- 4.1 Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 5 %,
- 4.2 Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 50 %,
- 4.3 Probabilité de fibrillation ventriculaire supérieure à 50 %.

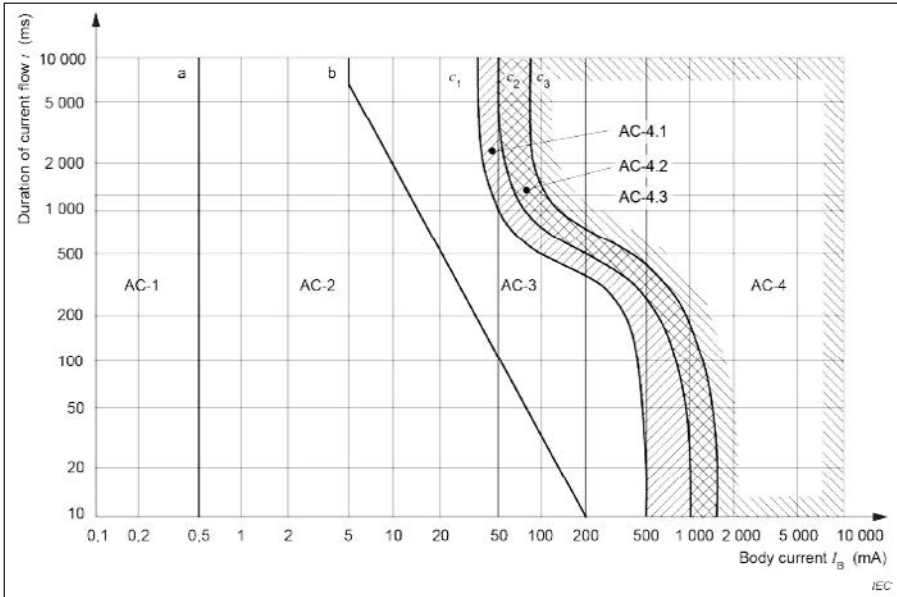


Figure 12 Zones temps/courant conventionnelles des effets des courants alternatifs (15 à 100 Hz) sur des personnes pour un trajet de courant correspondant main gauche à pied d'après la norme IEC 60479-1 2018.

Aux 3 types de protections contre les contacts directs avec le courant, l'éloignement, l'isolation et les obstacles (coffret, armoire, boîtier, barrière), s'ajoutent les disjoncteurs différentiels. Les disjoncteurs différentiels à courant résiduel (DDR) qui sont de plusieurs types permettent de répondre aux différents besoins de protection et de continuité de service. Dans les locaux d'habitation neufs, tous les circuits doivent être protégés par des dispositifs différentiels à haute sensibilité (30 mA) (NF C 15-100). La valeur protectrice de 30 mA à 50 Hz contre un risque de fibrillation ventriculaire (probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 5 %) est issue de la courbe « AC1 ».

Chez l'homme, le seuil de fibrillation ventriculaire par contact électrique externe dépend de plusieurs facteurs dont le temps de passage du courant et l'impédance du corps humain. L'impédance est indépendante du poids du sujet (IEC TR 60479-5 : 2007) (Tableaux 2 et 3).

Si le courant traverse le cœur juste après la systole, au moment où débute le remplissage ventriculaire (début de la diastole), le risque de fibrillation est multiplié par 3 ou 4.

Tableau 2 *Seuils minimaux de tension de contact pour des courants alternatifs correspondant à des courants de réaction de tressaillement, de fort effet musculaire et de fibrillation ventriculaire. IEC 60479-5 : 2007.*

Risque	Seuil en courant alternatif (mA)	Trajet du courant dans le corps	Seuils de tension de contact en courant alternatif pour une longue durée Volts (V)											
			Peau humide et salée				Peau humide				Peau sèche			
			Grande surface	Moyenne surface	Petite surface	Grande surface	Moyenne surface	Petite surface	Grande surface	Moyenne surface	Petite surface	Grande surface	Moyenne surface	Petite surface
Fibrillation ventriculaire	100	Main-main	90	160	257	98	165	260	99	165	260	99	165	260
	40	2 mains-2 pieds	20	36	94	24	71	149	33	82	149	33	82	149
	57	Main-siège	27	49	99	31	65	100	34	65	100	34	65	100
Fort effet musculaire (dont non-lâcher si 2 membres traversés)	5	Main-main	5	9	27	7	25	93	11	40	104	11	40	104
	10	2 mains-2 pieds	5	9	27	7	25	93	11	40	104	11	40	104
	5	Main-siège	3	5	13	3	13	46	6	20	52	6	20	52
Réaction de tressaillement	0,5	2 mains-2 pieds	1	1	3	1	4	21	2	9	40	2	9	40
	0,5	Main-main	0,3	1	2	0,4	3	13	1	5	23	1	5	23
	0,5	Main-siège	0,3	0,5	2	0,4	2	11	1	4	20	1	4	20

Tableau 3 *Seuils minimaux de tension de contact pour des courants continus correspondant à des courants de réaction de tressaillement, de fort effet musculaire et de fibrillation ventriculaire. IEC TR 60479-5 : 2007.*

Risque	Seuil en courant alternatif (mA)	Trajet du courant dans le corps	Seuils de tension de contact en courant continu pour une longue durée Volts (V)											
			Peau humide et salée			Peau humide			Peau sèche					
			Grande surface	Moyenne surface	Petite surface	Grande surface	Moyenne surface	Petite surface	Grande surface	Moyenne surface	Petite surface			
Fibrillation ventriculaire	350	Main-main	263	351	467	264	353	470	264	264	470	470		
	140	2 mains-2 pieds	66	121	220	75	143	223	87	143	223	223		
	200	Main-siège	83	126	201	85	127	203	85	127	203	203		
Fort effet musculaire (dont non-lâcher si 2 membres traversés)	25	Main-main	24	44	112	29	81	156	42	89	156	156		
	25	2 mains-2 pieds	13	23	63	16	51	133	26	67	133	133		
	25	Main-siège	12	22	56	15	41	78	21	45	78	78		
Réaction de tressaillement	2	2 mains-2 pieds	2	4	12	3	12	56	7	23	78	78		
	2	Main-main	1	2	6	2	7	35	4	15	59	59		
	2	Main-siège	1	2	6	1	6	28	3	12	39	39		

3.2.2 **Tension : c'est bien souvent le seul paramètre connu**

Selon d'Arsonval : « *Les ampères tuent et les volts brûlent* ». En effet selon les lois d'Ohm et de Joule, la tension intervient dans la quantité d'énergie libérée puisque $W = R I^2 t = U^2 t / R$.

Les électrisations en basse tension provoquent généralement des complications cardio-vasculaires et des brûlures tissulaires modérées tandis que les électrisations en haute tension sont responsables de brûlures tissulaires profondes et sévères pouvant engager le pronostic vital (voir Tableaux 2 et 3).

3.2.3 **Les impédances**

Elles varient, y compris pour un même tissu, en fonction de son état. Les valeurs de ces impédances dépendent de plusieurs facteurs et notamment : du trajet du courant dans le corps, de la tension de contact, de la durée du passage du courant, de la fréquence du courant, de l'état de l'humidité de la peau, de la surface de contact, de la pression exercée et de la température.

L'impédance de la peau varie en fonction de la tension qui lui est appliquée. Aux basses tensions la variation est réversible. La valeur revient rapidement à la valeur initiale après que la tension a été annulée.

L'impédance totale du corps varie de 1 450 à 4 400 Ω pour une tension de 50 V et de 1 000 à 2 100 Ω pour une tension plus élevée de 220 V.

Par valeurs d'impédance des tissus décroissantes on retrouve l'os, la graisse, les tendons, la peau, les muscles, le sang et les nerfs. C'est pour cela que le courant emprunte le plus souvent les axes vasculo-nerveux avec des lésions inhérentes.

De plus, des impédances en série peuvent s'ajouter à l'impédance totale du corps, comme l'impédance du sol, des vêtements, des chaussures et des matériaux isolants. Ceci explique que les accidents domestiques les plus graves aient lieu dans la salle de bain et la cuisine, avec une victime déshabillée, déchaussée, peau humide, en sueur, sur un sol mouillé.

3.2.4 **Temps de contact**

L'augmentation du temps de contact entraîne une diminution des résistances et donc une augmentation de l'énergie dissipée, avec pour conséquence d'une part, la majoration du risque de brûlure et, d'autre part, la majoration du risque de fibrillation ventriculaire (en augmentant le nombre de cycles cardiaques exposés aux effets du courant) (Figure 13).

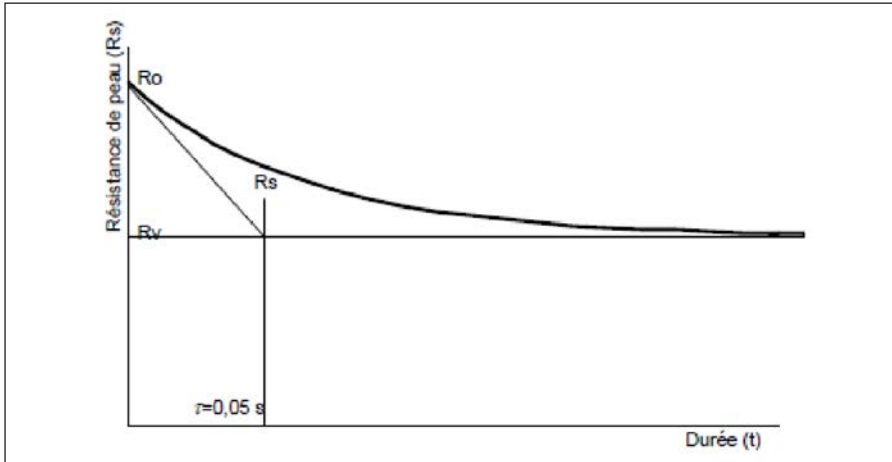


Figure 13 Estimation de la variation de la résistance de peau en fonction de la durée de choc électrique. IEC TR 60479-5 : 2007. Où : $R_s(0)$ est la résistance de peau en l'absence de tension de contact, R_v est la résistance de peau après un temps infini d'application de la tension, τ est la constante de temps.

Le temps de contact peut également être prolongé lorsque le seuil de non-lâcher est atteint ; il constitue un facteur de gravité.

3.2.5 Trajet

Les trajets longs, qu'ils soient transversaux (exemple : de main à main) ou longitudinaux (exemple : de main à pied homolatéral) exposent aux accidents cardio-vasculaires tandis que les trajets très courts exposent surtout aux brûlures.

Chez la femme enceinte, le trajet du courant de la main au pied en passant par l'utérus est assurément un facteur péjoratif, car le liquide amniotique est un (trop bon) conducteur du courant (Fatovich 1993, Fish et Geddes 2009). En revanche le traitement par sismothérapie n'est pas contre-indiqué pendant la grossesse, (Baghai et Moller 2008, Yang, Seo *et al.* 2011).

Pour une meilleure estimation du danger en fonction des points de contact, un « facteur de courant du cœur » (F) a été défini par la norme IEC 60479-1 : 2018. Il permet de calculer les courants I pour des parcours autres que main gauche - pieds (courant de référence : $I_{\text{réf}}$). Le plus dangereux étant le parcours poitrine - main gauche (Tableau 4) : $I = I_{\text{réf}}/F$.

Tableau 4 *Facteurs de courant du cœur pour différents trajets du courant. Commission électrotechnique internationale (2011).*

Trajet du courant	Facteur de courant du cœur : F
Poitrine - main gauche	1,5
Poitrine - main droite	1,3
Main gauche - pied gauche	1
Main gauche - pied droit	1
Main gauche - deux pieds	1
Deux mains - deux pieds	1
Main droite - pied gauche	0,8
Main droite - pied droit	0,8
Main droite - deux pieds	0,8
Siège - main gauche	0,7
Siège - main droite	0,7
Siège - deux mains	0,7
Dos - main gauche	0,7
Main gauche - main droite	0,4
Dos - main droite	0,3
Pied gauche - Pied droit	0,04

3.2.6 **Fréquence du courant et forme**

Lors de l'application d'un courant continu en basse tension, les seuils d'apparition de lésions sont 3 à 4 fois plus élevés que pour un courant alternatif.

En courant alternatif, les seuils augmentent avec l'augmentation de la fréquence : le seuil de perception passe de 1 mA à 50 Hz à 10 mA à 10 kHz. Le seuil de non lâcher qui est de 10 mA à 50 Hz (pour un trajet main-main ou main-pied) passe à 50 mA à 10 kHz.

Le seuil d'asphyxie passe de 20 mA à 50 Hz, à 60 mA à 10 kHz.

3.3 Quels mécanismes mettent-ils en jeu le pronostic vital ?

Les conséquences immédiates de l'accident électrique s'étagent de la simple secousse musculaire à l'arrêt cardio-respiratoire avec état de mort apparente dû à une fibrillation ventriculaire, en passant par la tétanisation musculaire avec ou sans perte de connaissance (Figure 14).

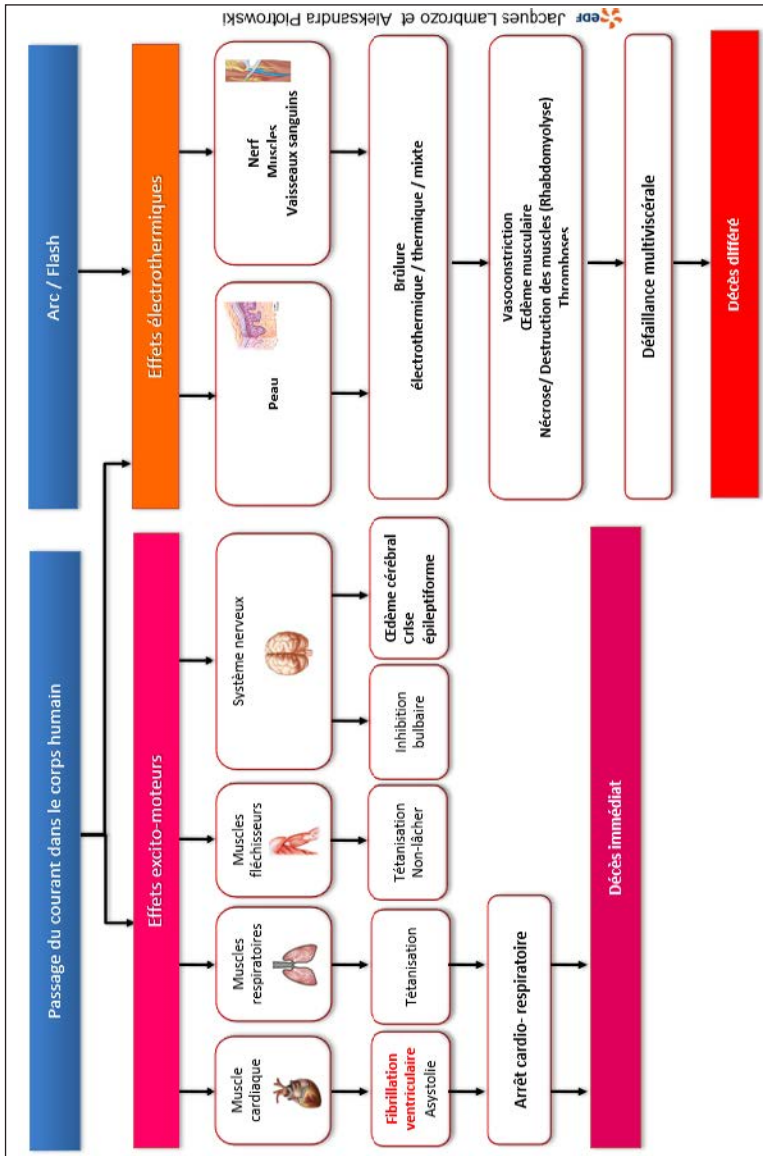


Figure 14 Schéma des principaux types d'effets du passage du courant électrique sur l'homme.

On peut retenir schématiquement trois mécanismes :

- fibrillation ventriculaire (plus rarement asystolie) spontanément irréversible,
- tétanisation des muscles thoraciques et surtout du diaphragme ce qui provoque une asphyxie. La régression spontanée est possible ou après des manœuvres de réanimation respiratoire,
- inhibition des centres bulbaires végétatifs respiratoires.

3.3.1 Fibrillation ventriculaire

La fibrillation ventriculaire (FV) est le mécanisme le plus fréquent de mort par électrisation. La dépolarisation anarchique des fibres musculaires ventriculaires entraîne au plan mécanique « *un grouillement vermiculaire de la masse ventriculaire, sans aucune efficacité hémodynamique, provoquant un arrêt circulatoire total* » (Motte 1975).

La première description de la fibrillation ventriculaire à partir d'expériences de chocs électriques sur des chiens ou chats est rapportée dès 1850 par M. Hoffa et C. Ludwig.

Ludwig et Hoffa furent les premiers à décrire cette arythmie en 1849 en observant une action bizarre et chaotique des ventricules exposés directement au courant électrique. La nature de cette arythmie fut l'objet de spéculations. Un neurophysiologiste français, Alfred Vulpian (1826-1887) invente en 1874 le terme de fibrillation en suggérant que le cœur lui-même était responsable de l'origine et du maintien de ce rythme irrégulier qui entraîne un « désarroi mécanique ». En 1889, John McWilliam, a le premier suggéré que la FV, et non l'arrêt cardiaque, était le mécanisme de la mort subite. Deux médecins, Jean-Louis Prevost, ancien stagiaire de Vulpian, et Frédéric Battelli à l'Université de Genève, étudiant le mécanisme des FV induites électriquement ont confirmé les observations de Ludwig, Vulpian et McWilliam, en 1899, en montrant qu'une petite quantité d'électricité délivrée à travers la poitrine peut induire une FV. De plus, ils ont montré que de plus grands chocs électriques restauraient avec succès un rythme sinusal normal. Il est surprenant que cette observation secondaire, mentionnée seulement dans une note de bas de page, ait suscité peu d'intérêt jusqu'aux premières expériences de défibrillation environ 30 ans plus tard. Même une référence telle que Wiggers, qui plus tard a apporté des contributions significatives à la théorie de la fibrillation et de la défibrillation, se montrait critique sur le rapport de Prevost et Battelli sans trouver « leurs revendications dignes du temps, de l'effort ou de dépenses ».

En 1939, Wiggers et Wegria précisent que la fibrillation ventriculaire n'est possible que si la stimulation survient dans une phase précise du cycle cardiaque. Elle coïncide avec le sommet de l'onde T de l'électrocardiogramme, pendant une durée de 0,02 secondes environ, dite « période vulnérable » (Weirich, Haverkamp *et al.* 1985).

Le cœur est un muscle excitable mais non tétanisable.

Au plan électrophysiologique la membrane des cellules est polarisée : négative en intra cellulaire et positive dans le milieu extra cellulaire. L'intérieur de la cellule au repos présente un potentiel de -90 mV par rapport à l'extérieur. Cette différence de potentiel est maintenue par la $(\text{Na}^+-\text{K}^+)\text{ATPase}$ (pompe à sodium) qui fait sortir l'ion sodium de la cellule en échange du potassium extracellulaire.

Lors du potentiel d'action une dépolarisation rapide a lieu : l'arrêt de la (Na^+-K^+) ATPase fait passer le potentiel de -90 à $+20$ mV avec une entrée de sodium et de calcium dans la cellule. La différence de potentiel se rétablit en deux phases :

- une phase réfractaire absolue (PRA) au cours de laquelle aucune stimulation n'a d'effet sur la cellule,
- une phase réfractaire relative (PRR) pendant laquelle la cellule est hyperexcitable. C'est la période vulnérable pendant laquelle certaines cellules sont dépolarisées et d'autres non.

L'excitabilité n'est alors pas identique pour toutes les fibres ventriculaires. Certaines sont encore en phase réfractaire tandis que d'autres sont déjà excitables. L'arrivée d'un courant va entraîner une dépolarisation asynchrone puisqu'elle ne concerne que les fibres excitables, qui va s'auto entretenir et entraîner des circuits de réentrée (Figure 15).

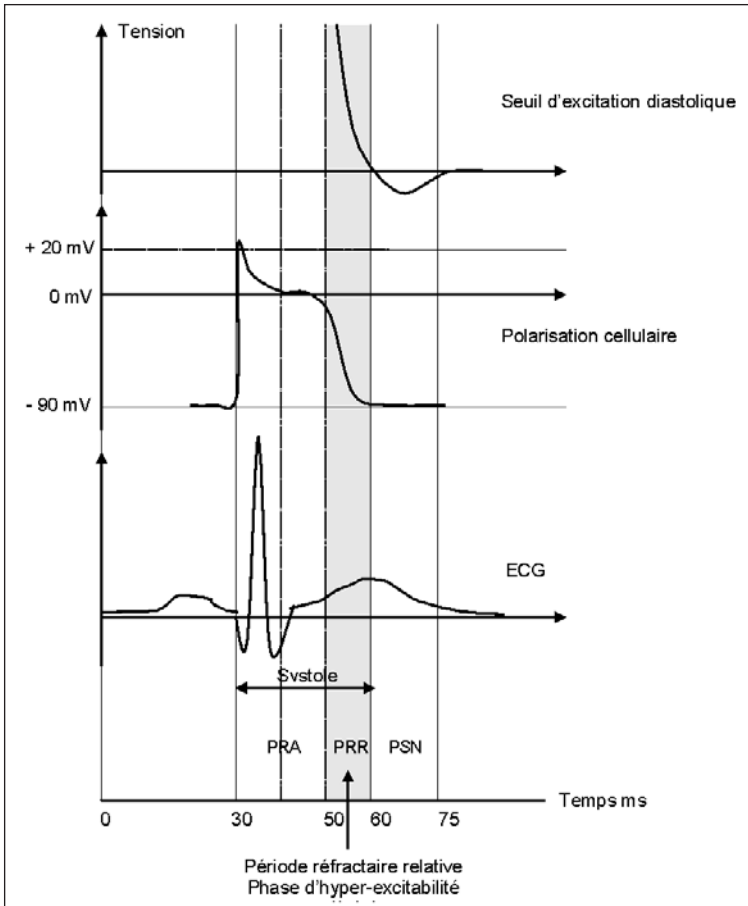


Figure 15 Phase réfractaire relative et phase d'hyperexcitabilité. Dr Pierre Taboulet / e-cardiogram (reproduction avec l'aimable autorisation de l'auteur).

La période réfractaire relative (PRR) est suivie d'une période d'hypoexcitabilité dite supra normale (PSN).

L'influx électrique qui dépolarise le ventricule rencontre des fibres qui ne sont pas encore excitables (α) et des fibres déjà excitables (β). Aussi va-t-il suivre le seul trajet qui lui est offert c'est-à-dire les fibres (β). Les fibres α étant à leur tour redevenues excitables, l'influx va remonter par ces fibres « à contre-courant », puis reprendre le chemin des fibres β . Il en résulte un mécanisme de stimulation en cercle qui va pérenniser la fibrillation, et qui ne pourra être corrigé que par l'application d'un choc électrique qui vise à remettre l'ensemble des fibres en synergie (Figure 16).

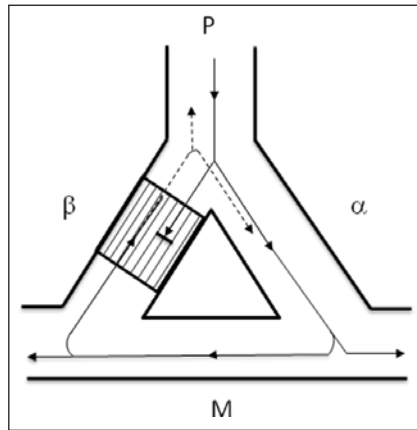


Figure 16 La jonction d'une fibre de Purkinje (P) avec le myocarde ventriculaire (M) illustrant le mécanisme de réentrée. Perrenoud, Sunthorn *et al.* (2006)

Actuellement, le mécanisme de réentrée est reconnu comme le mécanisme de base de la fibrillation ventriculaire.

Six facteurs conditionnent la survenue d'une fibrillation ventriculaire :

- le trajet du courant passe par le thorax voire le cœur ;
- la période de l'activité cardiaque est importante à considérer surtout si la durée de passage est inférieure à 1 seconde et si le passage du courant survient pendant la période vulnérable, qui correspond à la première partie (ascendante) de l'onde T de l'électrocardiogramme et sur le plan hémodynamique à la fin de la systole (contraction) ventriculaire. Les cellules ventriculaires se repolarisent et sont alors particulièrement sensibles à toute stimulation électrique. Ainsi pendant la phase vulnérable un courant de 50 mA pendant 1 s ou un courant de 500 mA pendant seulement 10 ms suffit à déclencher une fibrillation ventriculaire ;
- la durée significative de passage du courant : une durée de 1 seconde intéresse toutes les phases du cycle cardiaque ; dès lors c'est l'intensité qui en détermine la gravité ;

- plus que le poids c'est la section du thorax qui intervient ; le débit d'électrons parcourant le thorax et donc les organes sensibles (cœur, poumons), utilisera une section d'autant plus importante que la distance parcourue dans les tissus est importante. Ici nous discriminons donc la vulnérabilité d'un enfant par rapport à celle d'un adulte. En effet, ce dernier diffusera davantage le courant, diminuant ainsi, dans un volume considéré, le flux d'électrons et donc son effet destructeur ;
- l'état cardiovasculaire préalable (Folliot 1982).

La majorité des décès immédiats sont liés à la survenue d'une fibrillation ventriculaire. Ces décès peuvent résulter :

- d'un arrêt cardiaque par fibrillation ventriculaire ou plus rarement d'origine anoxique lors de la tétanisation des muscles respiratoires,
- d'un infarctus du myocarde (IDM). Les infarctus inférieurs seraient les plus fréquents. La douleur peut être absente ou atypique avec pour seule traduction les anomalies de l'ECG. On parle d'« *angina pectoris electrica* » (DiVincenti, Moncrief *et al.* 1969).

Les signes ECG peuvent apparaître de façon retardée parfois de plusieurs jours, d'où l'importance de la surveillance de l'électrocardiogramme et du dosage des enzymes cardiaques, notamment de la troponine qui s'élève le plus précocement, lorsque le trajet du courant a intéressé le cœur. Le dosage de la créatine kinase MB se modifie à partir de la 3^e à la 6^e heure et revient à la normale en 72 h. Le diagnostic et l'imputabilité à l'électrotraumatisme sont évidents si la manifestation survient dans des délais brefs sinon ils ne peuvent être portés que sur un faisceau d'arguments.

Les anomalies du segment ST et de l'onde T sont très fréquentes, aussi faut-il suivre l'évolution de l'ECG pour voir apparaître ultérieurement l'onde Q en cas nécrose myocardique.

L'infarctus du myocarde ne correspond pas, comme classiquement, à un trouble de la perfusion myocardique ; c'est ce qui limite les indications des techniques de re-perfusion chez les électrisés aux seuls cas où l'angiographie coronarienne montre une atteinte vasculaire obstructive.

La scintigraphie myocardique est particulièrement contributive en matière de diagnostic.

Pour Chandra, les facteurs prédictifs de l'ischémie myocardique sont, en haute tension, les brûlures extensives et le trajet longitudinal du courant dont les points de contact sont les membres supérieurs et inférieurs (Chandra, Siu *et al.* 1990).

D'autres troubles du rythme sont aussi rencontrés : extrasystoles ventriculaires, fibrillation auriculaire, tachycardie sinusale ainsi que des troubles de la conduction type blocs de branche, ou bloc auriculo-ventriculaire (Ghosh, Chandra *et al.* 2021).

Les signes fonctionnels sont eux difficiles à apprécier car ils ne connaissent pas nécessairement de traduction électrocardiographique.

Une cohorte danoise suivie de 1994 à 2011 a permis de suivre 11 462 patients victimes d'une électrisation dont 4 072 ont été hospitalisés. Les cas ont été comparés chacun à 5 témoins appariés. Cette série ne montre pas de différence à 5 ans quant au risque d'arythmie secondaire ou de toute autre cardiopathie, si l'on excepte les complications cardiaques immédiates détaillées plus haut. À noter également que la pose d'un cardio-stimulateur, dans les 30 jours suivant l'accident n'a été nécessaire que dans 4 cas (Hansen, Riahi *et al.* 2017).

Encadré 5 - À retenir : le cas particulier de l'électrisation pendant la grossesse (excluant les conséquences post traumatiques liées à une chute).

Si la fréquence des accidents d'électrisation chez la femme enceinte ne diffère pas de celle de la population générale de la même classe d'âge, les caractéristiques de la conductivité des tissus fœtaux laissent supposer que le fœtus pourrait être plus vulnérable aux électrisations. Dans une série de 15 électrisations maternelles (Fatovich 1993) il était rapporté 11 morts fœtales, mais à l'inverse une autre série concluait que « dans la plupart des cas une électrisation survenant dans la vie quotidienne pendant la grossesse ne pose pas de risque fœtal majeur » (Aggarwal, Maitz *et al.* 2011). Du fait de la rareté des cas rapportés il n'y a pas de consensus sur l'ampleur du risque, cependant le risque fœtal existe bien, consécutif à des lésions cardiaques ou cérébrales ainsi qu'à une interruption de la circulation placentaire par infarctus placentaire ou nécrose villositaire.

3.3.2 Brûlures

Encadré 6 - À retenir : caractéristiques des brûlures (Figure 17).

Les brûlures, présentes dans plus de 80 % des accidents électriques, sont de deux types au plan physiopathologique :

- les brûlures par arc, les plus fréquentes, sont dues aux effets du rayonnement thermique d'un arc électrique à proximité du corps. En général superficielles et peu étendues, elles intéressent surtout les mains et la face, y compris l'œil. L'atteinte de l'œil, souvent dénommée « coup d'arc oculaire », se traduit habituellement par une photophobie, un larmolement, un trouble transitoire de la vision et/ou une conjonctivite. Leur évolution est généralement résolutive. Certaines sont plus graves occasionnant une atteinte cornéenne qui requiert un traitement spécifique (Lee, Barnett *et al.* 2021).
- les brûlures électrothermiques (électrisation), dues au passage du courant à travers le corps, sont profondes ; tous les tissus situés sur le trajet du courant peuvent être détruits (muscles, nerfs, vaisseaux, os) même lorsque les lésions cutanées apparaissent minimales.

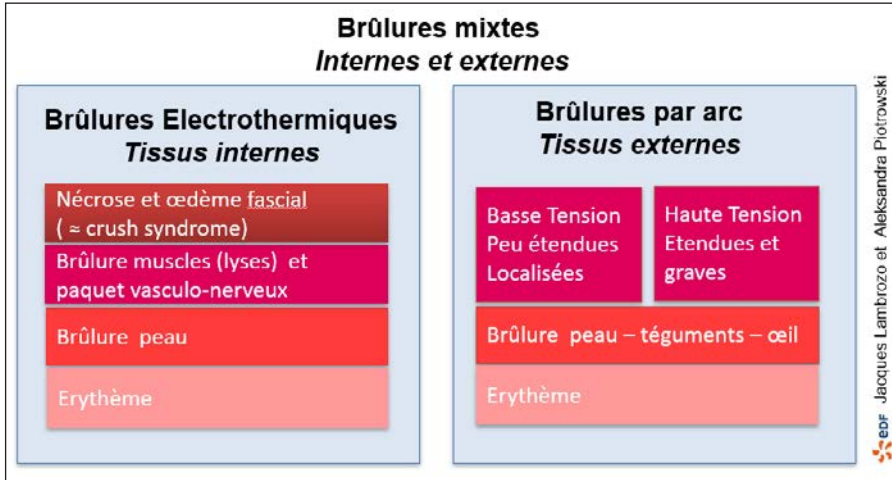


Figure 17 Classification des brûlures thermiques et électrothermiques. EDF (2019).

Les deux processus, internes et externes au corps humain, peuvent s'associer, générant des « brûlures mixtes ».

Dans le mécanisme des brûlures électrothermiques on observe à la fois la destruction des tissus par la chaleur générée par l'effet Joule et une perméabilisation anormale des membranes cellulaires par électroporation avec une dénaturation des protéines. Le champ électrique local est d'une magnitude suffisante pour provoquer la rupture électrique des membranes cellulaires et la lyse cellulaire (Lee et Kolodney 1987, Lee, Zhang *et al.* 2000).

Elles revêtent plusieurs aspects cliniques. Au minimum il s'agit de ce que Jellinek a décrit sous le nom de « *marque électrique* » : une petite lésion arrondie ou ovale volontiers nacré ou jaunâtre, déprimée au centre, avec en périphérie une zone inflammatoire (Figure 18).



Figure 18 Blessure à la pulpe de l'index gauche à la suite d'une électrisation. Photothèque EDF, 2008.

On y observe parfois des traces de métallisation (Cabanes 1983). Elle est le siège d'une anesthésie. Ces marques guérissent spontanément mais ont un intérêt médico-légal car elles signent l'origine électrique de l'accident. Pour être classiques, elles sont loin d'être constantes puisque dans la série de Hendler 24 seulement des 77 brûlures présentaient un point d'entrée ou un point de sortie décelable (Hendler 2005).

La brûlure prend un aspect arrondi ou ovalaire, cratériforme, selon le point de contact avec le conducteur et la température.

Il faut retenir que l'aspect extérieur bénin est trompeur car, en réalité, il s'agit de brûlures profondes qui doivent être explorées en milieu spécialisé.

En effet, dans certains cas, la brûlure est beaucoup plus étendue en profondeur, suivant les axes vasculo-nerveux, avec pour conséquence une nécrose à distance du point d'entrée.

Les brûlures mixtes associent les brûlures superficielles par arc et celles dues au passage du courant.

Les brûlures sont classées selon leur profondeur en 3 degrés (Echinard et Latarjet 1993) tenant compte de la structure cutanée (de la superficie vers la profondeur) : l'épiderme, le derme et l'hypoderme.

- Les brûlures du 1^{er} degré correspondent à l'atteinte des couches superficielles de l'épiderme et respectent les couches profondes, c'est-à-dire les cellules souches. Elles réalisent un érythème douloureux.
- Les brûlures du 2^e degré superficiel selon Gosset et Baux ne touchent pas la jonction dermo-épidermique mais entraînent un décollement des couches superficielles qui se traduit par une phlyctène remplie de sérum. La lésion se limite à une atteinte du derme superficiel. Sous la phlyctène, la peau a un aspect rosé.

Le 2^e degré profond ou stade intermédiaire correspond histologiquement à l'atteinte partielle de la jonction dermo-épidermique. Il y a effraction plus ou moins complète de la basale. La douleur est ici importante. Sous la phlyctène la peau a un aspect blanc qui signe le 2^e degré profond. La cicatrisation sera longue et délicate. Des séquelles fonctionnelles sont déjà possibles à ce degré. La lésion apparaît rouge brunâtre suintante et saigne au contact.

- Dans les brûlures du 3^e degré, la totalité de l'épiderme est atteinte. La couche des cellules basales est détruite, la vascularisation et l'innervation également. Cliniquement la lésion est donc insensible et ne saigne pas, c'est une zone habituellement blanche, cartonnée et cireuse.

Leur étendue est l'une des caractéristiques de ces brûlures et l'un des éléments de gravité. Elle est calculée chez l'adulte, de façon précise et reproductible avec la « règle des 9 de Wallace » qui attribue aux différents segments corporels un pourcentage de 9 % (ou l'un de ses multiples) (Figure 19).

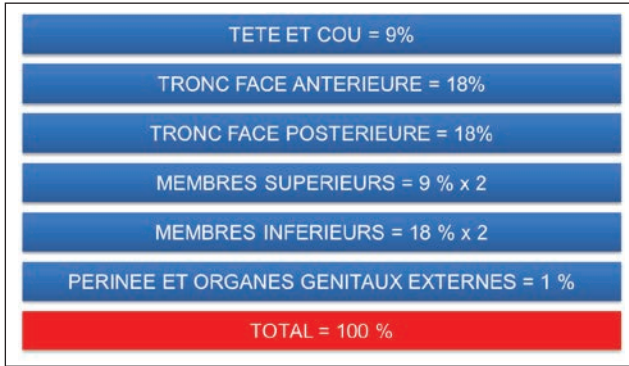


Figure 19 Règle des 9 de Wallace.

Le foudroiement partage les mêmes complications que les autres brûlures électriques mais il a également une singularité sous la forme des « figures de Lichtenberg » (Figure 20).



Figure 20 Figures de Lichtenberg sur la peau. Bartholomé (1975).

Les lésions apparaissent sous forme d'arborescences brunâtres, traduisant le cheminement du courant sur la peau et dessinant en quelque sorte la micro-vascularisation cutanée. Elles sont pathognomoniques d'un foudroiement. C'est dire leur

intérêt médico-légal. Mais elles disparaissent rapidement après l'accident, environ 12 heures après. Le système pileux peut aussi être affecté, intéressant les sourcils, la barbe voire la pilosité pubienne.

Encadré 7 - Les principes du traitement chirurgical des brûlures.

Source : Pr Marc Chaouat et Pr Maurice Mimoun, Service de chirurgie plastique et reconstructrice. Hôpital saint Louis Paris.

Le bilan clinique initial est essentiel pour guider la prise en charge chirurgicale. Il faut examiner le patient « corps entier » pour rechercher le point d'entrée et de sortie du courant électrique afin de retracer le trajet des dégâts potentiels.

Sur le plan local, la surface cutanée brûlée est évaluée ainsi que la profondeur et la localisation des brûlures. Dans certains cas, la brûlure dépasse de manière évidente le plan cutané vers les structures profondes, musculaires, osseuses, vasculaires, nerveuses, articulaires, viscérales, pouvant nécessiter des traitements adaptés urgents. Parfois les brûlures sont d'emblée gravissimes pouvant nécessiter des amputations en urgence. Souvent les lésions profondes potentielles et notamment musculaires ne sont pas visibles. Si les muscles sont brûlés, ils gonflent ce qui augmente la pression à l'intérieur de leur loge qui peut aboutir à un syndrome de loge et à la nécrose des muscles voire des extrémités. La dureté des muscles, la douleur à la palpation et parfois la mesure de la pression interne permettent de faire le diagnostic. Le traitement en urgence consiste à ouvrir les loges musculaires (aponévrotomie de décharge) pour stopper le cercle vicieux et l'aggravation des dégâts musculaires. Après les éventuels gestes chirurgicaux réalisés en urgence, le traitement consiste à faire des excisions des brûlures profondes emportant les nécroses cutanées et tous les tissus nécrotiques sous-jacents éventuels. Les lésions étant évolutives les premiers jours, les patients sont souvent opérés de façon itérative pour exciser la totalité des tissus nécrosés. Le but est d'obtenir une plaie bien vascularisée et propre pour permettre une reconstruction secondaire : greffe de peau prélevée sur le patient lui-même (autogreffe) ou parfois lambeau qui est le déplacement d'un tissu vascularisé (peau et ou muscle le plus souvent) pour couvrir et protéger les organes profonds. Le problème des électrisés réside dans le fait que le réseau vasculaire est lui-même fragilisé et entraîne un risque plus important de nécrose des lambeaux et donc d'échec chirurgical. De plus, le risque septique est augmenté dès la fin de la première semaine.

Ces brûlures étant souvent multi tissulaires, non systématisées et évolutives la cicatrisation est finalement souvent plus longue que dans le cas des brûlures thermiques et les séquelles souvent plus graves. Lorsque la brûlure dépasse le plan cutané, il faut se méfier des lésions des troncs vasculaires parfois sans conséquence clinique immédiate mais qui peuvent entraîner, par érosion progressive de l'artère, des saignements massifs et retardés parfois de plusieurs semaines. Ainsi, toute brûlure près d'un axe vasculaire principal nécessite une surveillance accrue et prolongée en soins intensifs et la présence dans la chambre d'un garrot pour pouvoir stopper immédiatement le saignement jusqu'à l'arrivée du chirurgien.

3.3.3 Lésions

3.3.3.1 Lésions vasculaires

Il s'agit de thromboses ou d'une fragilisation des parois responsable d'hémorragies secondaires. Les signes cliniques ne sont pas toujours fiables en raison de l'étendue et de la profondeur de la brûlure, de la nécrose et de l'œdème. L'atteinte peut continuer de s'aggraver 48 à 72 heures après l'électrisation (*cf.* Encadré 3). L'angioscanner ou l'angio-IRM (selon les disponibilités locales) assurent le bilan topographique précis des lésions.

Des complications peuvent survenir tardivement : une rupture d'anévrisme intracrânien consécutive à la brutale élévation de la pression artérielle, mais aussi et surtout des ruptures de la paroi d'artères périphériques intéressées par l'électrisation. Ainsi, une rupture d'artère obturatrice est survenue 6 semaines après une électrisation en haute tension (Sprecher, Wenz *et al.* 2001).

3.3.3.2 Lésions respiratoires

Une détresse respiratoire peut connaître différents mécanismes :

- origine respiratoire centrale par sidération des centres respiratoires en cas de passage du courant au niveau céphalique ou de traumatisme crânien grave ;
- traumatisme associé à une chute sous l'effet du blast avec fracture du rachis pouvant entraîner une atteinte des muscles respiratoires. Le blast est lui-même responsable d'un œdème pulmonaire parfois hémorragique et/ou de ruptures des cavités aériennes (bronchioles, alvéoles) ou vasculaires, responsable d'hémoptysie. Attention, il peut aussi s'y associer des lésions de brûlures qui font du blessé un polytraumatisé (Riou et Chehida 1997) ;
- réténisation des muscles respiratoires ;
- lésions pleuropulmonaires : dyspnée, hémoptysie, pneumothorax, hémopneumothorax, voire pneumo-médiastin ont été rapportées.

Des lésions de brûlure du parenchyme pulmonaire ont été rapportées et documentées par l'imagerie à la suite d'un contact à 20 000 V (Masanes, Gourbiere *et al.* 2000) mais aussi en basse tension (380 et 110 V) et sans lésion cutanée en regard de la lésion pulmonaire (Karamanli et Akgedik 2017, Chen, Lin *et al.* 2021). Ces éventualités doivent donc conduire à réaliser un scanner dans le cadre du bilan d'une brûlure électrique mais aussi de contact électrique de la région thoracique. Il faut retenir que le seul passage du courant haute tension à travers le thorax, même sans contact électrique, peut être en cause. C'est assez dire l'intérêt d'un scanner thoracique précoce.

Dans l'étude 1996-2005, un blessé a présenté une atteinte respiratoire, alors qu'un autre accidenté a nécessité une ventilation mécanique pendant 14 jours. Dans l'étude 1980-1989 une pleurésie s'est compliquée d'un syndrome ventilatoire restrictif.

3.3.3.3 Lésions musculaires

L'atteinte musculaire est souvent beaucoup plus étendue que ne laisse supposer l'atteinte cutanée. Elle peut engager le pronostic fonctionnel mais aussi vital.

Les lésions musculaires sont liées au dégagement de chaleur lors du passage du courant électrique et à des lésions électriques directes par action du courant sur les cellules.

Le courant provoque un œdème lésionnel responsable du « syndrome des loges ». Cliniquement le membre est douloureux, tendu, œdématié avec une impotence fonctionnelle. Les poulx d'aval ne sont plus perçus mais peuvent réapparaître dans un second temps. Le muscle est progressivement dévascularisé du fait de la compression par l'œdème et de thromboses itératives. La fasciotomie précoce est essentielle pour la conservation du membre et pour prévenir la rhabdomyolyse. En l'absence de traitement précoce, et parfois en dépit de la fasciotomie, l'évolution se fait vers la nécrose.

Dans notre série 1996-2005 un cas de syndrome des loges a été observé à l'avant-bras gauche qui a conduit à une amputation, malgré la fasciotomie.

La rhabdomyolyse est l'autre complication des atteintes musculaires. Lors de la destruction des cellules musculaires, la myoglobine, toxique pour les reins, est libérée dans le sang. Elle doit être prévenue pour éviter la survenue d'une insuffisance rénale myoglobininurique. La diurèse est réduite et faite d'urines sombres. La créatine-kinase est notablement augmentée (supérieure à 5 fois la normale). La myoglobine peut aussi être augmentée dans les brûlures du 3^e degré sans avoir de valeur pronostique spécifique. Ainsi une myoglobininurie serait détectée dans 40 à 75 % des victimes d'électrotraumatisme (Bouveret 1993). Un dosage de la créatine kinase (CK) supérieur à 5 000 U/L confirme une rhabdomyolyse massive. Le taux de CK normal étant compris entre 25 et 190 U/L.

Le traitement repose sur l'expansion volumique couplée à la correction des troubles hydro électrolytiques et de l'hypocalcémie.

L'élévation sanguine du Pro Brain Natriuretic Peptide (pro BNP), communément utilisé en clinique dans le cadre des défaillances cardiaques, serait aussi un marqueur du pronostic mais ceci nécessite confirmation avant qu'il ne fasse partie du bilan systématique d'un électrisé grave (Orak, Ustundag *et al.* 2010).

La complication majeure de ces lésions musculaires est la nécrose qui peut conduire à l'amputation. Dans une série chinoise de 376 cas de brûlures électriques (Ding, Huang *et al.* 2019), le taux d'amputation – principalement des membres supérieurs – était de 37,33 % pour les brûlés en haute tension et de 22,01 % en basse tension.

3.3.3.4 Lésions rénales

Elles concerneraient entre 3 et 15 % des électrisés (Gueugniaud, Vaudelin *et al.* 1997). L'atteinte rénale peut être directe par le passage du courant avec nécrose parenchymateuse et lésions vasculaires, mais le plus souvent il s'agit d'une

néphrite tubulo-interstitielle responsable d'une insuffisance rénale aiguë liée à la rhabdomyolyse.

Rosen en 1999 retient 3 facteurs cliniques comme prédictifs d'atteinte rénale en haute tension : l'arrêt cardiaque préhospitalier, les brûlures profondes et étendues et le syndrome des loges (Rosen, Adler *et al.* 1999).

Cliniquement les urines sont « rouge porto », le taux des enzymes (Créatinine Kinase (CK), Aspartate Aminotransférase (ASAT) et Lactate Déshydrogénase (LDH)) est augmenté. La surveillance de ces paramètres mais aussi du débit urinaire dans les suites d'une électrisation est donc nécessaire.

Actuellement, grâce à la prise en charge systématique en réanimation, les cas d'atteinte rénale auparavant fréquemment observés sont devenus l'exception.

3.3.3.5 Lésions osseuses

En cas d'électrisation lors de travaux en hauteur, la chute peut être responsable de lésions osseuses diverses, mais elles peuvent aussi être rencontrées en l'absence de tout traumatisme associé.

Des luxations ou des fractures humérales bilatérales ont été rapportées, même en basse tension (220 V) avec un contact électrique au niveau des mains. Elles semblent être expliquées par une contracture brutale sous l'effet d'une tétanisation musculaire. Aussi, une gêne fonctionnelle des membres supérieurs doit-elle faire rechercher une fracture uni ou bilatérale (Elena-Sorando, Agullo-Domingo *et al.* 2006).

3.3.3.6 Lésions neurologiques

Les lésions neurologiques sont fréquentes et diverses. Les atteintes du système nerveux central, avec ou sans perte de connaissance initiale, peuvent aller de l'obnubilation avec amnésie au coma, en passant par un état de mal épileptique. La reprise de conscience peut être spontanée ou sous réanimation cardio-respiratoire permettant de restaurer un débit sanguin et une ventilation efficace.

Une perte de connaissance initiale est souvent signalée mais les chiffres varient de 21 à 67 % des cas selon la conférence de consensus d'anesthésie et réanimation de 1997 (Gueugniaud, Vaudelin *et al.* 1997).

L'état de mort apparente relevant de la fibrillation ventriculaire n'est pas spécifique à l'électricité, en revanche les troubles de la conscience, attribués à un œdème cérébral peuvent apparaître dans les suites immédiates d'une électrisation, avec céphalées, nausées, vomissements, d'évolution le plus souvent favorable (Crocq et Noto 1992). Aussi est-il justifié d'hospitaliser pour surveillance tout électrisé ayant présenté une perte de connaissance même brève.

Une paralysie flasque et transitoire des extrémités où la responsabilité d'une hypokaliémie majeure et de perturbations acido-basiques est envisagée, doivent être recherchées et corrigées (Navarrete 2018). Nous avons observé dans notre série 1996-2005 un cas de tétraplégie d'évolution fatale.

Un contact au niveau de la tête responsable de désynchronisation et d'œdème peut entraîner la survenue d'une crise d'épilepsie et/ou un déficit moteur sous la forme d'une hémiparésie.

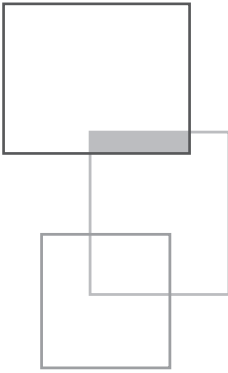
Les troubles cérébelleux et médullaires sont plus tardifs (*cf.* chapitre sur les séquelles). L'imagerie par résonance magnétique a beaucoup contribué à leur reconnaissance en montrant œdème, infarctus ou hématome.

Les neuropathies périphériques sont fréquentes : parésies, paralysie, troubles sensitifs, touchant notamment le nerf médian au poignet et le cubital. Des syndromes douloureux régionaux complexes de type I (SDRC I) ont été rapportés.

3.3.3.7 Atteintes digestive et hépatique

En cas de contact électrique abdominal, des cas de perforation intestinale ont été décrits, d'installation retardée de l'ordre d'une semaine. La perforation de l'intestin grêle ou du colon est responsable d'un tableau de péritonite requérant une prise en charge urgente.

Dans ce contexte une élévation des transaminases hépatiques a été rapportée. Généralement transitoires, elles font cependant craindre une nécrose de la vésicule biliaire. Une élévation de la lipasémie doit faire rechercher une pancréatite aigüe.



Chapitre 4

Un an après : les séquelles

Si l'incidence des accidents de travail liés à l'électricité a été réduite grâce aux efforts de prévention et d'éducation, leur gravité initiale et leurs séquelles restent cependant préoccupantes, notamment les séquelles fonctionnelles et neuropsychiques.

4.1 Séquelles directement liées aux brûlures

Les séquelles directement liées aux brûlures sont les plus fréquentes. Il s'agit de séquelles inesthétiques, invalidantes voire mutilantes.

Les séquelles de brûlures électriques appréciées au 24^e mois après l'accident initial sont plus sévères que celles dues à d'autres modalités de brûlures notamment par flamme (Stockly *et al.* 2019).

Les séquelles qui en résultent entraînent une incapacité de travail significativement plus importante que chez les brûlés par flamme.

4.1.1 *Séquelles inesthétiques*

Ces cicatrices peuvent être dyschromiques, prurigineuses, chéloïdes, hypertrophiques.

Les cancers survenant sur cicatrices de brûlures électriques plusieurs années après posent la question de leur imputabilité médico-légale. Un cas de cancer spinocellulaire

a été rapporté chez un homme de 63 ans ayant subi une brûlure crânienne à l'âge de 5 ans et développant 58 ans plus tard au même endroit un cancer infiltrant et métastatique (Horch, Stark *et al.* 2005). D'où l'importance des greffes précoces pour éviter ce genre de complications. Un autre type de cancer, carcinome basocellulaire, chez un homme de 75 ans, suite à une sismothérapie ayant entraîné des brûlures 10 ans auparavant a été documenté. L'auteur signalait 98,7 % de brûlures superficielles à l'emplacement des électrodes (Camacho, Mazuecos *et al.* 1999). L'amélioration des modalités techniques de la sismothérapie a rendu ces complications exceptionnelles.

4.1.2 Séquelles orthopédiques

La préoccupation majeure résulte des amputations et des difficultés d'appareillage adéquat, puis lors de la reprise d'une activité professionnelle si elle s'avère envisageable.

Des séries ont rapporté des incidences plus importantes, pouvant atteindre 17 % voire 37 % (Luz, Millan *et al.* 2009). Le taux d'amputation était de 38 %, le groupe d'âge de 11 à 30 ans représentant 55,5 % des amputations. Les amputations du membre supérieur étaient quatre fois plus fréquentes que celles du membre inférieur et les amputations du côté droit étaient deux fois plus fréquentes que du côté gauche.

Des amputations plus importantes ont été observées en cas de brûlures par contact électrique, de brûlures en haute tension et une TBSA (total body surface area) inférieure à 25 % (Dash, Arumugam *et al.* 2021).

L'appareillage des membres amputés est souvent gêné par l'atteinte des articulations proximales. Les zones de fibrose sur le trajet du courant sont fréquemment siège d'infection chronique et source de retard à la cicatrisation. Les raideurs articulaires, les complications du décubitus et la fonte musculaire entravent aussi la rééducation. De plus, la tolérance de la prothèse est variable : meilleure lors d'une amputation en aval du coude ou du genou, beaucoup plus aléatoire en cas de désarticulation de hanche ou d'épaule.

4.1.3 Séquelles sensorielles

Séquelles visuelles

Les diverses manifestations aiguës (photophobie, hyperhémie, larmolement, conjonctivite, blépharospasme, kératite, etc.) rapportées sont transitoires.

La cataracte est la manifestation séquellaire la plus fréquente. D'après la littérature, elle apparaît dans un délai de 4 à 6 mois d'où l'importance médico-légale de l'examen initial. Elle siège le plus souvent du côté du passage du courant mais peut être bilatérale en cas de contact main - main. On lui attribue dans certaines séries une incidence de 30 % (Gourbière et Lambrozo 1992).

Le port de lentilles de contact s'avère nécessaire (et préférable aux lunettes) pour corriger au mieux certaines anomalies de la réfraction telles que notamment les grandes myopies ou le kératocône. Leur port est parfaitement compatible avec les activités électriques à la condition de porter des protections faciales vis-à-vis de l'arc électrique ou de l'arc de soudure. La présence sur le lieu de travail des produits utiles au retrait des lentilles et à leur nettoyage est souhaitable.

Une atteinte des nerfs cornéens a été décrite dans les suites d'une électrisation ayant affecté la main droite (Rutika 2020).

Séquelles auditives

Les séquelles auditives se présentent sous forme de déficits auditifs. Les troubles de l'équilibre relèvent d'une atteinte du nerf vestibulaire dont le trajet est contigu à celui du nerf auditif.

4.2 Séquelles rénales

On peut parler ici de la loi du tout ou rien. Une complication rénale expose au risque d'insuffisance rénale séquellaire ou à l'inverse évolue sur 3 ou 4 semaines vers la guérison sans séquelle.

4.3 Séquelles cardio-vasculaires

Elles sont très peu décrites. Les auteurs rapportent classiquement la survenue d'une nécrose myocardique qui peut laisser persister une zone de dyskinésie avec altération de la fonction ventriculaire. Dans ce cas, le risque d'évolution vers une insuffisance cardiaque n'est pas à exclure. Une cardiomyopathie dilatée a été rapportée (Buono, DePace *et al.* 2003).

4.4 Séquelles neurologiques

Les séquelles neurologiques sont fréquentes et polymorphes. Elles peuvent se traduire par des signes de localisation le plus souvent secondaires à un mécanisme vasculaire (Cherington 1995). Toy *et coll.* font état de deux accidents d'origine électrique où l'artère carotide a été lésée, mais avec une prise en charge médicale précoce, aucune séquelle cérébrale n'a été constatée (Toy, Ball *et al.* 2012).

L'apport de l'imagerie par IRM devrait permettre de mieux comprendre certains des mécanismes en cause. Un cas d'aphasie régressive en quelques mois a été relié à une atrophie cérébrale de l'hémisphère gauche prédominant sur les lobes temporal et frontal (Isao, Masaki *et al.* 2005). La survenue d'une hémorragie cérébro-méningée

avait été rapportée à la suite d'un foudroiement mais une publication récente la documente pour une électrisation ayant intéressé la face, avec un intervalle libre de 3 jours (Chaibdraa, Medjellak *et al.* 2008).

La survenue d'une épilepsie bien que rapportée reste exceptionnelle. Citons cependant le syndrome d'Ohtahara : 2 encéphalopathies épileptiques infantiles précoces à la suite d'électrisations des mères pendant leurs grossesses rapportées par Krasemann en 2001 (Krasemann, Hoovey *et al.* 2001)

L'atteinte médullaire est la plupart du temps secondaire à un traumatisme (chute). Hendler signale un cas de syringomyélie. Une question récemment soulevée concerne le rôle des électrisations dans l'apparition d'une sclérose latérale amyotrophique, survenant plusieurs années voire des dizaines d'années après l'accident électrique (Hendler 2005). À ce jour les données sont trop disparates et anecdotiques pour permettre une discussion médico-légale valide. En revanche il s'agit d'un domaine de recherche qui doit être privilégié en développant notamment des modèles animaux.

Les atteintes neurologiques périphériques sont fréquentes. Dans la série de Hendler (Hendler 2005) les atteintes du nerf cubital, radial et médian sont les séquelles les plus fréquentes, suivies par les atteintes du nerf sciatique poplitée externe et du nerf tibial.

Les séquelles sensitives se manifestent par des paresthésies ou au contraire des hypoesthésies à l'endroit de la cicatrice. Ces neuropathies responsables de névralgie chronique doivent être bien connues et requièrent une attention soutenue du clinicien car il n'est pas rare qu'elles entraînent d'authentiques syndromes dépressifs.

Des troubles vasomoteurs proches du syndrome de Raynaud associés à des troubles trophiques ont aussi été observés.

Dans une série de 114 sujets ayant présenté une électrisation assez sévère pour justifier une surveillance cardiologique, Bailey (Bailey, Gaudreault *et al.* 2008) retrouve 26 % des patients avec des symptômes neurologiques ou neuropsychologiques moins d'un an après leur accident, mais les modalités de recueil des données (enquête téléphonique) limitent la portée de ses conclusions.

La question de l'émergence à distance de troubles cognitifs a été étudiée par l'équipe de Park (Park, Seo *et al.* 2017). Elle a notamment analysé différents items tels que l'attention, la mémoire verbale, les fonctions exécutives, l'expression verbale et les symptômes dépressifs. Pour les auteurs, sur une série de 24 patients comparés à 24 sujets indemnes, les sujets présentant des troubles cognitifs précoces à la suite d'une électrisation semblent posséder des « réserves cognitives » qui les protègent contre l'apparition d'une détérioration cognitive de type démentielle.

4.5 Séquelles psychologiques et psychiatriques

Très fréquentes, elles entravent la difficile réinsertion sociale, familiale et professionnelle. Elles peuvent se présenter sous forme de syndrome dépressif ou de troubles

dits « mineurs » mais qui n'en sont pas moins invalidants comme insomnie, instabilité caractérielle, céphalées, vertiges, asthénie physique sexuelle ou psychique, troubles de l'attention, difficultés mnésiques. On doit séparer deux entités bien distinctes où les conduites diagnostiques et thérapeutiques sont bien différentes : le « syndrome post commotionnel » et le syndrome de stress post traumatique « post traumatic stress disorder » (SPT).

Le syndrome post commotionnel (Crocq et Noto 1992) associe variablement des céphalées dans plus de 80 % des cas, des sensations vertigineuses, des troubles du caractère avec irritabilité, des troubles du sommeil, une asthénie sexuelle, ainsi que des troubles mnésiques. À distance peut s'installer une phobie de l'électricité qui rendra plus difficile le reclassement professionnel. Il succède le plus souvent à des accidents d'électrisation ayant comporté un traumatisme crânien.

Le Stress Post Traumatique se définit comme le « développement de symptômes caractéristiques faisant suite à l'exposition à un stress traumatique extrême impliquant le vécu direct et personnel d'un événement pouvant entraîner la mort, constituer une menace de mort ou de blessure sévère, représenter des menaces pour sa propre intégrité physique [...] » (Crocq et Noto 1992).

Ce syndrome se manifeste par « une peur intense, un sentiment d'être sans espoir ou d'horreur, le fait de revivre de manière persistante l'événement traumatique, un évitement persistant des stimuli associés au traumatisme avec émoussement des réactions générales et un état d'hyperactivité neurovégétative » (American Psychiatric Association 2000).

Grâce aux travaux sur les vétérans de guerre et les agressions sexuelles une description précise du SPT a été proposée et intégrée au sein du DSM en 1980 (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorder) (American Psychiatric Association 1980) puis de la CIM en 1992 (Classification Internationale des Maladies) (World Organisation 2010).

Ces différentes séquelles ne sont pas toujours corrélées à la gravité même de l'accident. Contrairement à ce que l'on peut attendre, dans l'étude 1995-2006 sur les 4 électrisés qui ont dû être amputés, un seul de ces cas est associé à une séquelle psychique (Piotrowski, Fillet *et al.* 2014).

Cette absence systématique de lien entre gravité et syndrome de SPT est confirmée par une étude australienne portant sur 119 personnes électrisées (Aggarwal, Maitz *et al.* 2011).

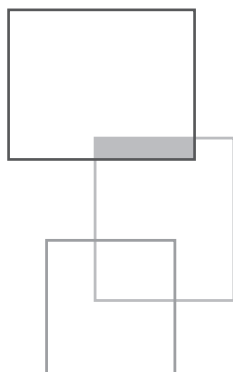
La survenue d'un SPT chez certains blessés a fait l'objet de recherche de facteurs de risque. Kelley, étudiant 73 patients, a conclu que le syndrome SPT était associé de façon significative à un non lâcher, au fait d'avoir été éjecté, à une altération de la conscience au moment de l'événement et à une amnésie (Kelley, Tkachenko *et al.* 1999).

D'autres auteurs ont étudié chez ces sujets les tests d'altérations des fonctions cognitives. Si les difficultés mnésiques sont fréquentes dans les suites immédiates de l'accident ou dans un contexte dépressif réactionnel, leur apparition tardive et leur aggravation progressive ont été aussi rapportées. Plus de quatre ans après l'accident

initial, une femme âgée de 54 ans, sans autres éléments médicaux pouvant rendre compte de ce déficit, a présenté des difficultés mnésiques. Bien qu'il s'agisse d'une observation isolée, cela justifie le suivi prolongé des électrisés (Martin, Salvatore *et al.* 2003).

La qualité de la prise en charge psychologique précoce, incluant les thérapies cognitives et comportementales, et poursuivie pendant toute la période de rééducation et de réinsertion est fondamentale pour permettre une évolution favorable.

Radulovic dans une série de 207 sujets électrisés rapporte une fréquence plus importante de manifestations psychiques en cas d'électrisation par haute tension, comparés aux électrisés en basse tension : humeur dépressive (4 % *vs.* 3 %, $p > 0,99$), réminiscences de l'accident (15 % *vs.* 13 %, $p < 0,1$), vertiges (4 % *vs.* 3 %, $p > 0,99$), cauchemars (4 % *vs.* 3 %, $p > 0,9$), comportement d'évitement, (4 % *vs.* 0 %, $p = 0,46$), céphalées (4 % *vs.* 0 %, $p = 0,46$) et syndrome du membre fantôme (8 % *vs.* 0 %, $p = 0,20$). (Radulovic, Mason *et al.* 2019).



Chapitre 5

70 ans d'électropathologie à EDF

Depuis la première étude de 1959, nous avons poursuivi cette enquête clinique et statistique.

Pour plus de clarté nous avons dénommé les études précédentes également réalisées à EDF comme suit :

- étude 1 effectuée sur la période 1949-1958 : concernait 3770 accidents d'origine électrique et comportait 500 cas *graves* (entraînant décès ou incapacité permanente) (1959) ;
- étude 2 pour les périodes 1959-1964 et 1965-1969 : concernait un ensemble de 1044 accidents d'origine électrique ce qui équivaut à 159 cas par an en moyenne (François et Cabanes 1968, Le Loch et Cabanes 1975) ;
- étude 3 pour la période 1970-1979 : concernait l'étude des brûlures électriques soit 1142 cas (Gourbière 1986, Gourbière et Lambrozo 1992) ;
- étude 4 pour la période 1980-1989 : concernait 938 cas de brûlures électriques (Gourbière et Lambrozo 1992) ;
- étude 5 pour la période 1996-2005 : concernait 311 accidents dont 88 avec des brûlures ;
- étude 6 pour la période 2009-2018 : concernait 173 accidents dont 95 avec des brûlures.

Pour la dernière période 2009-2018, nous avons pu étudier 173 accidents d'origine électrique sur les 269 recensés pour EDF SA, ENEDIS et RTE.

5.1 Méthode

Les chiffres présentés sur la période de notre étude (2009-2018) proviennent des déclarations d'accidents d'origine électrique. Elles recouvrent les accidents du travail survenus sur le lieu du travail, déclarés par l'employeur et dont le caractère professionnel a été reconnu par la Sécurité Sociale. L'origine électrique implique que seule l'exposition au courant électrique est responsable des lésions et pathologies décrites.

Il faut préciser que les accidents qui n'ont pas fait l'objet d'un arrêt de travail ne sont pas étudiés. Les accidents d'origine électrique avec arrêt de travail sont déclarés par les médecins conseils du Service Général de Médecine de Conseil et Contrôle (SGMCC). Les données collectées reflètent une situation réelle où les sujets présents au moment de l'étude peuvent la quitter (changement de poste) ou y entrer (nouvel embauché) en cours de celle-ci (Figure 21).

QUESTIONNAIRE ANONYMISE CONCERNANT LES ACCIDENTS D'ORIGINE ELECTRIQUE	
ACCIDENT MORTEL :	
<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
ANNEE_N*	
ACCIDENT D'ORIGINE ELECTRIQUE	
<i>« Non » signifiant accident avec lésions dues au courant électrique sans que l'exposition au courant électrique soit la cause de l'accident</i>	
<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
<input type="checkbox"/> Ne sais pas	
PERSONNE ACCIDENTE :	
Sexe :	<input type="checkbox"/> Féminin <input type="checkbox"/> Masculin
Age :	<input type="checkbox"/> < 20 ans <input type="checkbox"/> Entre 20 et 29 ans <input type="checkbox"/> Entre 30 et 39 ans <input type="checkbox"/> Entre 40 et 49 ans <input type="checkbox"/> = 50 ans
	<input type="checkbox"/> Ne sais pas
Ancienneté dans l'entreprise :	<input type="checkbox"/> < 5 ans <input type="checkbox"/> Entre 5 et 9 ans <input type="checkbox"/> Entre 10 et 19 ans <input type="checkbox"/> Entre 20 et 29 ans <input type="checkbox"/> = 30 ans
	<input type="checkbox"/> Ne sais pas
Type de travail :	<input type="checkbox"/> Cadre <input type="checkbox"/> Maîtrise <input type="checkbox"/> Exécution
	<input type="checkbox"/> Ne sais pas

Figure 21 Début du questionnaire sur les accidents d'origine électrique.

Ces données sont donc dépendantes et traitées en utilisant une régression de Poisson afin de modéliser l'effet du temps sur l'incidence des accidents.

Pour suivre précisément l'évolution dans le temps de l'incidence et de la sévérité des accidents d'origine électrique, la période de référence 1959-1969 a été choisie. La période 1970-1979 a été retenue pour étudier l'évolution des séquelles de ces accidents. Un rapport de taux d'incidence *Incidence Rate Ratio* (IRR) a été calculé pour chaque période par rapport à la période de référence. Les analyses ont été réalisées sous SAS V9.2 avec la PROC GENMOD.

Nous établirons donc des comparaisons pour montrer l'évolution des caractéristiques des accidents d'origine électrique.

5.2 Résultats généraux

5.2.1 Comparaison

Les taux de survenue de décès, de brûlures et de séquelles permanentes à la suite d'un accident d'origine électrique sont comparés entre les différentes décennies (régression de Poisson).

Sur les 269 accidents survenus entre 2009-2018 nous avons documenté 173 d'entre eux (Tableau 5).

Il n'apparaît pas de baisse significative concernant le taux de décès.

Concernant les brûlures, on observe une différence significative entre les décennies, que l'on raisonne sur les 4, 3 ou 2 dernières décennies. On observe statistiquement moins d'accidents électriques conduisant à des brûlures entre 2009 et 2018 par rapport aux décennies précédentes.

Concernant les séquelles permanentes, la différence observée n'est pas significative en comparant les 4 périodes ou les trois dernières, mais elle le devient si on compare les deux dernières périodes.

Au cours de la période 2009-2018, 173 accidents électriques ont été documentés sur les 269 comptabilisés par la Sécurité Sociale (soit 64,3 % des accidents). Alors que les accidents ayant conduit au décès ont été reportés exhaustivement dans la base du fait de leur gravité.

Afin de corriger un éventuel biais de sélection des accidents électriques documentés dans notre base, une méthode de redressement des données a été mise en œuvre. Cette approche permet de prendre en compte la surreprésentation des décès dans notre base de données et d'augmenter la puissance des tests statistiques.

Les données redressées portent donc sur 269 accidents électriques avec des pourcentages d'évènements (brûlures et séquelles permanentes) chez les patients non décédés recensés dans la base d'analyse (calcul à l'aide de la règle de 3) (Tableau 6).

Tableau 5 Comparaison entre les différentes décennies des taux de survenue de décès, de brûlures et de séquelles permanentes sur les 173 questionnaires au moyen d'une régression de Poisson.

Paramètres d'étude	1970-1979		1980-1989		1996-2005		2009-2018		valeur de <i>p</i> (4 périodes)	valeur de <i>p</i> (3 dernières périodes)	valeur de <i>p</i> (2 dernières périodes)
	Nombre de cas	Effectif total <i>N</i> = 1231	Nombre de cas	Effectif total <i>N</i> = 996	Nombre de cas <i>f</i>	Effectif total <i>N</i> = 311	Nombre de cas	Effectif total <i>N</i> = 173			
Personnes décédées	41	3,3 %	27	2,7 %	10	3,2 %	4	2,3 %	0,7873	0,8339	0,2160
Personnes brûlées	1 142	92,8 %	911	91,5 %	276	88,7 %	95	67,6 %	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Personnes avec IPP	290	23,6 %	275	27,6 %	98	31,5 %	27	19,1 %	0,0015	0,0023	< 0,001

Tableau 6 Comparaison entre les différentes décennies des taux de survenue de décès, de brûlures et de séquelles permanentes sur des données redressées qui sont indiquées en rouge.

Paramètres d'étude	1970-1979		1980-1989		1996-2005		2009-2018		valeur de <i>p</i> (4 périodes)	valeur de <i>p</i> (3 dernières périodes)	valeur de <i>p</i> (2 dernières périodes)
	Nombre de cas	Effectif total <i>N</i> = 1231	Nombre de cas	Effectif total <i>N</i> = 996	Nombre de cas	Effectif total <i>N</i> = 311	Nombre de cas	Effectif total <i>N</i> = 269			
Décédées	41	3,3 %	27	2,7 %	10	3,2 %	4	1,5 %	0,4347	0,4499	0,2160
Personnes brûlées	1142	92,8 %	911	91,5 %	276	88,7 %	149	68,0 %	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Personnes avec IPP	290	23,6 %	275	27,6 %	98	31,5 %	43	19,1 %	< 0,001	< 0,001	< 0,0001

Ceci confirme la baisse du pourcentage de sujets brûlés et de ceux avec incapacités permanentes. Cette baisse est significative en comparaison avec les autres périodes. En revanche le pourcentage de personnes décédées bien qu'en baisse, n'est pas statistiquement significatif (Figure 22).

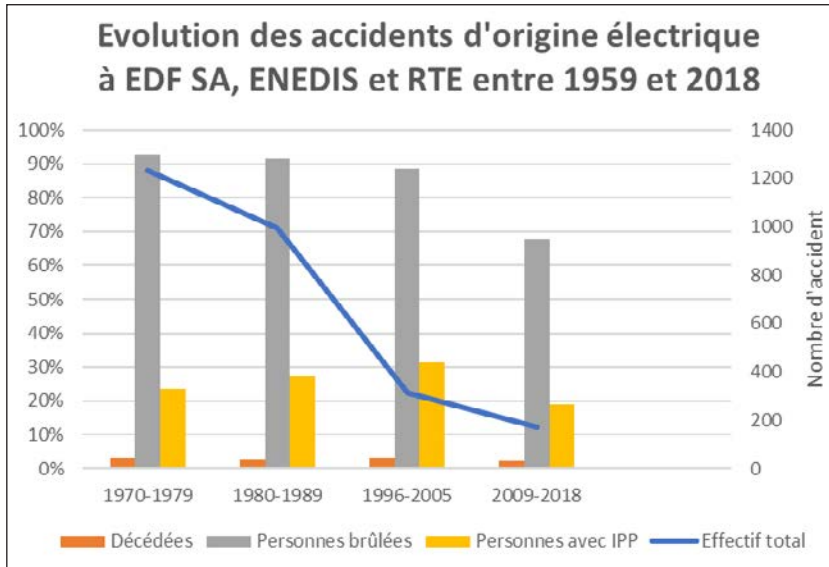


Figure 22 Évolution des accidents d'origine électrique à EDF SA, ENEDIS et RTE entre 1959 et 2018.

5.2.2 Qui sont les sujets accidentés ?

Parmi les 173 accidents couvrant la période 2009-2018, quatre décès sont survenus représentant 2,3 % des cas (Tableau 7).

Tableau 7 Nombre de décès parmi les accidents d'origine électrique.

Caractéristiques des personnes accidentées	Décédés	Non décédés	Total
Population étudiée	4 (2,3 %)	169 (97,7 %)	173 (100 %)

Parmi les 173 accidents étudiés, nous décrivons le profil des sujets accidentés.

Sexe

Il s'agit d'une population quasi exclusivement masculine. Seuls 3 cas féminins ont été observés comme dans la série qui couvrait les 70-79. On retrouve un cas féminin dans les années 1996-2005.

Âge

Les agents concernés ont entre 20 et 59 ans. L'âge moyen est de 36,7 ans (Tableau 8).

Tableau 8 Répartition des accidents d'origine électrique selon l'âge.

Tranche d'âge	Décédés	Non décédés	Total
Entre 20 et 29 ans	–	45 (29,2 %)	45 (28,7 %)
Entre 30 et 39 ans	1 (33,3 %)	51 (33,1 %)	52 (33,1 %)
Entre 40 et 49 ans	1 (33,3 %)	39 (25,3 %)	40 (25,5 %)
≥ 50 ans	1 (33,3 %)	19 (12,3 %)	20 (12,7 %)
Non renseigné / ne sait pas	1	15	16

Métiers

Les métiers représentés significativement sont par ordre décroissant de fréquence : les agents techniques, les monteurs câbleurs et les techniciens clientèle. Les agents de maîtrise représentent 50 % des accidents non mortels alors que ce sont les métiers d'exécution qui payent le plus lourd tribut regroupant 2 décès sur les trois renseignés (Tableau 9).

Tableau 9 Répartition des Accidents d'origine électrique selon les métiers.

Métiers	Décédés	Non décédés	Total
Cadre	–	4 (2,7 %)	4 (2,6 %)
Maîtrise	1 (33,3 %)	72 (48,6 %)	73 (48,3 %)
Exécution	2 (66,7 %)	72 (48,6 %)	74 (49,0 %)
Non renseigné / ne sait pas	1	21	22

5.2.3 Types d'accidents

Les caractéristiques cliniques des électrisés et *a fortiori* des brûlés sont étroitement liées aux paramètres physiques des accidents.

La répartition suivant le type d'accident électrique est indiquée à la figure 24 et selon la tension au tableau 10, représentation à la figure 23.

Tableau 10 Répartition des accidents d'origine électrique en fonction de la tension.

Tension	Décédés	Non décédés	Total
Basse tension < 1 000 volts	1 (33,3 %)	87 (78,4 %)	88 (77,2 %)
Haute tension > 1 000 volts	2 (66,7 %)	24 (21,6 %)	26 (22,8 %)
Non renseigné / ne sait pas	1	58	59

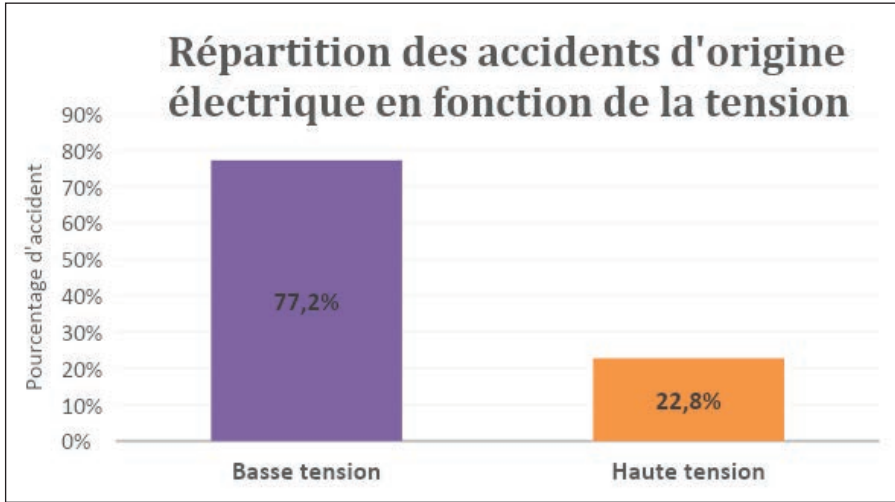


Figure 23 Représentation graphique de la répartition des accidents d'origine électrique en fonction de la tension.

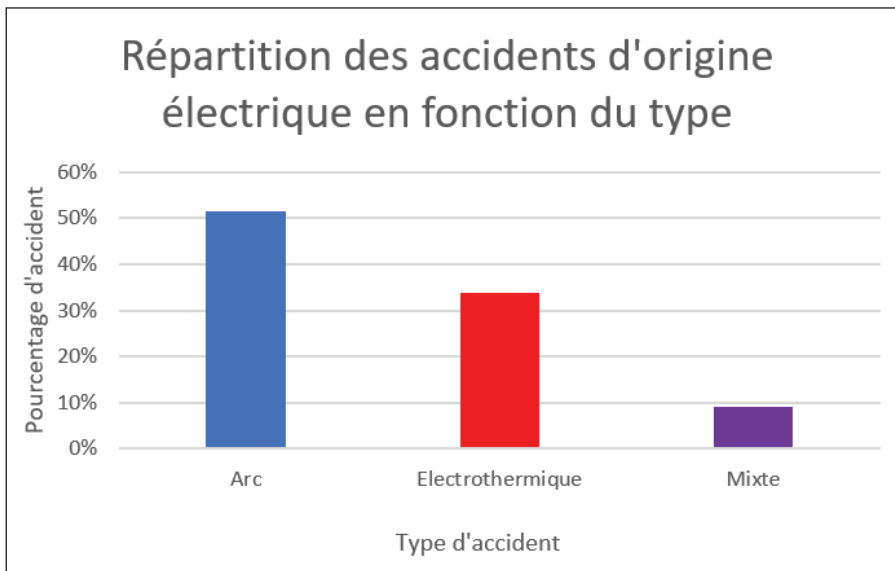


Figure 24 Représentation graphique de la répartition des accidents d'origine électrique en fonction du type.

5.2.4 Qui, quoi, comment ?

Horaires

Parmi les 142 des accidents renseignés, la majorité 89,4 % est survenue pendant les heures normales de service (Tableau 11).

Les accidents lors d'astreintes (10,6 %) sont très probablement corrélés au nombre moindre d'interventions de nuit. Toutefois ils sont en légère hausse par rapport à l'enquête précédente (1995-2006) qui était de 7,2 %.

Tableau 11 Répartition des accidents d'origine électrique selon les créneaux horaires.

Horaires	Décédés	Non décédés	Total
Horaires : 9h00-20h00	2 (66,7 %)	125 (89,9 %)	127 (89,4 %)
Astreinte : 20h00-9h00	1 (33,3 %)	14 (10,1 %)	15 (10,6 %)
Non renseigné / ne sait pas	1	30	31

Années d'ancienneté

Il s'agit de l'ancienneté dans le même poste et non dans l'entreprise. Elle est corrélée avec l'âge (Tableau 12).

Contrairement aux années 1996-2006 où la population était relativement jeune avec une ancienneté forcément réduite (66 % des personnes avec une ancienneté inférieure à 5 ans), entre 2009-2018, plus de 51 % des personnes ayant eu un accident ont plus de 10 ans d'ancienneté. À souligner, trois des sujets décédés avaient plus de 10 ans d'ancienneté dans le poste.

Tableau 12 Répartition des accidents d'origine électrique selon les années d'ancienneté.

Ancienneté	Décédés	Non décédés	Total
< 5 ans	–	46 (30,7 %)	46 (30,1 %)
Entre 5 et 9 ans	–	28 (18,7 %)	28 (18,3 %)
Entre 10 et 19 ans	1 (33,3 %)	39 (26,0 %)	40 (26,1 %)
Entre 20 et 29 ans	2 (66,7 %)	24 (16,0 %)	26 (17,0 %)
≥ 30 ans	–	13 (8,7 %)	13 (8,5 %)
Non renseigné / ne sait pas	1	19	20

Nombre de jours d'arrêt de travail (I T T)

Dans 52,3 % (78 cas) des accidents non mortels il y a eu arrêt de travail.

La durée de l'arrêt de travail est très variable, d'une demi-journée à 910 jours (Tableau 13). Elle est en moyenne de 3 mois, sensiblement comparable à la période précédente (1996-2005).

Tableau 13 Répartition des interruptions temporaire de travail (ITT) selon leur durée.

Classe ITT	Non décédés	Total
≤15 jours	37 (48,7 %)	37 (48,7 %)
16 jours à 1 mois	4 (5,3 %)	4 (5,3 %)
1 à 3 mois	16 (21,1 %)	16 (21,1 %)
3 à 6 mois	7 (9,2 %)	7 (9,2 %)
6 mois à 1 an	7 (9,2 %)	7 (9,2 %)
> 1 an	5 (6,6 %)	5 (6,6 %)
Non renseigné / ne sait pas	2	3

Les cinq études sont tout à fait comparables à l'exception de l'étude 1980-1989 pour les arrêts de moins de 3 mois. Le pourcentage important d'arrêts de durée inconnue (23,2 %) doit correspondre aux arrêts de courte durée qui peuvent être intégrés dans la catégorie des arrêts inférieurs à 3 mois.

Comme dans l'étude précédente, les arrêts de travail inférieurs à 3 mois ne sont pas tout à fait homogènes puisque dans la moitié des cas ils sont de durée inférieure à 15 jours.

De plus, lorsque la durée d'arrêt de travail est supérieure à 1 an les résultats sont disparates car ils vont de 378 jours à plus de 2 ans et demi. Ceci n'est pas étonnant compte tenu de l'hétérogénéité des situations cliniques séquellaires s'agissant toujours d'accidents graves.

5.3 Manifestations et lésions initiales

Cette partie de l'étude se base sur les 173 cas documentés grâce aux dossiers rédigés par les médecins conseils qui ont examiné les blessés dans les suites immédiates de leur accident.

Encadré 8 - À retenir : manifestations et lésions initiales.

Dans 95 cas il s'agissait de brûlures, soit 67,9 % des cas. Les autres accidentés ont présenté des symptômes fonctionnels et transitoires. Ce chiffre est de 88,7 % dans l'étude 1996-2005, de 94,2 % dans l'étude 1980-1989, de 92,8 % dans l'étude 1970-1979 et de 84 % pour la période 1959-1964 de l'étude 1959-1969.

Dans la littérature, les brûlures représentent plus de 80 % des accidents d'origine électrique. Or dans notre série le pourcentage de brûlés est de 67,9 %. Ce pourcentage se réduit depuis les années 2000 avec une différence significative entre les 4 périodes (IC 95 %, $p \leq 0,0001$).

Dans 7 cas un traitement chirurgical a été nécessaire : 4 greffes, 4 amputations (d'un doigt dans 1 cas, au niveau de la main dans 1 cas et au niveau du membre supérieur dans 2 cas).

Parmi les 173 accidents non mortels, la majorité n'a gardé aucune séquelle, seuls 23 sujets (17,6 %) présentent des séquelles.

5.3.1 *Gravité initiale*

Sur les 173 cas, 36 blessés ont été hospitalisés, généralement à titre de bilan initial et de surveillance. Il faut noter un cas de coma et un cas d'amnésie transitoire.

La cause la plus fréquente d'hospitalisation résulte d'une électrisation suivie de troubles du rythme cardiaque réversibles. Le second motif est la perte de connaissance (traumatisme crânien à la suite d'une chute). Dans pratiquement tous les cas ces pertes de connaissance sont brèves et la reprise de conscience est spontanée (Gourbière et Lambrozo 1992) (Figure 25).

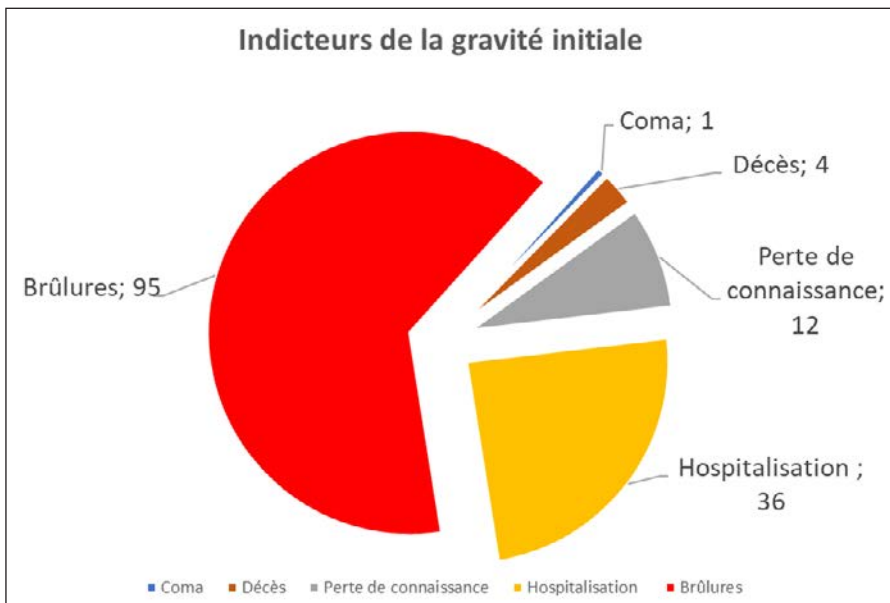


Figure 25 *Indicateurs de la gravité initiale.*

5.3.2 Lésions cardiaques

Dans notre étude, nous avons relevé 7 manifestations cardiaques sans séquelles consécutives (Tableau 14).

Il s'agit :

- d'arrêt cardio respiratoire (1 cas),
- de douleurs précordiales (3 cas),
- de troubles de la repolarisation sur l'ECG (1 cas),
- de tachycardie (1 cas).

Tableau 14 Lésions cardiaques.

Manifestations cardiovasculaires au décours de l'accident	Décédés	Non décédés	Total
Oui	1 (100,0 %)	6 (3,9 %)	7 (4,5 %)
Non	–	147 (96,1 %)	147 (95,5 %)
Non renseigné / ne sait pas	3	16	19

Dans les différentes séries étudiées ces manifestations sont observées dans un tiers des cas alors que nous ne les observons que dans 4,5 % des cas.

5.3.3 Lésions neurologiques

Les lésions neurologiques sont parmi les plus fréquentes (Tableau 15).

Tableau 15 Lésions neurologiques précoces.

Manifestations neurologiques	Décédés	Non décédés	Total
Oui	–	21 (13,5 %)	21 (13,5 %)
Non	–	135 (86,5 %)	135 (86,5 %)
Non renseigné / ne sait pas	3	14	17

Une perte de connaissance initiale est souvent signalée, mais les chiffres sont disparates. Dans la série précédente 1995-2006, les pertes de connaissance initiales étaient présentes dans 3,5 % des accidents alors qu'elles surviennent dans 7,7 %

des accidents dans notre étude. Ce chiffre est plus proche de ceux retrouvés dans les études 1959-1969 et 1970-1979 avec 11,3 % des accidents.

La perte de connaissance est spontanément résolutive.

D'autres manifestations sont de fréquence non négligeable, le plus souvent transitoires (Tableau 16).

Tableau 16 *Détails des manifestations neurologiques précoces.*

Détail des manifestations neurologiques	Décédés	Non décédés	Total
Paresthésies	–	10 (50,3 %)	10 (50,3 %)
Troubles sensitifs	–	5 (26,5 %)	5 (26,5 %)
Syndrome neurogène et trouble sensitif	–	2 (10,5 %)	2 (10,5 %)
Trouble sensitif et déficit moteur	–	1 (5,3 %)	1 (5,3 %)
Troubles de la conscience : amnésie, coma	–	1 (5,3 %)	1 (5,3 %)
Non renseigné / ne sait pas	1	1	2

Des troubles mnésiques sont signalés à 2 reprises (10 % des troubles neurologiques) dans notre série.

Une crise convulsive est signalée dans notre série (5 % des troubles neurologiques). L'étude 1980-1989 rapporte un cas parmi les troubles neurologiques, sans élément d'explication. Selon les différents auteurs, ce chiffre est très variable (1,5 à 20 %) (Bouveret 1993). Elle semblerait survenir même si le trajet du courant n'intéresse pas l'encéphale (2 cas signalés dans l'étude 1959-1969).

Des manifestations périphériques ont été signalées avec un syndrome du canal carpien évoqué cliniquement (mais non confirmé par électromyogramme), une atteinte transitoire du nerf cubital et une autre du nerf médian. L'électromyogramme a une place primordiale dans le diagnostic précoce et donc dans la confirmation du caractère professionnel.

Dans les autres séries, ces lésions étaient plus fréquentes : 19 cas dans l'étude 1980-1989, 3 cas dans l'étude 1970-1979 et 25 cas dans l'étude 1959-1964.

Des données d'autopsie qui ont été publiées (Scholz, Rippmann *et al.* 2006) montrent un œdème et une densification des méninges, une décoloration du tissu cérébral assorti de zones de nécrose.

5.3.4 Lésions rénales

Les lésions rénales ont connu une baisse significative au cours des années grâce aux progrès de la réanimation jusqu'à leur « disparition » depuis le milieu des années 90 (Tableau 17).

Tableau 17 *Lésions rénales dues aux accidents d'origine électrique.*

Paramètre d'étude	1949-1958	1959-1969	1970-1979	1980-1989	1996-2005	2009-2018
Lésions rénales	29	15	7	11	0	0

L'étude de 1949-1958 a recensé 29 cas d'atteintes rénales dont 8 oliguries, 3 anuries transitoires et 11 anuries accompagnées de décès. Les 7 cas restants sont des troubles mineurs.

Deux cas d'anurie pour 66 cas de brûlures graves ont été identifiés dans l'étude 1959-1969. Un seul cas d'anurie avec décès soit moins de 2 % (Le Loch et Cabanes 1975). Mais l'atteinte rénale concernait au total 15 cas accompagnées de 11 décès.

Entre 1970 et 1979, 15 cas ont été recensés sur 1142 brûlures soit 1,3 %. Il s'agissait de 13 myoglobinuries dont 4 suivis de décès, d'une hématurie et d'une glycosurie transitoire.

L'étude de 1980 à 1989 a enregistré 12 cas d'atteinte rénale : 11 hématuries et 1 insuffisance rénale fonctionnelle.

Depuis les années 1990 aucun cas n'a été observé.

5.3.5 Autres manifestations

D'autres complications peuvent être consécutives aux brûlures qu'il s'agisse d'infections ou de complications orthopédiques post traumatiques.

D'autres manifestations beaucoup plus rares posent par là même la question de leur relation avec l'électrisation et donc de leur imputabilité sur le plan médico-légal quand elles persistent au-delà de la période aiguë. Il s'agit notamment des complications endocriniennes sous forme de diabète sucré, de diabète insipide, d'hypothyroïdie qui sont cependant généralement transitoires.

5.3.6 Lésions cutanées secondaires aux brûlures

Comparaison du nombre de sujets brûlés

Dans notre enquête, 95 sujets ont été brûlés soit 67,9 % de l'effectif total.

Le nombre des brûlés au cours des années 2009-2018 a diminué significativement par rapport à la période 1970-1979, la période 1980-1989 ou la période 1996-2005 (IC 95%, $p \leq 0,0001$) (Figure 26).

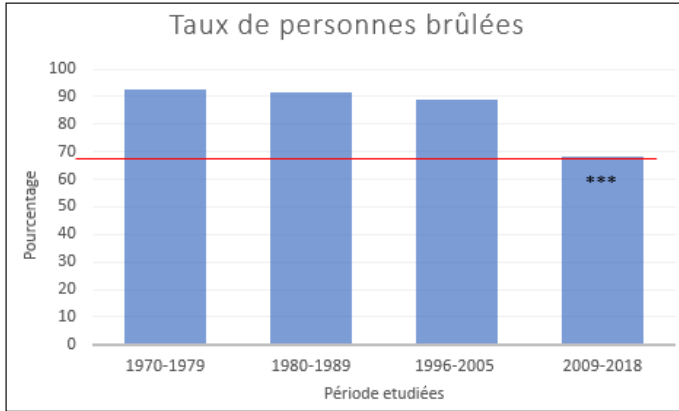


Figure 26 Évolution du nombre cas avec brûlures dans les accidents d'origine électrique à EDF SA, RTE et ENEDIS.

Les caractéristiques de ces brûlures sont présentées dans les paragraphes suivants.

Répartition des brûlures

Le tableau 18 indique la répartition des brûlures selon leur localisation et la tension.

Tableau 18 Récapitulatif des effectifs des sujets brûlés selon la tension, le degré de brûlure et la localisation.

Degré de brûlure Tension Localisation	1 ^{er} et 2 ^e degré		3 ^e degré		Total	
	Tension < 1000 V	Tension > 1000 V	Tension < 1000 V	Tension > 1000 V	Tension < 1000 V	Tension > 1000 V
Tête et cou	12 (25,5 %)	5 (55,6 %)	2 (20,0 %)	1 (12,5 %)	14 (26,9 %)	6 (42,9 %)
Membre supérieur sauf main poignet	7 (14,9 %)	5 (55,6 %)	2 (20,0 %)	2 (25,0 %)	9 (17,3 %)	7 (50,0 %)
Main poignet	36 (76,6 %)	6 (66,7 %)	8 (80,0 %)	5 (62,5 %)	41 (78,8 %)	11 (78,6 %)
Membre inférieur sauf pied cheville	1 (2,1 %)	1 (11,1 %)	–	2 (25,0 %)	1 (1,9 %)	3 (21,4 %)
Pied cheville	–	2 (22,2 %)	–	1 (12,5 %)	–	3 (21,4 %)
Thorax	2 (4,3 %)	1 (11,1 %)	1 (10,0 %)	3 (37,5 %)	2 (3,8 %)	4 (28,6 %)
Abdomen et lombes	–	2 (22,2 %)	–	1 (12,5 %)	–	3 (21,4 %)
Périnée	–	1 (11,1 %)	–	–	–	1 (7,1 %)
Non renseigné	6	8	43	9	49	17

Répartition des brûlures selon leur degré

La gravité de la brûlure dépend de sa localisation, de l'étendue de la surface brûlée (en pourcentage de la surface corporelle totale) mais avant tout de la profondeur (le degré de brûlure).

Dans notre série 74,7 % des brûlés ont des brûlures du 1^{er} et/ou du 2^e degré, 26,4 % associent des brûlures du 1^{er}, 2^e et 3^e degré (Tableau 19).

Tableau 19 Répartition des degrés de brûlures chez les sujets électrisés.

Sujets ayant eu une brûlure	Décédés	Non décédés	Total
		4	95
Degré des brûlures			
1 ^{er} -2 ^e degré	–	68 (74,7 %)	68 (74,7 %)
3 ^e degré	–	23 (26,4 %)	23 (25,3 %)
Non renseigné / ne sait pas		4	4

Répartition des brûlures selon leur type

Comme dans la littérature, les brûlures par arc sont les plus fréquentes : 60 cas parmi lesquels 10 coups d'arc oculaire (Tableau 20).

Tableau 20 Répartition des brûlures selon leur type et comparaison avec les études précédentes.

Type de brûlure	Étude 1970-1979	Étude 1980-1989	Étude 1996-2005	Étude actuelle
Arc et flash	77,1 %	79,3 %	70 %	71 %
Electrothermique	15,1 %	12,9 %	20,2 %	16 %
Mixte	5,7 %	7,6 %	9 %	13 %

Répartition des localisations des brûlures :

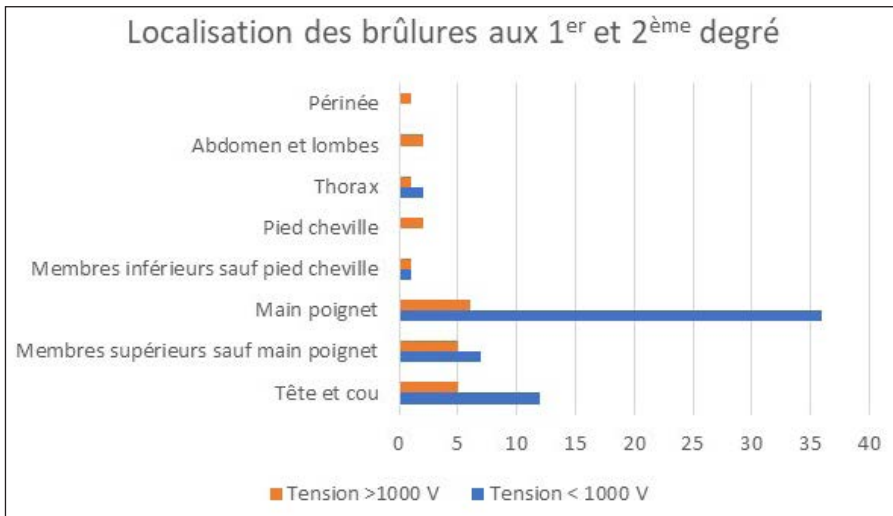
Tous mécanismes confondus, parmi les 95 sujets brûlés, 72,5 % ont des brûlures des mains et des poignets et 36,3 % de la tête et du cou (Tableau 21). Les tableaux suivants présentent la répartition des brûlures selon leur degré, 1^{er} et 2^e degré dans la figure 27, 3^e degré dans la figure 28.

Tableau 21 Répartition des brûlures selon leurs localisations.

	Décédés	Non décédés	Total
Personnes ayant eu une brûlure	–	95	95
Localisation des brûlures (plusieurs réponses possibles)*			
Tête et cou	–	33 (36,3 %)	33 (36,3 %)
Membre supérieur sauf main poignet	–	23 (25,3 %)	23 (25,3 %)
Main poignet	–	66 (72,5 %)	66 (72,5 %)
Membre inférieur sauf pied cheville	–	6 (6,6 %)	6 (6,6 %)
Pied cheville	–	4 (4,4 %)	4 (4,4 %)
Thorax	–	7 (7,7 %)	7 (7,7 %)
Abdomen et lombes	–	4 (4,4 %)	4 (4,4 %)
Périnée	–	2 (2,2 %)	2 (2,2 %)
Non renseigné	–	4	4

*Plusieurs localisations de brûlures peuvent être observées sur un même sujet.

D'où l'importance du port des dispositifs de protection individuelle (EPI) comme les gants isolants et les protections oculaire et faciale (Figures 27 et 28).

**Figure 27** Récapitulatif des localisations des brûlures au 1^{er} et 2^e degré en fonction de la tension.

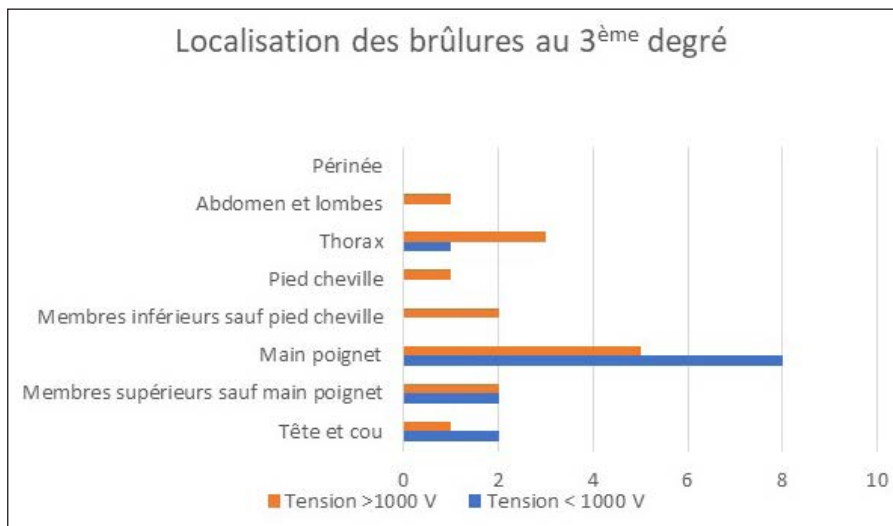


Figure 28 Récapitulatif des localisations des brûlures au III^{ème} degré en fonction de la tension.

Étendue des brûlures

Le classement des brûlures peut se faire selon l'étendue de surface corporelle brûlée (Tableau 22) :

- petite étendue si inférieure ou égale à 1 % de surface corporelle (42,3 % des brûlures),
- moyenne si comprise entre 1 et 10 % de surface corporelle (47,9 % des brûlures),
- grande si comprise entre 10 et 30 % de surface corporelle (7,0 % des brûlures),
- massive si supérieure ou égale à 30 % de surface corporelle (2,8 % des brûlures), et pouvant alors engager le pronostic vital.

Tableau 22 Répartition des brûlures selon l'étendue et la tension.

Classes de l'étendue des brûlures	Tension < 1000 V	Tension > 1000 V
Superficie ≤ 1 %	16 (40,0 %)	1 (11,1 %)
Superficie > 1 % et ≤ 10 %	23 (57,5 %)	5 (55,6 %)
Superficie > 10 % et < 30 %	1 (2,5 %)	2 (22,2 %)
Superficie ≥ 30 %	--	1 (11,1 %)
Non renseigné / ne sait pas	13	8

La répartition des brûlures selon leur étendue dans les trois séries est présentée au tableau 23.

Tableau 23 Comparaison de la répartition des brûlures selon leur étendue.

Étendue de la brûlure	1970-1979	1980-1989	1996-2005	2009-2018
Petite	80,7 %	52,2 %	28,5 %	42,3 %
Moyenne	13,1 %	38,7 %	61,1 %	47,9 %
Grande	2,3 %	3,2 %	9,3 %	7,0 %
Massive	0,5 %	1,0 %	1,0 %	2,8 %

Après une aggravation de la situation entre 1980 et 2005 avec plus de 60 % de brûlures étendues (série 1996-2005), elles représentent désormais moins de la moitié (47 %) des brûlures. Dans 42,3 % les brûlures sont « petites ».

En revanche, les brûlures dépassant 10 % de la surface corporelle représentent près de 10 % des cas comme dans la série 1996-2005.

Indicateur de gravité : Burn Unit Standard

Les scores *Burn Unit Standard*, *Baux*, *Abbreviated Burn Severity*, *Apache II* ont été élaborés afin d'apprécier la gravité d'une brûlure (en vue du protocole thérapeutique) et d'établir un pronostic.

Le score de *Baux* fréquemment utilisé prend en compte le facteur âge (Roberts, Lloyd *et al.* 2012). Dans le cas des accidents professionnels ce facteur est moins opportun puisqu'il s'agit d'une population composée exclusivement d'adultes jeunes.

D'autres scores complexes utilisent des modèles de régression et intègrent l'inhalation de fumées toxiques comme facteur aggravant. En l'absence d'émission gazeuse comme c'est le plus souvent le cas dans nos séries, ces scores ne sont pas pertinents.

Le score utilisé pour évaluer le pronostic des sujets électrisés et brûlés à EDF est depuis les années 90, le Burn Unit Standard (BUS) ou Unité de Brûlure Standard (UBS). Cette méthode d'évaluation de gravité des brûlures associe la superficie et la profondeur. Elle se calcule en ajoutant au pourcentage de surface corporelle brûlée, le pourcentage de surface corporelle brûlée en profondeur multipliée par trois (Sachs et Watson 1969) :

$$\text{BUS} = \% \text{ de SCB} + (3 \times \% \text{ de SCB en profondeur})$$

avec SCB : surface corporelle brûlée et UBS maximum est de 400

Le score s'interprète de la manière suivante :

- un score < 10 correspond à des brûlures sans gravité ;
- un score ≥ 10 et < 50 UBS correspond à des brûlures sévères ;
- un score ≥ 50 et < 100 UBS correspond à des brûlures graves ;

- un score ≥ 100 et < 150 UBS correspond à des brûlures gravissimes ;
- un score ≥ 150 UBS correspond à des brûlures dont le pronostic est réservé engageant le pronostic vital.

Dans notre étude 81,4 % des brûlés ont un score ≤ 10 BUS. Pour 17,1 % le score est compris entre 11 et 50 BUS (brûlure sévère) et pour 1,4 % le score est compris entre 51 et 100 UBS (brûlure grave).

Dans la majorité des cas, les brûlures ne sont pas, selon ce score, sévères (Tableau 24).

Tableau 24 Répartition des scores BUS chez les brûlés.

Burn Unit Standard (en classes)	Décédés	Non décédés	Total
$\leq 10\%$	–	57 (81,4 %)	52 (81,4 %)
$\geq 11\%$ et $\leq 50\%$	–	12 (17,1 %)	12 (17,1 %)
$\geq 51\%$ et $\leq 100\%$	–	1 (1,4 %)	1 (1,4 %)
Non renseigné / ne sait pas	–	21	21

Conclusion sur les caractéristiques des brûlures

Bien que leur nombre ait décliné par rapport aux décennies précédentes, les brûlures électriques sont présentes dans la majorité des accidents d'origine électrique (près de 68 % de cas).

Les plus fréquentes sont les brûlures par arc (dans 71 % des cas). Elles sont en majorité de taille moyenne (superficie entre 1 et 10 % de surface corporelle) et provoquées par des accidents en basse tension dans 75 % des cas.

5.4 Complications

5.4.1 Complications infectieuses

Dans notre étude nous n'avons pas relevé de cas de septicémie correspondant à l'infection de la brûlure par un germe souvent multirésistant.

Dans la série 1996-2005, un cas de septicémie à bacille pyocyanique (*Pseudomonas aeruginosa*) a conduit à une évolution fatale. La septicémie est également responsable de 4 cas de complications dans l'étude 1980-1989 et la cause de 21 décès dans l'étude 1970-1979. L'infection est une des premières causes de décès secondaire avec l'insuffisance rénale secondaire à une atteinte tubulaire par myoglobinurie. Il peut s'agir de plusieurs aspects :

- infection des plaies et des brûlures,
- arthrites et ostéomyélites,

- gangrènes gazeuses,
- méningites purulentes notamment après une brûlure du crâne avec brèche méningée (1 cas dans l'étude 1980-1989),
- péritonite en cas de perforation d'organe abdominal (1 cas après lésion de la vésicule biliaire étude 1970-1979),
- broncho-pneumopathies.

Le risque infectieux est favorisé par la destruction tissulaire étendue et l'ischémie. La prévention passe par l'excision précoce des tissus nécrosés et l'antibiothérapie adaptée.

5.4.2 *Complications hématologiques*

L'anémie ou la thrombopénie peuvent être secondaires à une électrisation. Szabo décrit un cas d'aplasie médullaire débutant au troisième jour après un électrotraumatisme de 10 000 volts (Szabo et Ver 1984).

5.4.3 *Complications digestives*

Des iléus paralytiques, ulcérations et perforations gastro-intestinales, nécroses ou perforations de vésicule biliaire, pancréatites aiguës ont été signalés dans la littérature mais il peut s'agir aussi de complications de la réanimation sans lien direct et certain avec l'électrisation.

5.4.4 *Complications orthopédiques*

Souvent secondaires à un traumatisme, à une chute éventuelle, elles peuvent aussi être consécutives à une contraction musculaire brutale provoquant des fractures ou luxations. Nous avons relevé un traumatisme crânien associé à un traumatisme rachidien responsable d'un coma avec œdème cérébral, une fracture des os propres du nez, un traumatisme de l'épaule (avec arthrite scapulo-humérale) et une entorse du genou. Dans l'étude 1965-1969 deux décès sont secondaires à des complications traumatiques et dans l'étude 1970-1979 quatre décès secondaires, soit 33 % des cas, sont dus à un traumatisme (2 fractures du crâne et 2 fractures du rachis). Selon les auteurs 3,3 % à 11,1 % de fractures sont dues à un traumatisme (Bouveret 1993). Dans notre série aucun cas n'a été observé.

5.5 *Séquelles*

Dans ce chapitre nous décrivons les séquelles des accidents d'origine électrique rencontrées dans notre série et complétées par la description de l'évaluation médico-légale faite dans le cadre de la réparation de l'accident du travail.

Sur les 169 cas, 51 présentent des séquelles (voir Tableau 25).

Tableau 25 *Présence de séquelles.*

Paramètre d'étude	Total
	169
Au moins une séquelle de l'accident	
Oui	51 (37,5 %)
Non	85 (62,5 %)
Non renseigné / Ne sait pas	37

Parmi les séquelles, celles qui sont liées aux brûlures sont majoritaires (22,9 %).

Tableau 26 *Répartition du type de séquelles.*

Type de séquelles	Total
	169
Séquelles de brûlures	32 (24,2 %)
Séquelles neurologiques	7 (5,3 %)
Séquelles psychiques	17 (12,9 %)
Séquelles sensorielles	7 (6,1 %)
Séquelles orthopédiques	6 (4,5 %)

Les séries antérieures ont rapporté uniquement les séquelles des brûlés. Les comparaisons ne peuvent donc se faire que sur les 95 brûlés présentant des séquelles et non pas pour tous les accidentés.

Séquelles directement liées aux brûlures

Les séquelles directement liées aux brûlures sont les séquelles les plus fréquentes. Il s'agit de séquelles inesthétiques, invalidantes et parfois mutilantes (voir Tableau 27).

Tableau 27 *Détails des séquelles des brûlures.*

Détails des séquelles directement liées aux brûlures	Total
	32
Cicatrices	26 (89,7%)
Amputation	2 (6,9%)
Greffes	1 (3,5%)
Non renseigné / ne sait pas	4

Séquelles inesthétiques

Ces cicatrices peuvent être dyschromiques, prurigineuses, chéloïdes, hypertrophiques, etc.

Elles sont mentionnées dans les certificats de consolidation 33 fois. Ces séquelles correspondent majoritairement aux brûlures des mains et poignets (16), de la tête et du cou (11), des membres supérieurs (5).

Séquelles orthopédiques

Comme déjà signalé, nous avons observé 4 amputations chez 4 sujets : 1 au niveau de l'index, 1 au niveau de la main et 2 plus proximales au niveau du membre supérieur.

Séquelles sensorielles

Nous avons observé 7 accidentés qui gardent des séquelles sensorielles à la suite de leur accident soit 4,1 % des sujets électrisés et 13,7 % des personnes avec des séquelles. Il s'agit de séquelles visuelles et auditives.

Séquelles visuelles

La vision est concernée dans 15 cas sous forme de manifestations aiguës dont 3 ont été suivis de séquelles.

Dans l'étude précédente, parmi les 30 troubles visuels, 6 cas ont été indemnisés. Il s'agissait d'une cataracte, de trois atteintes rétiniennes dont une compliquée par une cécité, d'un ptosis et d'une gêne du regard vers la droite.

Séquelles auditives

Dans notre série, nous avons relevé 5 cas de séquelles auditives : acouphènes, baisse de l'audition bilatérale ou unilatérale et perforation tympanique.

On en dénombre 6 cas dans l'étude 1996-2005, 15 dans l'étude 1970-1979, 13 dans l'étude 1965-1969.

Séquelles neuropsychiques

Les séquelles neuropsychiques représentent, aujourd'hui, l'une des deux plus fréquentes séquelles. Elles impliquent principalement le système nerveux périphérique.

Séquelles neurologiques

Dans notre étude, les séquelles neurologiques représentent un peu plus de 5 % des cas (voir Tableau 28).

Tableau 28 Présence de séquelles neurologiques.

Séquelles neurologiques	Total survivants
Oui	7 (5,3 %)
Non	134 (94,7 %)
Non renseigné / ne sait pas	27

Dans le détail, nous observons 5 déficits sensitifs, un déficit moteur et un cas avec des séquelles algiques.

Séquelles psychologiques et psychiatriques

La fréquence des troubles psychiques est en légère augmentation. Elle était de 7 % ($n = 21$) dans les années 2000 *versus* 12 % ($n = 17$) dans notre étude. Il s'agit dans 11 cas de syndrome post traumatique (SPT) et dans 6 cas de la forme dégradée du même syndrome.

Sur les quatre accidentés, brûlés qui ont subi des amputations, un seul présente un SPT. Cela confirme les observations de l'étude précédente où des séquelles psychologiques sont apparues chez un seul des quatre accidentés ayant subi une amputation.

Bien que le petit effectif (moins de 5 personnes) rende l'interprétation du résultat délicate, il faut souligner l'absence de corrélation systématique entre la gravité de l'accident et le SPT dans nos deux études. Cela corrobore les résultats de l'étude australienne portant sur 119 personnes ayant subi une lésion électrique. Parmi les six personnes présentant un SPT, trois n'avaient pas été victimes d'accidents graves (Aggarwal, Maitz *et al.* 2011).

Autres séquelles

Nous n'en avons pas observé de séquelles cardio-vasculaires, rénales, olfactives ou gustatives.

Encadré 9 - À retenir : les séquelles.

Les séquelles psychiques, pour être moins apparentes que d'autres séquelles, n'en représentent pas moins une complication de survenue non négligeable. Leur installation n'est pas corrélée à la gravité de l'accident ou à ses séquelles physiques. Elles peuvent survenir lors d'accidents sinon bénins mais qui du moins ne réunissent pas les critères habituels de gravité. Le blessé n'est plus en mesure de contrôler « le retentissement émotionnel du traumatisme psychique ainsi que les souvenirs qui lui sont attachés ». En un mot il a perdu ses capacités de résilience. Laissons parler les blessés : « *je me suis vu mourir* », « *comment accepter ce qui m'est arrivé ?* » « *j'étais à la fois acteur et spectateur de mon propre accident* ».

Les plaintes portent donc sur la mémoire, le sommeil, la reviviscence du traumatisme initial et les conduites d'évitement.

Notre étude confirme la nécessité d'une reconnaissance précoce et du traitement des troubles neurologiques et/ou psychiques après un accident électrique car son degré de gravité initiale ne présage en rien de l'importance des séquelles associées. La qualité de la prise en charge psychologique précoce, incluant les thérapies cognitives et comportementales, et poursuivie pendant toute la période de rééducation et de réinsertion est fondamentale pour aboutir à une évolution favorable.

Séquelles socio-professionnelles

Séquelles à l'origine d'une incapacité permanente partielle (IPP) (Tableau 29)

Le préjudice esthétique comme les souffrances endurées qui n'entraînent pas d'incapacité fonctionnelle, ne sont pas indemnisables dans le cadre d'un accident du travail. Ce fait doit cependant être nuancé car les causalgies d'une atteinte neurogène périphérique seront indemnisées. L'IPP de 100 % correspond au décès du blessé.

Nous relevons dans notre étude 27 cas d'incapacité permanente soit 19 % de nos accidents. Ce pourcentage était de 26 % pour la période 1995-2006. Deux cas d'IPP à plus de 80 % sont à relever. Ils correspondent à des amputations et un syndrome post commotionnel (voir Tableau 29).

Tableau 29 Répartition des accidents ayant entraîné une IPP.

Population étudiée - accidents hors décès	Total
	27
1 à 10 %	17 (65,4 %)
11 à 30 %	5 (19,2 %)
31 à 50 %	2 (7,7 %)
51 à 100 %	2 (7,7 %)
Non renseigné / ne sait pas	1

Parmi les 27 IPP, la moitié concerne les brûlures, par arc dans 15 cas, par flash dans 3 cas. Parmi les 9 accidents considérés comme graves, c'est-à-dire les accidents mortels et les accidents ayant entraîné des IPP supérieures à 30 %, 5 résultent d'une électrisation directe et 4 sont secondaires à des arcs (1 accident n'a pas été renseigné).

À noter que lorsqu'une incapacité partielle permanente n'est pas reconnue cela ne signifie pas une absence de séquelles, mais que celles-ci ne sont pas indemnisables dans le cadre de la législation sur les accidents du travail et leur réparation. Rappelons que ces modalités d'indemnisation sont différentes de celles du droit

commun du fait des barèmes utilisés et de la prise en compte des préjudices extra patrimoniaux qui font l'objet d'une réparation spécifique, qu'il s'agisse notamment des souffrances endurées, du préjudice esthétique et du préjudice d'agrément.

Une IPP est :

- légère pour un taux de 1 à 10 %,
- modérée pour un taux de 11 à 50 %,
- importante au-delà de 50 %.

À propos de la réinsertion professionnelle et socio familiale

L'accident électrique grave est un bouleversement de la vie du blessé qui dépasse les seules séquelles physiques ou psychologiques. Il va souvent remettre en cause toutes les composantes de la vie du blessé, vie familiale, vie sociale et activité professionnelle.

Les changements de poste de travail découlent des taux d'IPP. En revanche les restrictions concernent plutôt les IPP légères mais dont la part « psychologique » est loin d'être négligeable.

Le devenir psychosocial et familial des brûlés est sensible mais difficile à étudier. Il commence par la réinsertion professionnelle et dépend souvent du regard des autres. Il dépend aussi beaucoup de la « volonté de s'en sortir » du malade (Echinard et Latarjet 1993).

Une étude plus pertinente (mais difficile à réaliser du fait d'éléments précis et personnels à obtenir) reste à conduire. Elle essaierait de prendre en compte la prise en charge globale du brûlé qui inclut :

- les antécédents médicaux et en particulier les antécédents psychologiques ;
- les soins d'urgence et leur efficacité ;
- l'encadrement pendant les soins, le plus souvent dans des structures médicales spécialisées ;
- la réinsertion dans la vie active, professionnelle mais aussi familiale et sociale ;
- les séquelles.

Dans une étude de suivi des patients entre 5 et 9 ans après l'accident, 14 cas sur 16 présentaient une dépression, 11 sur 13 avaient perdu l'emploi occupé avant l'accident et 9 sur 11 avaient divorcé (Lee, Capelli-Schellpfeffer *et al.* 1994).

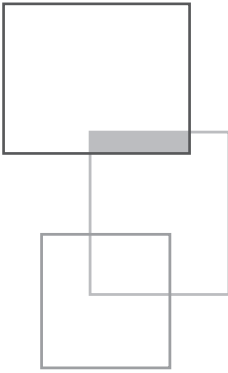
De même, sur 11 dossiers de grands brûlés (Lebaupin 1979), on constatait 10 divorces consécutifs à des électrisations (Folliot 1991).

Dans une étude conduite au Maroc (Barroso 2003), sur une série de 117 brûlés, on retrouvait dans 53,9 % des cas une dépression « post brûlure » dont 20,5 % de formes sévères, selon l'échelle de Beck (depression inventory). La survenue et la sévérité de la dépression seraient liées à la brûlure (son étendue et son siège).

L'étude incluait des brûlures chimiques, par flamme, liquides et électriques. Les blessés par brûlures électriques, au nombre de 4, présentaient tous un état dépressif. Fait important, 34,9 % des patients dépressifs n'avaient aucun soutien social.

Seulement 2 patients ayant un soutien familial et extra familial ont présenté une dépression sévère.

Ces chiffres montrent bien que le traitement des blessés ne s'arrête pas à la phase aiguë, dans sa composante médico-chirurgicale. Le retentissement psychologique du traumatisme vécu et des séquelles est aussi difficile sinon plus à prendre en charge. Cette prise en charge doit être multidisciplinaire incluant l'équipe médicale, avec notamment les psychologues, l'environnement socioprofessionnel et familial, sans négliger l'importance des associations et des groupes de paroles.



Chapitre 6

Conduite à tenir en urgence

Si le meilleur traitement reste la prévention grâce à l'action conjuguée du médecin du travail et des préventeurs, la conduite à tenir se résume en trois actes : protéger, alerter, secourir.

Des premiers gestes, de leur qualité et surtout de leur rapidité, dépendent en bonne partie des conséquences de l'accident.

Ceci justifie donc l'importance accordée à la formation en matière de secourisme pour toute personne pouvant se trouver devant une telle situation.

6.1 Premiers gestes

La chronologie des premiers gestes est schématisée dans la figure 29.

Il faut d'abord, et chaque fois que possible, couper le courant pour éviter un sur-accident, tout en faisant le nécessaire, le cas échéant, pour prévenir la chute du sujet électrisé.

Si le dispositif d'arrêt du courant n'est pas accessible, le sauveteur doit s'isoler du sol, des éléments conducteurs et de la victime. S'il s'agit d'un accident en haute tension, il faut faire appel aux services techniques spécialisés.

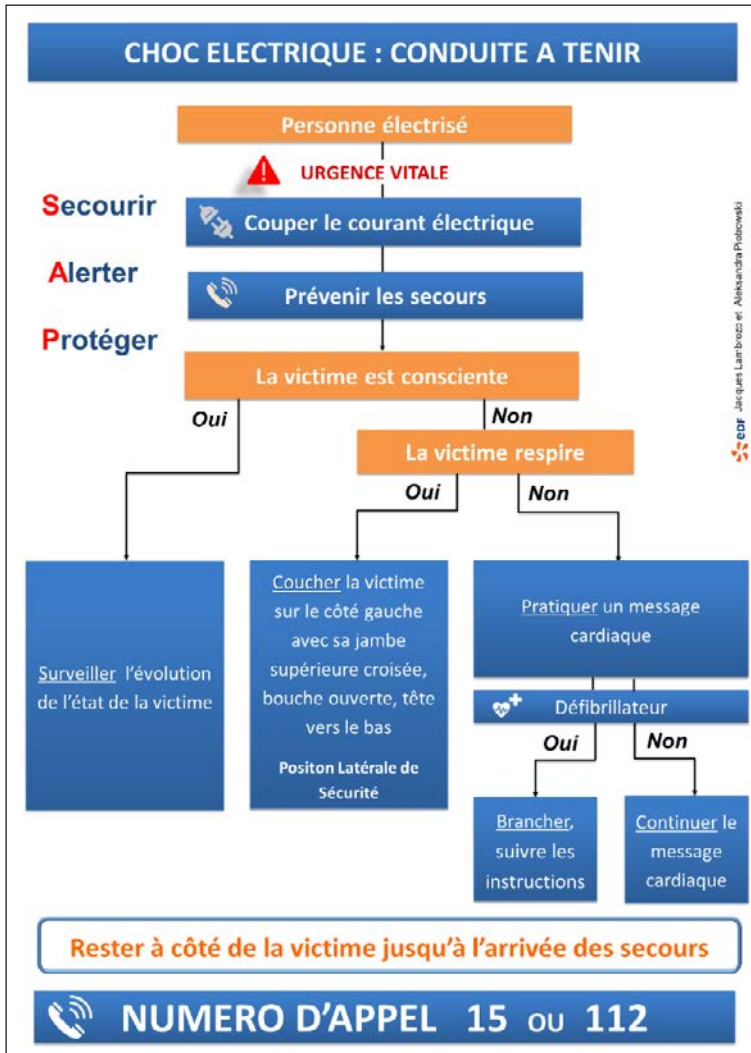


Figure 29 Conduite à conduire en cas de choc électrique.

Il faut dégager l'accidenté de la source électrique s'il est resté en contact, en prenant toujours soin de s'isoler.

Il faut appeler les secours médicaux (15 ou 112) et, sur place, dispenser les premiers soins.

La prise en charge sera d'autant plus efficace que les informations fournies seront complètes, c'est-à-dire préciser :

- la localisation,
- la qualité (la fonction) de la personne qui appelle,
- le lieu exact,
- la nature de l'accident,
- le nombre de victimes,
- l'état de la victime.

6.2 Premiers soins

Le massage cardiaque externe est essentiel et doit être entrepris d'emblée :

avec la paume des deux mains perpendiculairement à l'axe du sternum légèrement au-dessus de la xyphoïde. S'il n'y a qu'un sauveteur (cas le plus courant) c'est le massage cardiaque qui a la priorité, pour rétablir une hémodynamique (précaire) appréciée sur le pouls carotidien.

Ces gestes sont poursuivis jusqu'à l'arrivée des secours mobiles médicalisés spécialisés d'urgence.

6.3 Recours au défibrillateur

Nous l'avons vu précédemment, même si l'incidence des accidents d'origine électrique a diminué, ils ne restent pas moins graves voire mortels. En effet malgré des efforts considérables obtenus en prévention primaire, « le risque zéro n'existe pas ».

Il faut donc également s'occuper de la prévention secondaire et notamment de la prise en charge rapide de l'arrêt cardio-respiratoire pour améliorer le pronostic.

Une des avancées technologiques médicales majeure concerne le défibrillateur externe. Ceci mérite un développement car plus d'un demi-siècle après son introduction et malgré les études démontrant un gain de survie incontestable, se pose encore la question de l'équipement en défibrillateurs de certains lieux recevant du public ou certains grands chantiers. Les Etablissements Recevant du Public (ERP) de catégories 1 à 3 doivent être équipés depuis le 1^{er} janvier 2020, ceux de catégorie 4 avant le 1^{er} janvier 2021, et certains de catégories 5 avant le 1^{er} janvier 2022 (ministère des Solidarités et de la santé 2018).

La défibrillation consiste à faire passer à travers le cœur un courant électrique qui entraîne la dépolarisation simultanée de toutes les cellules myocardiques interrompant les phénomènes de réentrée (*cf.* chapitre physiopathologie : fibrillation ventriculaire) et donc la fibrillation ventriculaire. Ceci à l'aide d'un défibrillateur. Il en existe deux types :

- le semi-automatique où le choc électrique est déclenché par l'opérateur, sur indication de l'appareil,
- l'automatique où le choc est déclenché par l'appareil sans intervention humaine lorsque celui-ci détecte une fibrillation ventriculaire ou une tachycardie ventriculaire.

Selon le guide national de référence de formation à l'utilisation du défibrillateur semi-automatique (<https://www.secourisme.net/IMG/pdf/gnrfudsa.pdf> consulté le 15/09/2022) 45 % des victimes en arrêt cardio-respiratoire sont en fibrillation ventriculaire lorsque les pompiers arrivent contre 12 % à l'arrivée du Service mobile d'urgence et de réanimation (Smur). Si une défibrillation précoce est faite 21 % des victimes reprennent une activité cardiaque et 7 % survivent, alors que si la défibrillation est tardive, 6 % récupèrent et seules 2 % survivent finalement (Direction de la défense et de la sécurité civiles, Sous-direction des sapeurs-pompiers *et al.* 2004).

En 1991, Cummins (Cummins, Ornato *et al.* 1991) a développé le concept de la « chaîne de survie » encore d'actualité et particulièrement adaptée au milieu du travail. Elle comprend quatre maillons résumés par :

- une procédure d'alerte qui doit être enseignée à tout nouvel employé ;
- des gestes de réanimation cardio-pulmonaire de base ;
- une défibrillation précoce ;
- une réanimation cardio-pulmonaire spécialisée.

Chaque maillon de la chaîne doit être approfondi et bien coordonné avec le suivant pour augmenter les chances de survie.

Le milieu de travail est plus circonscrit que les lieux publics et par nature, plus accessible à la formation. Il convient donc de continuer à former et à équiper les métiers à risque.

Cependant, les deux premiers maillons de la chaîne sont bien moins coûteux, plus accessibles et tout aussi importants. Il appartient à chacun de se sentir responsable.

6.4 Surveillance médicale

La conduite à tenir en cas de choc électrique est formalisée dans la figure 30.

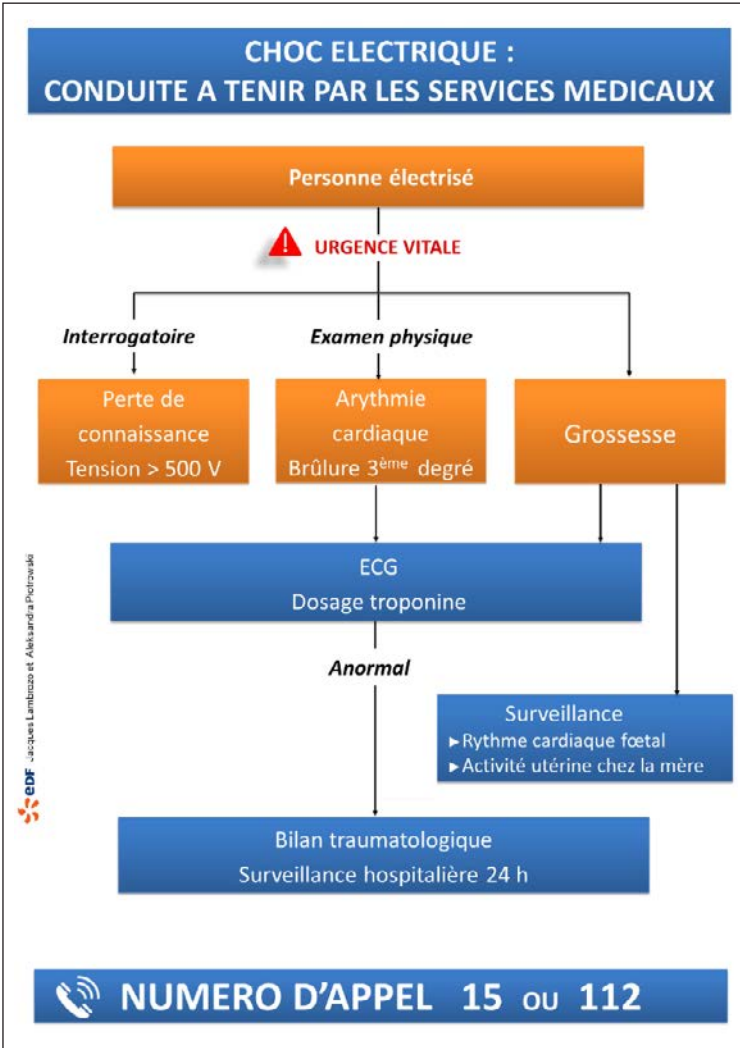


Figure 30 Surveillance médicale : conduite à tenir en cas de choc électrique.

6.5 Le cas particulier des brûlures

Comme dans le cas précédent, le sauveteur surveille le blessé jusqu'à l'arrivée des secours.

S'il est inconscient l'accidenté doit être placé en position latérale de sécurité (PLS) sans être déshabillé.

Il ne faut rien appliquer sur la surface brûlée, mais recouvrir la victime d'un drap propre et, si la brûlure n'est pas trop étendue, la recouvrir de compresses stériles lorsqu'elles sont disponibles, ce qui est rarement le cas en milieu de travail.

Le refroidissement à l'eau de la brûlure n'a pas vraiment d'indications dans les brûlures électriques car les plus graves sont parfois à peine apparentes.

Le transport sera toujours médicalisé vers le service spécialisé qui va prendre en charge le blessé. Il sera à même d'assurer la réhydratation, l'alcalinisation et l'antalgie.

Encadré 10 - Rappel historique.

En 1850, Ludwig et Hoffa décrivent la fibrillation chez l'animal.

En 1875, Abildgaard montre qu'un choc électrique peut tuer un poulet mais qu'un deuxième choc très proche « le ressuscite ».

En 1947, Beck effectue la première défibrillation à thorax ouvert.

En 1956, Zoll effectue la première défibrillation à thorax fermé.

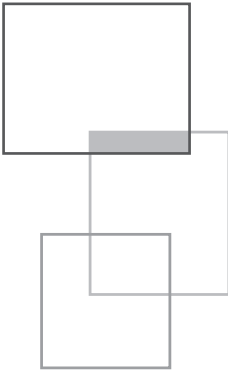
En 1967, une équipe britannique réussit la première défibrillation hors de l'hôpital.

En 1994, commercialisation des défibrillateurs semi-automatiques.

6.6 Le cas de la femme enceinte

Une surveillance obstétricale et fœtale est nécessaire. Un monitoring des bruits fœtaux et des contractions utérines pendant au moins 4 heures s'impose à partir de la 20^e semaine, associé à un ECG chez la mère. Il sera maintenu en cas d'anomalies utérines ou fœtales pendant cette première phase de surveillance (Einarson, Bailey *et al.* 1997, Fish et Geddes 2009).

À partir de la 13^e semaine, une échographie fœtale est recommandée pour apprécier la vitalité fœtale et pour répondre aux sollicitations maternelles.



Chapitre 7

Éléments de prévention

La figure 31 schématise la prévention du risque électrique.

L'électricité est sans doute l'agent physique qui a suscité le plus grand nombre de textes de prévention mais « si nul n'est censé ignorer la loi, personne ne peut se vanter de la connaître en totalité » (Folliot 1982).

La prévention des accidents d'origine électrique est à la fois médicale et technique. Nous aborderons ici essentiellement l'apport du domaine médical.

7.1 Prévention médicale

La prévention est l'action spécifique et quasi exclusif du service de santé au travail. Elle s'effectue lors de la visite d'embauche, des visites périodiques et du « tiers temps ».

7.1.1 Lors de la visite d'embauche

Seuls une étude rigoureuse du poste de travail, un interrogatoire, un examen clinique et paraclinique adaptés permettent au médecin du travail de se prononcer sur l'aptitude d'un candidat à un poste. Nous pouvons prendre comme l'exemple l'importance du dépistage de la dyschromatopsie congénitale (en France les dyschromatopsies héréditaires concernent 9 % des hommes et 0,5 % des femmes (Maréchal, Delbarre *et al.* 2019) ou simplement le fait que certains travaux sont interdits aux moins de 18 ans.

Certains travaux sont considérés comme des postes dangereux réclamant un suivi individuel renforcé. Dans ce cas il y a danger pour l'exécutant, citons par exemple le poste de monteur aérien pour un candidat dont le diabète est mal équilibré et sujet à des épisodes d'hypoglycémie (Folliot 1982).

La réalisation d'un ECG, est une précaution indispensable, pour dépister un état antérieur et a aussi un intérêt médico-légal, en cas d'accident ultérieur.

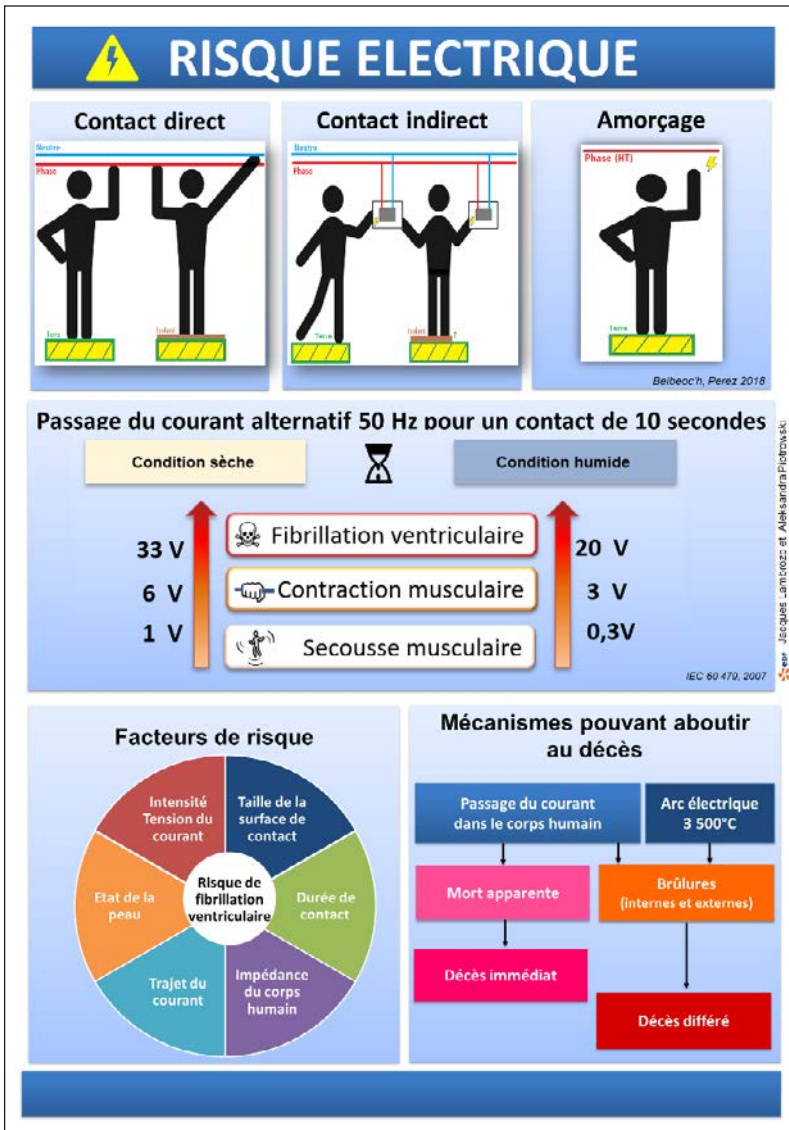


Figure 31 Élément de prévention – Risque électrique : danger.

7.1.2 *Lors des visites périodiques*

Elles sont obligatoires mais leur périodicité dépend du poste occupé. Elles sont systématiques après 30 jours d'absence après un accident de travail ou un arrêt maladie.

Le but est d'apprécier l'aptitude à reprendre son poste ou de juger de la nécessité d'une réadaptation du salarié notamment par une formation complémentaire.

À souligner, l'importance de ces visites après électrisation. En effet, suite à un traumatisme électrique, outre l'empathie qui s'impose après un accident du travail, il faut être vigilant pour diagnostiquer précocement les séquelles psychologiques afin de pouvoir en minimiser les conséquences.

7.1.3 *Lors du tiers temps*

Le médecin du travail et son équipe se consacrent notamment à la formation des employés, notamment à l'enseignement du secourisme (prévention secondaire) mais aussi à la vérification des règles et des normes de sécurité (prévention primaire).

Signalons également que le service de santé au travail doit s'assurer de la présence d'affiches d'ordre préventif (mises en garde et précautions contre le danger du courant électrique) et curatif (consignes en cas de nécessité d'évacuation et soins à donner aux électrisés).

7.2 *Place des facteurs humains*

Comme l'analyse des circonstances des accidents d'origine électrique le met en évidence, ce sont le plus souvent des erreurs humaines qui sont en cause.

Il s'agit, la plupart du temps, de l'inobservance d'une ou plusieurs règles de sécurité, que ce soit par ignorance, sous-estimation du risque, négligence (par exemple : oublier de vérifier l'absence de tension) ou simple oubli des équipements isolants.

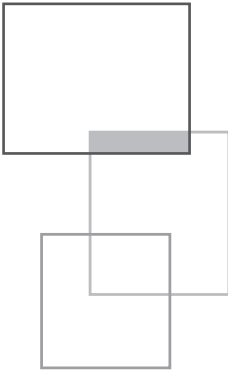
Cependant il s'agit également parfois de facteurs individuels : fatigue, état en rapport avec un événement personnel ou familial, appréhension à la suite d'antécédents d'électrotraumatisme. Le profil psychologique joue un rôle souvent prépondérant dans ces facteurs, ce qui explique la difficulté à les maîtriser.

La question plus générale des conduites addictives en milieu de travail et notamment dans les métiers à risque pour l'agent et/ou quand d'autres vies en dépendent (conducteurs de bus scolaires, pilotes d'avion...) est délicate et ne connaît pas de réponse univoque.

Prévenir encore et toujours plus et mieux : une ardente obligation

Ainsi que nous l'avons signalé, l'incidence des accidents d'origine électrique poursuit sa décroissance malgré l'augmentation de la consommation de l'électricité.

Ils n'en demeurent pas moins des évènements très sérieux. Une électrocution est toujours une mort prématurée. L'objectif demeure : « Zéro électrocution », que l'on soit acteur dans la production et la distribution de l'électricité ou que l'on ait un simple rôle préventif, ce qui est la responsabilité de tout citoyen.



Chapitre 8

Conclusions

Cette enquête d'électropathologie, conduite sur la plus importante base de données médicales en milieu professionnel existant en France, et portant sur les années 2009-2018, fait suite à une série d'enquêtes poursuivies depuis cinquante ans soit un total de 8 062 accidents d'origine électrique depuis 1950.

Le suivi des cas au fil des années a permis de démontrer ou de confirmer une série de points d'importance :

- La réduction régulière du nombre d'accidents du travail impliquant le facteur électrique. À titre d'illustration, l'enquête conduite dans les années soixante recensait 174 cas en moyenne par an, dans les années soixante-dix 123 cas en moyenne par an. Il n'est plus que de 31 cas en moyenne par an dans cette nouvelle série.

Il faut y voir là le fruit des efforts de prévention et d'éducation vis à vis du risque électrique, tant le facteur humain prédomine comme cause principale de ce type d'accident, bien au-delà de la défaillance technique des matériels.

- Le second point est clinique. Les brûlures électrothermiques et mixtes associant flash d'un arc et/ou effet Joule connaissent toujours la même gravité en particulier par leur localisation aux membres avec des conséquences fonctionnelles redoutables (amputation) voire mettant, en jeu le pronostic vital par leur étendue. Cependant des facteurs encourageants doivent être soulignés.

Les méthodes de réanimation (mieux connues des équipes de premier secours et des collègues de travail des accidentés) permettent de réduire par un choc électrique une fibrillation ventriculaire. La mise à disposition de plus en plus large des défibrillateurs semi-automatiques ou automatiques, dont l'usage est simplissime, devrait encore améliorer ces résultats de ressuscitation sur le terrain

même de survenue de l'accident. De plus, les progrès des techniques de réanimation, cette fois hospitalière, ont permis de voir quasiment disparaître les complications oligo anuriques qui participaient notablement à la gravité des complications secondaires et parfois d'évolution fatale. En effet nous n'avons plus observé de séquelle rénale dans notre série.

Est-ce à dire que ces progrès ont fait des électrisations des accidents bénins ou presque ? Non, car si les pathologies ont changé de visage, elles existent bel et bien et les séquelles associées peuvent être sérieuses.

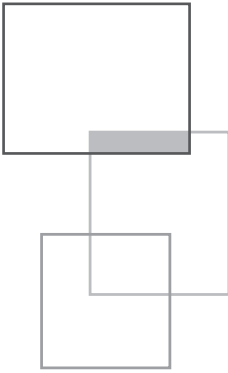
Les séquelles sensorielles sont à prendre en considération. Parmi les séquelles ophtalmologiques, les cataractes sont connues et classiques mais la possibilité de brûlures rétiniennes lors d'un photo-traumatisme est une éventualité grave car sans recours thérapeutique et générant une baisse parfois importante de l'acuité visuelle. Le second point sur lequel il convient d'insister sont les séquelles neuropsychologiques. Elles sont certes connues de longue date puisque la série de François et Cabanes de 1969 identifie 19 cas sur 1044 accidents (1,8 %) et celle de Le Loc'h en 1975 en recense 15 cas sur sa série de 710 accidents (2,1 %). Il apparaît cependant que leur fréquence est en augmentation, en partie parce que l'on ne trouve que ce que l'on recherche de façon systématique, mais aussi parce que les accidents très graves se sont faits plus rares. Il s'agit le plus souvent d'une d'anxiété et d'un syndrome de stress post-traumatique, de traitement difficile et qui est souvent, dans un premier temps, négligé, notamment quand les séquelles fonctionnelles sont au premier plan. Il s'y ajoute des conséquences non négligeables à la fois sur l'équilibre de la vie personnelle et familiale et sur la réinsertion professionnelle qui peut être longue, malaisée et aboutir à un sentiment de déclassement.

L'origine électrique de l'accident serait pour Mancusi-Ungaro un facteur de gravité supplémentaire (Mancusi-Ungaro, Tarbox *et al.* 1986). Enfin la conjonction avec des séquelles neurologiques sous la forme de neuropathie périphérique à prédominance sensitive est possible et aggrave le pronostic.

Des voies de progrès s'annoncent grâce à une meilleure prise en charge du syndrome de stress post traumatique, mais aussi de nouveaux traitements visant à réduire l'altération tissulaire à la suite du choc électrique, en rapport cette fois avec une électroporation due à un champ électrique de haute intensité (dont l'effet se surajoute à celui de la brûlure par effet Joule) (Lee et Kolodney 1987).

L'utilisation du surfactant Poloxamer 188 serait en mesure de réduire le phénomène d'électroporation. Les poloxamers ont la propriété de s'incorporer à la membrane cellulaire pour en modifier la viscosité (Sharma, Stebe *et al.* 1996). Certains résultats encourageants ont été publiés mais il s'agit encore de données préliminaires qui requièrent confirmation (Lee et Despa 2005).

Autres pistes à explorer, celle d'un marqueur biologique de gravité. La baisse des fractions C3 et C4 du complément a été observée chez des brûlés (indépendamment de l'origine de la brûlure). Dans cette série, ce marqueur était corrélé à un risque accru de sepsis et de décès, justifiant des mesures de réanimation précoces et adaptées.



Glossaire général

Accident de travail : c'est un accident survenu au salarié par le fait ou à l'occasion de son travail, quelle qu'en soit la cause et dont la lésion peut être corporelle ou psychologique (Code sécurité sociale L411-1).

Un accident de travail grave est un accident ayant entraîné la mort ou qui a donné lieu à une lésion permanente et dont la survenue a un rapport direct avec soit (i) une déviation du processus normal d'exécution du travail, soit (ii) l'agent matériel qui est impliqué dans l'accident.

Arc électrique : décharge lumineuse d'électricité à travers un milieu isolant, en général accompagnée d'une volatilisation partielle des électrodes.

Remarques : une étincelle est un petit arc électrique lumineux de courte durée. La foudre est un arc entre plusieurs nuages ou entre un nuage et le sol. Un arc émet de la lumière, des infrarouges et des ultraviolets agressifs pour la chambre antérieure de l'œil.

Brûlures d'origine électrique : brûlures résultant du passage de courant dans le corps humain soit directement à la suite d'un contact avec des matériels conducteurs, soit indirectement du fait de projections de matières incandescentes ou de la combustion de vêtements. On distingue schématiquement les brûlures par arc et les brûlures électrothermiques.

Brûlure par arc : brûlure souvent grave dû à un arc électrique. Deux cas se présentent :

- l'arc électrique apparaît entre deux conducteurs sous tension qui ne sont pas au même potentiel, sans passer par le corps. La température est alors généralement supérieure à 3 000 °C et entraîne de très graves brûlures,

- il y a amorçage entre un objet et le corps humain, provoquant des brûlures électrothermiques.

Brûlure électrothermique : brûlure due au passage du courant électrique dans le corps résultant d'un contact direct avec une source électrique. Elle intéresse la peau et les tissus plus profonds en fonction de leur résistance (muscles, vaisseaux sanguins, nerfs).

Brûlure mixte : c'est l'association des brûlures électrothermiques et thermiques.

Degré d'une brûlure : classement de la brûlure en fonction de sa profondeur

- 1^{er} degré : concerne l'atteinte des couches superficielles de l'épiderme,
- 2^e degré dit superficiel : concerne l'atteinte de tout l'épiderme,
- 2^e degré dit profond : concerne tout l'épiderme et la jonction dermo-épidermique,
- 3^e degré : concerne l'atteinte de l'épiderme, du derme et plus ou moins l'hypoderme.

Certaines écoles distinguent un quatrième degré lorsque la brûlure atteint les muscles ou l'os.

Danger : propriété intrinsèque d'un facteur entraînant un dommage, un préjudice ou un effet nocif à l'égard d'une chose ou d'une personne. Ce terme est à différencier du mot « Risque ».

Domage corporel d'origine électrique : effet pathologique quel qu'il soit, du fait ou à cause d'un accident dû à l'électricité.

Électrisation : effet de l'électricité sur un organisme vivant.

Électrocution : choc électrique mortel.

Électropathologie : domaine de la pathologie en relation avec les effets du courant électrique sur les êtres vivants.

Électrophysiologie : domaine de la physiologie en relation avec les aspects électriques des phénomènes physiologiques.

Fibrillation ventriculaire : trouble du rythme cardiaque correspondant à la contraction rapide, désorganisée et inefficace des ventricules cardiaques. La pompe cardiaque est inefficace et le débit sanguin s'effondre.

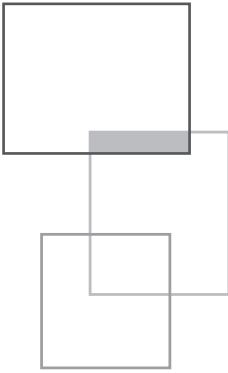
Gravité : lors d'un accident de travail, le Taux de Gravité (TG) est égal au nombre de journées perdues par Incapacité Temporaire de Travail (ITT) divisé par le nombre d'heures travaillées multiplié par 1000. L'Indice de Gravité (IG) correspond au taux d'incapacité Permanente Partielle (IPP) divisée par le nombre d'heures travaillées multiplié par un million.

IPP : Incapacité Permanente Partielle. Le taux d'IPP est fonction de la nature des séquelles, de l'état général, de l'âge, des facultés physiques et mentales et d'un état antérieur éventuel.

ITT : Incapacité Totale de Travail. Elle correspond à la période pendant laquelle un blessé est dans l'incapacité de se livrer à une activité professionnelle quelconque. En pratique, elle correspond le plus souvent à la durée de l'arrêt de travail.

Risque : probabilité plus ou moins forte que le danger survienne en cas d'exposition à ce danger.

Syndrome : ensemble de plusieurs symptômes ou signes cliniques en rapport avec un état pathologique donné et permettant par leur regroupement d'orienter le diagnostic vers une maladie.



Glossaire électrique

Choc électrique : effet résultant du passage d'un courant électrique à travers le corps humain ou celui d'un animal.

Contact direct : contact électrique de personnes ou d'animaux domestiques ou d'élevage avec des parties électriques actives.

Exemple : une personne passant sous une ligne électrique avec un fer à béton et qui s'électrocute est bien un accident qui résulte d'un contact direct car il y a eu contact par amorçage avec la ligne, les distances de sécurité n'ayant pas été respectées.

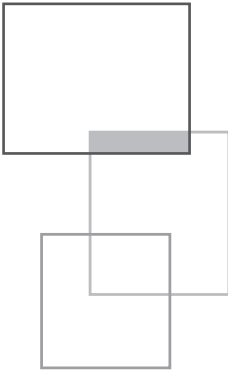
Contact indirect : contact électrique de personnes ou d'animaux domestiques ou d'élevage avec des masses mises sous tension à la suite d'un défaut d'isolement.

Remarque : une masse est une partie conductrice mais qui, en service normal, est isolée des parties actives. Exemple : l'enveloppe métallique d'une machine à laver. En France, notamment pour les installations domestiques, ces masses doivent être reliées à une mise à la terre *ad hoc* constituant une protection contre les contacts indirects.

Court-circuit : dans un circuit électrique c'est un contact accidentel entre deux conducteurs qui sont à des potentiels différents.

Remarque : Un court-circuit peut résulter d'un mauvais branchement, d'une baisse d'isolement du matériel, d'un amorçage, etc.

Tension : différence de potentiel (en volt).



Bibliographie

- (1959). Étude des accidents électriques ayant entraîné le décès ou une incapacité permanente partielle des accidentés parmi le personnel d'Électricité de France pendant la période 1949-1958. Paris, Comité médical d'EDF.
- (2016). Électricité Prudence – Gardons nos distances. E. Doc555. Paris, ENEDIS-RTE.
- Aggarwal, S., P. Maitz et P. Kennedy (2011). *Electrical flash burns due to switchboard explosions in New South Wales – a 9-year experience*. *Burns* **37**(6): 1038-1043.
- American Psychiatric Association (1980). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders*. Washington, DC, American Psychiatric Press.
- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders*. Washington, DC, American Psychiatric Press.
- Assurance Maladie (2020). *Rapport Annuel 2019 – Éléments statistiques et financiers*.
- Aurengo, A. (1997). *Accidents de l'électricité*. « Biophysique », A. Aurengo, T. Petitclerc et F. Gremy. Paris, Flammarion: 160-166.
- Baghai, T. C. et H. J. Moller (2008). *Electroconvulsive therapy and its different indications*. *Dialogues Clin Neurosci* **10**(1): 105-117.
- Bailey, B., P. Gaudreault et R. L. Thivierge (2008). *Neurologic and neuropsychological symptoms during the first year after an electric shock: results of a prospective multicenter study*. *Am J Emerg Med* **26**(4): 413-418.

- Barroso, M. (2003). *Dépression post-brûlure : prévalence et facteurs favorisants. Étude prospective sur 117 patients brûlés*. Annals of Burns and Fire Disasters **16**(1).
- Bartholomé, C. W. (1975). *Cutaneous manifestations of lightning injury*, Arch. Dermatology. Archives of dermatology **111**(11): 1466-1474.
- Blondel, C. (1994). *Histoire de l'électricité*. Paris, Presse Pocket.
- Blondel, C., A. Rasmussen, F. Zanetti, S. Dupouy, C. Blondel, P. Brenni, I. von Bueltzingsloewen et I. R. Morus (2016). *Le corps humain et l'électricité - Perspectives historiques XVIII^e-XX^e siècle*. Paris, Belin.
- Bouveret, S. (1993). Complications neurologiques des brûlures électriques par courant haute tension : rapport d'un cas de paraplégie et revue de la littérature. Thèse pour obtenir le diplôme d'état de Docteur en médecine.
- Buono, L. M., N. L. DePace et D. M. Elbaum (2003). *Dilated cardiomyopathy after electrical injury: report of two cases*. J Am Osteopath Assoc **103**(5): 247-249.
- Cabanes, J. (1983). *Les brûlures électriques*. Paris, Roussel.
- Cabanes, J. (1985). *Essai sur l'histoire de l'électropathologie*. Revue générale de l'électricité **11**(2): 809-816.
- Camacho, F. M., J. Mazuecos et F. Rodriguez-Adrados (1999). *Basal cell carcinoma arising in an electrical burn scar secondary to transthoracic cardioversion*. Dermatol Surg **25**(2): 151.
- Chaïbdraa, A., M. Medjellak et A. Saouli (2008). *Accident d'électrisation et hémorragie cérébro-méningée : à propos d'une observation*. Annals of Burns and Fire Disasters, **21**(133): 37.
- Chandra, N. C., C. O. Siu et A. M. Munster (1990). *Clinical predictors of myocardial damage after high voltage electrical injury*. Crit Care Med **18**(3): 293-297.
- Chen, C.-W., Y.-K. Lin, Y.-S. Yeh, C.-W. Chen, T.-Y. Lin et S.-H. Chang (2021). *Low-Voltage Electricity-Associated Burn Damage of Lung Parenchyma: Case Report and Literature Review*. Journal of Emergency Medicine **60**(2): e33-e37.
- Cherington, M. (1995). *Central nervous system complications of lightning and electrical injuries*. Semin Neurol **15**(3): 233-240.
- Chi, L., Y. D. Ning, Q. F. Jun, C. Zhong et S. Y. Hua (1996). *Electrical injuries from graphite fishing rods*. Burns **22**(8): 638-640.
- Commission de régulation de l'énergie (2021, 18/06/21). L'électricité, comment ça marche ?
- Commission électrotechnique internationale (2011). Effets du courant sur le corps humain et sur les animaux domestiques – Partie 4 : Effets de la foudre. Rapport de la CEI. Genève, Commission électrotechnique internationale. IEC/TR 60479-4.
- Concas, G., B. Dôme, L. Lhardit et O. Tissot (2020). White Paper – Residential electrical safety – How to ensure progress. F. f. E. E. D. Safety. 02.

- Crocq, L. et R. Noto (1992). *Troubles neuropsychiques dus aux radiations et à l'électrisation*. Paris, Editions techniques.
- Cummins, R., J. Ornato, W. Thies et P. Pepe (1991). *Improving survival from sudden cardiac arrest: the "chain of survival" concept. A statement for health professionals of the Advanced Cardiac Life Support Subcommittee and the Emergency Cardiac Care Committee, American Heart Association*. *Circulation* **83**: 1832-1847.
- Dash, S., P. K. Arumugam, V. Muthukumar, M. Kumath et S. Sharma (2021). *Study of clinical pattern of limb loss in electrical burn injuries*. *Injury* **52**(7): 1925-1933.
- Ding, H., M. Huang, D. Li, Y. Lin et W. Qian (2019). *Epidemiology of electrical burns: a 10-year retrospective analysis of 376 cases at a burn centre in South China*. *Journal of International Medical Research* **48**(3): 1-10.
- Direction de la défense et de la sécurité civiles, Sous-direction des sapeurs-pompiers and Bureau de la formation et des associations de sécurité civile (2004). *Formation à l'utilisation du défibrillateur semi-automatique. Filière professionnelle. Guide national de référence*. Paris, ministère de l'Intérieur, de la sécurité intérieure et des libertés locales.
- DiVincenti, F. C., J. A. Moncrief et B. A. Pruitt, Jr. (1969). *Electrical injuries: a review of 65 cases*. *J Trauma* **9**(6): 497-507.
- Echinard, C. et J. Latarjet (1993). *Les brûlures*. Paris, Masson.
- Einarson, A., B. Bailey, G. Inocencion, K. Ormond et G. Koren (1997). *Accidental electric shock in pregnancy: a prospective cohort study*. *Am J Obstet Gynecol* **176**(3): 678-681.
- Elena-Sorando, E., A. Agullo-Domingo, E. Juan-Garcia et B. Amrouni (2006). *Bilateral shoulder fractures secondary to accidental electrical injury*. *Ann Burns Fire Disasters* **19**(1): 41-43.
- ENEDIS (2017). *Électricité: Prudence-Gardons nos distances*. Mistigris Communication.
- Fatovich, D. M. (1993). *Electric shock in pregnancy*. *J Emerg Med* **11**(2): 175-177.
- Fish, R. M. et L. A. Geddes (2009). *Conduction of electrical current to and through the human body: a review*. *Eplasty* **9**: e44.
- Folliot, D. (1982). *Les accidents d'origine électrique, leur prévention*. Paris, Masson.
- Folliot, D. (1991). *Accidents dus à l'électricité*. *Encyclopedie medico-chirurgicale Toxicologie pathologie professionnelle* **16515**(A10).
- Foris, L. A. et M. R. Huecker (2017). *Electrical Injuries*, Treasure Island (FL).
- France, S. P. (2018). *Enquête Permanente sur les accidents de la vie courante-Résultats 2017 Saint Maurice*: 12.
- François, R. C. et J. Cabanes (1968). *Étude des accidents électriques déclarés survenus parmi les membres du personnel de Électricité de France pendant la période 1959-1964*. Paris, Comité des études médicales d'EDF.

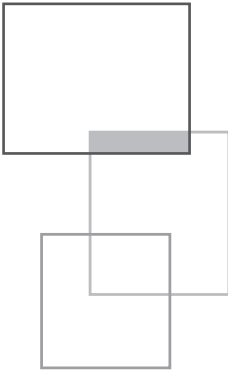
- Gary, C. (1994). *La foudre*. Paris, Masson.
- Ghosh, S., A. Chandra, S. Sen et S. Dutta (2021). *Atrial fibrillation following low voltage electrical injury*. *BMJ Case Reports* **14**(1): e239306.
- Gourbière, E. (1986). Étude des brûlures électriques à EDF sur une période de 10 ans 1970-1979 - 1142 cas, Université Paris VII.
- Gourbière, E. et J. Lambrozo (1992). *Brûlures électriques par accident du travail à EDF : une revue de 938 cas survenus durant la décennie 1980-1989*. *Annals of the Mediterranean Burns Club* **5**(2): 78-85.
- Gueugniaud, P. Y., G. Vaudelin, M. Bertin-Maghit et P. Petit (1997). *Accidents d'électrification. Conférences d'actualisation*. 39^e Congrès national d'anesthésie et réanimation. SFAR. Paris, Elsevier.
- Hansen, S. M., S. Riahi, S. Hjortshøj, R. Mortensen, L. Køber, P. Søgaard et C. Torp-Pedersen (2017). *Mortality and risk of cardiac complications among immediate survivors of accidental electric shock: a Danish nationwide cohort study*. *BMJ open* **7**(8): e015967.
- Hendler, N. (2005). *Overlooked diagnoses in chronic pain: analysis of survivors of electric shock and lightning strike*. *J Occup Environ Med* **47**(8): 796-805.
- Horch, R. E., G. B. Stark et J. P. Beier (2005). *Unusual explosive growth of a squamous cell carcinoma of the scalp after electrical burn injury and subsequent coverage by sequential free flap vascular connection – a case report*. *BMC Cancer* **5**: 150.
- Hunt, J., R. Sato et C. Baxter (1980). *Acute electric burns*. *Archives of Surgery* **115**: 434-438.
- INRS (2021). Dossier Risque électrique.
- INSERM (2016). Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès. Interrogation des données (1979 - 2013).
- Institut de veille sanitaire (InVs) (2004). Enquête Permanente sur les Accidents de la vie Courante - EPAC - Electrocutation 1999-2001. Saint Maurice, Institut de veille sanitaire (InVs).
- Isao, T., F. Masaki, N. Riko et H. Seiichi (2005). *Delayed brain atrophy after electrical injury*. *J Burn Care Rehabil* **26**(5): 456-458.
- Jex-Blake, A. J. (1913). *The Goulstonian lectures on death electric currents and by lightning*. *British Medical Journal* **1**(2723): 492-498.
- Karamanli, H. et R. Akgedik (2017). *Lung damage due to low-voltage electrical injury*. *Acta Clin Belg* **72**(5): 349-351.
- Kelley, K. M., T. A. Tkachenko, N. H. Pliskin, J. W. Fink et R. C. Lee (1999). *Life after electrical injury. Risk factors for psychiatric sequelae*. *Ann N Y Acad Sci* **888**: 356-363.

- Krasemann, T., S. Hoovey, J. Uekoetter, H. Bosse, G. Kurlemann et O. M. Debus (2001). *Early infantile epileptic encephalopathy (Ohtahara syndrome) after maternal electric injury during pregnancy: etiological considerations*. *Brain Dev* **23**(5): 359-362.
- Criscione, J. et M. Kroll (2014). *Incapacitation recovery times from a conductive electrical weapon exposure*. *Forensic Science, Medicine and Pathology* **10**(2): 203-207.
- Ferdik, F., R. Kaminski, M. Cooney et Y. E. Sevig (2014). *The Influence of Agency Policies on Conducted Energy Device Use and Police Use of Lethal Force*. *Police Quarterly* **17**(4): 328-358.
- Ho, J., D. Dawes, J. Miner, S. Kunz, R. Nelson et J. Sweeney (2012). *Conducted electrical weapon incapacitation during a goal-directed task as a function of probe spread*. *Forensic Science, Medicine and Pathology* **8**: 358-366.
- INSERM (2016). Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès. Interrogation des données (1979 - 2013).
- Kroll, M., J. Adamec, C. Wetli et H. Williams (2016). *Fatal traumatic brain injury with electrical weapon falls*. *Forensic Science, Medicine and Pathology* **43**(12-9).
- Kroll, M., M. Ritter, E. Kennedy, N. Silverman, R. R. Shinde, M. Brave et H. Williams (2018). *Eye injuries from electrical weapon probes: Incidents, prevalence, and legal implications*. *Forensic Science, Medicine and Pathology* **55**: 52-57.
- Kroll, M. W., M. Ritter et H. Williams (2017). *Fatal and Non-fatal Burn Injuries with Electrical Weapons and Explosive Fumes*. *Forensic Science, Medicine and Pathology* **50**(6-11).
- Lasbeur, L. et B. Thélot (2017). *Mortalité par accident de la vie courante en France métropolitaine, 2000-2012*. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire (BEH)* **1**: 2-12.
- Ung, A., E. Hatignoux et N. Beltzer (2021). *Analyse de la mortalité par accident de la vie courante en France, 2012-2016*. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire (BEH)*(290-301).
- Le Loch, H. et J. Cabanes (1975). *Étude des accidents électriques observés à EDF pendant une période de cinq années*. *Archives des maladies professionnelles* **36**(10-11): 608-615.
- Lee, R. et M. Kolodney (1987). *Electrical injury mechanisms: dynamics of the thermal response*. *Plastic and Reconstructive Surgery* **80**(5): 663-671.
- Lee, R. C., M. Capelli-Schellpfeffer et K. M. Kelley (1994). *Electrical injury: a multidisciplinary approach to therapy, prevention, and rehabilitation*. *Annals of the New York Academy of Sciences* **720**: 299.

- Lee, R. C., E. G. Cravalho et J. F. Burke (1992). *Electrical trauma: the pathophysiology, manifestations and clinical management*, Cambridge University Press.
- Lee, R. C. et F. Despa (2005). *Distinguishing electroporation from thermal injuries in electrical shock by MR imaging*. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc **6**: 6544-6546.
- Lee, R. C., D. Zhang et J. Hanning (2000). *Biophysical Injury Mechanisms in Electrical Shock Trauma*. Annual Review of Biomedical Engineering **2**: 477-509.
- Lee, W. K., S. M. Barnett, T. Stead, P. R. Banerjee et L. Ganti (2021). *Flash Burn of the Eyes Caused by High-Voltage Electrical Spark*. Cureus **13**(1): e12662.
- Luz, D. P., L. S. Millan, M. S. Alessi, W. F. Uguetto, A. Paggiaro, D. S. Gomez et M. C. Ferreira (2009). *Electrical burns: a retrospective analysis across a 5-year period*. Burns **35**(7): 1015-1019.
- Mancusi-Ungaro, H. R., Jr., A. R. Tarbox et D. J. Wainwright (1986). *Posttraumatic stress disorder in electric burn patients*. J Burn Care Rehabil **7**(6): 521-525.
- Marechal, M., M. Delbarre, M. Berguiga, D. Benisty et F. Froussart-Maille (2019). *Dyschromatopsies héréditaires : physiologie, classification, diagnostic et application à l'aéronautique*. Journal Français d'Ophtalmologie **42** (2): 177-188.
- Martin, T. A., N. F. Salvatore et B. Johnstone (2003). *Cognitive decline over time following electrical injury*. Brain Inj **17**(9): 817-823.
- Masanés, M. J., E. Gourbière, J. Prudent, N. Lioret, M. Febvre, S. Prevot and B. Lebeau (2000). *A high voltage electrical burn of lung parenchyma*. Burns **26**(7): 659-663.
- Ministère des solidarités et de la santé (2018). Décret n° 2018-1186 du 19 décembre 2018 relatif aux défibrillateurs automatisés externes, Journal Officiel.
- Motte, G. (1975). *[Ventricular fibrillations]*. Rev Prat **25**(43): 3373-3378.
- Navarrete, N. (2018). *Hyperkalemia in electrical burns: A retrospective study in Colombia*. Burns **44**(4): 941-946.
- Orak, M., M. Ustundag, C. Guloglu, S. Gokhan et O. Alyan (2010). *Relation between serum Pro-Brain natriuretic peptide, myoglobin, CK levels and morbidity and mortality in high voltage electrical injuries*. Intern Med **49**(22): 2439-2443.
- Park, C. H., C. H. Seo, M. H. Jung, S. Y. Joo, S. Jang, H. Y. Lee et S. H. Ohn (2017). *Investigation of cognitive circuits using steady-state cerebral blood volume and diffusion tensor imaging in patients with mild cognitive impairment following electrical injury*. Neuroradiology **59**(9): 915-921.
- Perkins, P. (2017). Unintended consequences; the collision of electronic switching products with electronic protection devices. W. Paper. Albany.

- Perrenoud, J., H. Sunthorn et D. Shah (2006). *Arythmies auriculaires : mécanisme, présentation ECG et traitement curatif*. Revue Médicale Suisse **2**: 1536-1542.
- Perrin, A. et M. Souques (2018). *Champs électromagnétiques, environnement et santé*. Les Ulis, EDP Sciences.
- Piotrowski, A., A. Fillet, P. Perez, P. Walkowiak, D. Simon, M.-J. Corniere, P.-A. Cabanes et J. Lambrozo (2014). *Outcome of occupational electrical injuries among French electric company workers: a retrospective report of 311 cases, 1996-2005*. Burns **40**: 480-488.
- Radulovic, N., S. Mason, S. Rehou, M. Godleski et M. G. Jeschk (2019). *Acute and long-term clinical, neuropsychological and return to-work sequelae following electrical injury: a retrospective cohort study*. BMJ Open **9**: e025990.
- Riou, B. et A. Chehida (1997). *Blast*. Médecine thérapeutique **4**(5): 401-406.
- Roberts, G., M. Lloyd, M. Parker, R. Martin, B. Philp, O. Shelley and P. Dziewulski (2012). *The Baux score is dead. Long live the Baux score: a 27-year retrospective cohort study of mortality at a regional burns service*. J Trauma Acute Care Surg **72**(1): 251-256.
- Rosen, C. L., J. N. Adler, J. T. Rabban, R. K. Sethi, L. Arkoff, J. A. Blair et R. Sheridan (1999). *Early predictors of myoglobinuria and acute renal failure following electrical injury*. J Emerg Med **17**(5): 783-789.
- Rutika, S. D. (2020). *Unusual ophthalmic presentation of electrical injury*. University Journal of Surgery and Surgical Specialities **6**(8).
- Sachs, A. et J. Watson (1969). *Four years' experience at a specialised burns centre. The McIndoe Burns Centre 1965-68*. Lancet **1**(7597): 718-721.
- Scholz, T., V. Rippmann, L. Wojtecki, W. Perbix, M. A. Rothschild et G. Spilker (2006). *Severe brain damage by current flow after electrical burn injury*. J Burn Care Res **27**(6): 917-922.
- Sharma, V., K. Stebe, J. C. Murphy et L. Tung (1996). *Poloxamer 188 decreases susceptibility of artificial lipid membranes to electroporation*. Biophys J **71**(6): 3229-3241.
- Shih, J., S. Shahrokhi et M. Jeschke (2017). *Review of adult electrical burn injury outcomes worldwide: an analysis of low-voltage versus high-voltage electrical injury*. Journal of Burn Care & Research **38**(1): e293-e298.
- Sprecher, W., W. Wenz et H. T. Haffner (2001). *Rupture of an intracranial aneurysm – unusual complication of an electric shock*. Forensic Sci Int **122**(2-3): 85-88.
- Stockly, O. R., A. E. Wolfe, L. F. Espinoza, L. C. Simko, K. Kowalske, G. J. Carrougher, N. Gibran, A. M. Bamer, W. Meyer, M. Rosenberg, L. Rosenberg, L. E. Kazis, C. M. Ryan et J. C. Schneider (2020). *The impact of electrical injuries on long-term outcomes: A Burn Model System National Database study*. Burns **46**(2): 352-359.

- Szabo, K. et P. Ver (1984). *Bone marrow aplasia after high voltage electrical injury*. Burns Incl Therm Inj **10**(3): 184-187.
- Toy, J., B. J. Ball et E. E. Tredget (2012). *Carotid Rupture Following Electrical Injury: A Report of Two Cases*. J Burn Care Res. **33**(3): e160-165.
- Weirich, J., K. Haverkamp et H. Antoni (1985). *Fibrillation ventriculaire du coeur provoquée par un contact électrique*. Revue générale de l'électricité **11**(4): 833-843.
- World Organisation. (2010). International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision. <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2010/en>.
- Yang, H. S., H. J. Seo et Y. K. Lee (2011). *Anesthetic care for electroconvulsive therapy during pregnancy – A case report*. Korean J Anesthesiol **60**(3): 217-220.
- Yuan, Z. Q. et Y. Z. Peng (2002). *Electrical injuries caused by graphite fishing rod contact with overhead electric cables*. Annals of Burns and Fire Disasters **XV**(4).



Index

A

Accident de travail · 26, 99, 103, 104
Accidents domestiques · 21, 36, 41
Arc électrique · 20, 27, 49, 61, 103

B

Brûlure électrothermique · 104
Brûlure mixte · 104
Brûlure par arc · 103
Brûlures · 4, 15, 23, 26, 31, 32, 33, 37,
41, 42, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54,
55, 56, 59, 60, 65, 67, 68, 73, 74,
77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86,
88, 89, 95, 96, 101, 102, 103, 104
Brûlures d'origine électrique · 103

C

Choc électrique · 4, 16, 20, 23, 33, 42,
47, 92, 94, 95, 96, 101, 102, 104, 107
Court-circuit · 27, 107

D

Domaines de tension · 34

E

Électrisation · 4, 12, 14, 15, 19, 23,
26, 31, 33, 36, 37, 45, 49, 50, 54,
56, 61, 62, 63, 64, 74, 77, 84, 88,
99, 104
Electrocution · 8

F

Facteurs de gravité · 36, 37
Fibrillation ventriculaire · 14, 17, 31,
37, 38, 39, 40, 41, 44, 45, 47, 48,
56, 94, 101, 104
Foudroiement · 20, 21, 52, 62
Fréquence du courant · 33, 41, 43

I

Intensité du courant · 12, 14, 36, 37
IPP · 68, 88, 89, 104
ITT · 73, 104, 105

L

Lésions · 4, 5, 17, 20, 26, 41, 43, 49,
52, 53, 54, 55, 56, 66, 73, 75, 76, 77

P

Physiopathologie · 14, 31, 37, 94
Pronostic vital · 41, 44, 81, 83, 101

R

Résultats · 37, 67, 73, 87, 101, 102

S

Séquelles · 1, 15, 51, 53, 57, 59, 60,
61, 62, 63, 67, 68, 74, 75, 84, 85,
86, 87, 88, 89, 90, 99, 102, 104
Situation du Groupe EDF en France ·
28

T

Temps de contact · 41, 42
Tension · 4, 8, 13, 14, 16, 17, 23,
26, 28, 29, 32, 33, 34, 36, 39, 40,
41, 42, 43, 48, 54, 55, 56, 60, 64,
70, 71, 78, 80, 81, 83, 91, 99, 103,
107
Trajet · 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 47,
48, 49, 53, 60, 61, 76