



**HAL**  
open science

## Le foudroiement: données actuelles. A propos d'un cas

Sandrine Humbert

► **To cite this version:**

Sandrine Humbert. Le foudroiement: données actuelles. A propos d'un cas. Sciences du Vivant [q-bio]. 2000. hal-01734081

**HAL Id: hal-01734081**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01734081>**

Submitted on 14 Mar 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

139741

*Doule*

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY I  
2000

FACULTÉ DE MÉDECINE  
N° 41



**LE FOUDROIEMENT :**  
**DONNÉES ACTUELLES À PROPOS D'UN CAS**

**THÈSE**

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR EN MÉDECINE**

Présentée et soutenue publiquement  
dans le cadre du troisième cycle de Médecine Générale

par

**HUMBERT SANDRINE**

le 05 avril 2000

Examineurs de la thèse :

Mr le Professeur BOLLAERT  
Mr le Professeur GROSDIDIER  
Mr le Professeur SADOUL  
Mr le Docteur NACE

Président  
Juge  
Juge  
Juge

BIBLIOTHEQUE MEDECINE NANCY 1



D 007 162571 4





**LE FOUROIEMENT :**  
**DONNÉES ACTUELLES À PROPOS D'UN CAS**

**THÈSE**

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR EN MÉDECINE**

Présentée et soutenue publiquement  
dans le cadre du troisième cycle de Médecine Générale

par

**HUMBERT SANDRINE**

le 05 avril 2000

Examineurs de la thèse :

Mr le Professeur BOLLAERT  
Mr le Professeur GROSDIDIER  
Mr le Professeur SADOUL  
Mr le Docteur NACE

Président  
Juge  
Juge  
Juge

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY 1

FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

-----

Président de l'Université : Professeur Claude BURLET

Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Jacques ROLAND

Vice-Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Hervé VESPIGNANI

**Assesseurs**

du 1er Cycle :

du 2ème Cycle :

du 3ème Cycle :

de la Vic Facultaire :

Mme le Docteur Chantal KOHLER

Mme le Professeur Michèle KESSLER

Mr le Professeur Jacques POUREL

Mr le Professeur Philippe HARTEMANN

**DOYENS HONORAIRES**

Professeur Adrien DUPREZ - Professeur Jean-Bernard DUREUX

Professeur Georges GRIGNON - Professeur François STREIFF

**PROFESSEURS HONORAIRES**

Louis PIERQUIN - Etienne LEGAIT - Jean LOCHARD - René HERBEUVAL - Gabriel FAIVRE - Jean-Marie FOLIGUET

Guy RAUBER - Paul SADOUL - Raoul SENAULT - Pierre ARNOULD - Roger BENICHOUX - Marcel RIBON

Jacques LACOSTE - Jean BEUREY - Jean SOMMELET - Pierre HARTEMANN - Emile de LAVERGNE

Augusta TREHEUX - Michel MANCIAUX - Paul GUILLEMIN - Pierre PAYSANT

Jean-Claude BURDIN - Claude CHARDOT - Jean-Bernard DUREUX - Jean DUHEILLE - Jean-Pierre GRILLIAT

Pierre LAMY - François STREIFF - Jean-Marie GILGENKRANTZ - Simone GILGENKRANTZ

Pierre ALEXANDRE - Robert FRISCH - Jean GROSDIDIER - Michel PIERSON - Jacques ROBERT

Gérard DEBRY - Georges GRIGNON - Pierre TRIDON - Michel WAYOFF - François CHERRIER - Oliéro GUERCI

Gilbert PERCEBOIS - Claude PERRIN - Jean PREVOT - Pierre BERNADAC - Jean FLOQUET

Alain GAUCHER - Michel LAXENAIRE - Michel BOULANGE - Michel DUC - Claude HURIET - Pierre LANDES

Alain LARCAN - Gérard VAILLANT - Max WEBER

=====

**PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS -  
PRATICIENS HOSPITALIERS**

(Disciplines du Conseil National des Universités)

-----

**42ème Section : SCIENCES MORPHOLOGIQUES**

1ère sous-section : (*Anatomie*)

Professeur Michel RENARD - Professeur Jacques ROLAND - Professeur Gilles GROSDIDIER

Professeur Pierre LASCOMBES - Professeur Marc BRAUN

2ème sous-section : (*Histologie, Embryologie, Cytogénétique*)

Professeur Hubert GERARD - Professeur Bernard FOLIGUET - Professeur Bruno LEHEUP

3ème sous-section : (*Anatomie et cytologie pathologiques*)

Professeur Adrien DUPREZ - Professeur François PLENAT

Professeur Jean-Michel VIGNAUD - Professeur Eric LABOUYRIE

-----

**43ème Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE**

1ère sous-section : (*Biophysique et traitement de l'image*)

Professeur Alain BERTRAND - Professeur Gilles KARCHER - Professeur Pierre-Yves MARIE

2ème sous-section : (*Radiologie et imagerie médicale*)

Professeur Jean-Claude HOFFEL - Professeur Luc PICARD - Professeur Denis REGENT

Professeur Michel CLAUDON - Professeur Serge BRACARD - Professeur Alain BLUM

-----

**44ème Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION**

**1ère sous-section : (*Biochimie et Biologie Moléculaire*)**

Professeur Pierre NABET - Professeur Jean-Pierre NICOLAS - Professeur Francine NABET

Professeur Jean-Louis GUEANT

**2ème sous-section : (*Physiologie*)**

Professeur Jean-Pierre CRANCE - Professeur Jean-Pierre MALLIE

Professeur Hubert UFFHOLTZ - Professeur François MARCHAL - Professeur Philippe HAOUZI

**3ème sous-section : (*Biologie cellulaire*)**

Professeur Claude BURLET

**4ème sous-section : (*Nutrition*)**

Professeur Olivier ZIEGLER

-----

**45ème Section : MICROBIOLOGIE ET MALADIES TRANSMISSIBLES**

**1ère sous-section : (*Bactériologie, Virologie-Hygiène*)**

Professeur Alain LE FAOU

**2ème sous-section : (*Parasitologie et mycologie*)**

Professeur Bernard FORTIER

**3ème sous-section : (*Maladies infectieuses - maladies tropicales*)**

Professeur Philippe CANTON - Professeur Alain GERARD - Professeur Thierry MAY

-----

**46ème Section : SANTÉ PUBLIQUE**

**1ère sous-section : (*Epidémiologie, économie de la santé et prévention*)**

Professeur Jean-Pierre DESCHAMPS - Professeur Philippe HARTEMANN

Professeur Serge BRIANÇON - Professeur Francis GUILLEMIN

**2ème sous-section : (*Médecine du travail et des risques professionnels*)**

Professeur Guy PETIET

**3ème sous-section : (*Médecine légale*)**

Professeur Henry COUDANE

**4ème sous-section (*Biostatistiques et informatique médicale*)**

Professeur Bernard LEGRAS - Professeur François KOHLER

-----

**47ème Section : HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE, TRANSFUSION, CANCÉROLOGIE ET GÉNÉTIQUE**

**1ère sous-section : (*Hématologie*)**

Professeur Christian JANOT - Professeur Thomas LECOMPTE - Professeur Pierre BORDIGONI -

Professeur Pierre LEDERLIN

**(*Génie biologique et médical*)**

Professeur J.François STOLTZ

**2ème sous-section : (*Cancérologie*)**

Professeur François GUILLEMIN - Professeur Thierry CONROY

**(*Radiothérapie*)**

Professeur Pierre BEY

**3ème sous-section : (*Immunologie*)**

Professeur Gilbert FAURE - Professeur Marie-Christine BENE

**4ème sous-section : (*génétiq*)**

Professeur Philippe JONVEAUX

-----

**48ème Section : ANESTHÉSIOLOGIE, PHARMACOLOGIE, RÉANIMATION ET THÉRAPEUTIQUE**

**1ère sous-section : (*Anesthésiologie et réanimation chirurgicale*)**

Professeur Marie-Claire LAXENAIRE - Professeur Claude MEISTELMAN - Professeur Dan LONGROIS

**2ème sous-section : (*Réanimation médicale*)**

Professeur Alain LARCAN - Professeur Henri LAMBERT - Professeur Nicolas DELORME

Professeur Pierre-Edouard BOLLAERT

**3ème sous-section : (*Pharmacologie fondamentale, Pharmacologie clinique*)**

Professeur René-Jean ROYER - Professeur Patrick NETTER - Professeur Pierre GILLET

**4ème sous-section : (*Thérapeutique*)**

Professeur François PAILLE - Professeur Gérard GAY - Professeur Faiez ZANNAD

-----

**49ème Section : PATHOLOGIE NERVEUSE, PATHOLOGIE MENTALE et RÉÉDUCATION**

1ère sous-section : (*Neurologie*)

Professeur Michel WEBER - Professeur Gérard BARROCHE - Professeur Hervé VESPIGNANI

2ème sous-section : (*Neurochirurgie*)

Professeur Henri HEPNER - Professeur Jean-Claude MARCHAL - Professeur Jean AUQUE

3ème sous-section : (*Psychiatrie d'adultes*)

Professeur Jean-Pierre KAHN

4ème sous-section : (*Pédopsychiatrie*)

Professeur Colette VIDAILHET - Professeur Daniel SIBERTIN-BLANC

5ème sous-section : (*Médecine physique et de réadaptation*)

Professeur Jean-Marie ANDRE

-----

**50ème Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE et CHIRURGIE PLASTIQUE**

1ère sous-section : (*Rhumatologie*)

Professeur Jacques POUREL - Professeur Isabelle VALCKENAERE

2ème sous-section : (*Chirurgie orthopédique et traumatologique*)

Professeur Daniel SCHMITT - Professeur Jean-Pierre DELAGOUTTE - Professeur Daniel MOLE

Professeur Didier MAINARD

3ème sous-section : (*Dermato-vénéréologie*)

Professeur Jean-Luc SCHMUTZ

4ème sous-section : (*Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique*)

Professeur Michel MERLE - Professeur François DAP

-----

**51ème Section : PATHOLOGIE CARDIO-PULMONAIRE et VASCULAIRE**

1ère sous-section : (*Pneumologie*)

Professeur Daniel ANTHOINE - Professeur Jean-Marie POLU - Professeur Yves MARTINET

Professeur Jean-François CHABOT

2ème sous-section : (*Cardiologie et maladies vasculaires*)

Professeur Etienne ALIOT - Professeur Nicolas DANCHIN - Professeur Yves JULLIERE - Professeur Nicolas SADOUL

3ème sous-section : (*Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire*)

Professeur Pierre MATHIEU - Professeur Jacques BORRELLY - Professeur Jean-Pierre VILLEMOT

Professeur Jean-Pierre CARTEAUX

4ème sous-section : (*Chirurgie vasculaire*)

Professeur Gérard FIEVE

-----

**52ème Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF et URINAIRE**

1ère sous-section : (*Hépatologie, gastro-entérologie*)

Professeur Pierre GAUCHER - Professeur Marc-André BIGARD

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI

2ème sous-section : (*Chirurgie digestive*)

3ème sous-section : (*Néphrologie*)

Professeur Michèle KESSLER - Professeur Dominique HESTIN (Mme)

4ème sous-section : (*Urologie*)

Professeur Philippe MANGIN - Professeur Jacques HUBERT

-----

**53ème Section : MÉDECINE INTERNE et CHIRURGIE GÉNÉRALE  
MÉDECINE ET CHIRURGIE EXPÉRIMENTALE**

1ère sous-section : (*Médecine interne*)

Professeur Gilbert THIBAUT - Professeur Francis PENIN

Professeur Denise MONERET-VAUTRIN

Professeur Jean DE KORWIN KROKOWSKI - Professeur Pierre KAMINSKY

2ème sous-section : (*Chirurgie générale*)

Professeur Patrick BOISSEL - Professeur Laurent BRESLER

-----

**54ème Section : PATHOLOGIE DE L'ENFANT, OBSTÉTRIQUE, SYSTÈME ENDOCRINIEN  
REPRODUCTION ET DÉVELOPPEMENT**

1ère sous-section : (*Pédiatrie*)

Professeur Paul VERT - Professeur Danièle SOMMELET - Professeur Michel VIDAILHET - Professeur Pierre MONIN  
Professeur Jean-Michel HASCOET - Professeur Pascal CHASTAGNER

2ème sous-section : (*Chirurgie infantile*)

Professeur Michel SCHMITT - Professeur Gilles DAUTEL

3ème sous-section : (*Gynécologie et obstétrique*)

Professeur Michel SCHWEITZER - Professeur Jean-Louis BOUTROY

Professeur Philippe JUDLIN - Professeur Patricia BARBARINO

4ème sous-section : (*Endocrinologie et maladies métaboliques*)

Professeur Jacques LECLERE - Professeur Pierre DROUIN - Professeur Georges WERYHA

5ème sous-section : (*Biologie du développement et de la reproduction*)

-----

**55ème Section : SPÉCIALITÉS MÉDICO-CHIRURGICALES**

1ère sous-section : (*Oto-rhino-laryngologie*)

Professeur Claude SIMON - Professeur Roger JANKOWSKI

2ème sous-section : (*Ophthalmologie*)

Professeur Antoine RASPILLER - Professeur Jean-Luc GEORGE - Professeur Jean-Paul BERROD

3ème sous-section : (*Stomatologie et chirurgie maxillo-faciale*)

Professeur Michel STRICKER - Professeur Jean-François CHASSAGNE

=====

**PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS**

-----

**27ème section : INFORMATIQUE**

Professeur Jean-Pierre MUSSE

-----

**64ème Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE**

Professeur Daniel BURNEL

=====

**PROFESSEUR ASSOCIÉ**

**Hygiène et santé publique**

Professeur Roland SCHULZE-ROBBECKE

=====

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS**

**42ème Section : SCIENCES MORPHOLOGIQUES**

1ère sous-section : (*Anatomie*)

Docteur Bruno GRIGNON

2ème sous-section : (*Histologie, Embryologie, cytogénétique*)

Docteur Jean-Louis CORDONNIER - Docteur Edouard BARRAT - Docteur Jean-Claude GUEDENET

Docteur Françoise TOUATI - Docteur Chantal KOHLER

3ème sous-section : (*Anatomie et cytologie pathologiques*)

Docteur Yves GRIGNON - Docteur Béatrice MARIE

-----

**43ème Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE**

1ère sous-section : (*Biophysique et traitement de l'image*)

Docteur Marie-Hélène LAURENS - Docteur Jean-Claude MAYER

Docteur Pierre THOUVENOT - Docteur Jean-Marie ESCANYE - Docteur Amar NAOUN

-----

**44ème Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION**

1ère sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Docteur Marie-André GELOT - Docteur Xavier HERBEUVAL - Docteur Jean STRACZEK

Docteur Sophie FREMONT - Docteur Isabelle GASTIN - Dr Bernard NAMOUR

2ème sous-section : (*Physiologie*)

Docteur Gérard ETHEVENOT - Docteur Nicole LEMAU de TALANCE - Christian BEYAERT

-----

**45ème Section : MICROBIOLOGIE ET MALADIES TRANSMISSIBLES**

1ère sous-section : (*Bactériologie, Virologie-Hygiène*)

Docteur Francine MORY - Docteur Michèle WEBER - Docteur Christine LION

Docteur Michèle DAILLOUX

2ème sous-section : (*Parasitologie et mycologie*)

Docteur Marie-France BIAVA - Docteur Nelly CONTET-AUDONNEAU

-----

**46ème Section : SANTÉ PUBLIQUE**

1ère sous-section : (*Epidémiologie, économie de la santé et prévention*)

-

-----

**47ème Section : HÉMATOLOGIE, CANCÉROLOGIE, IMMUNOLOGIE ET GÉNÉTIQUE**

1ère sous-section : (*Hématologie*)

Docteur Jean-Claude HUMBERT - Docteur François SCHOONEMAN

3ème sous-section : (*Immunologie*)

Docteur Marie-Nathalie SARDA

4ème sous-section : (*Génétique*)

-----

**48ème Section : ANESTHÉSIOLOGIE, PHARMACOLOGIE, RÉANIMATION ET THÉRAPEUTIQUE**

1ère sous-section : (*Anesthésiologie et réanimation chirurgicale*)

Docteur Jacqueline HELMER - Docteur Gérard AUDIBERT

3ème sous-section : (*Pharmacologie fondamentale - Pharmacologie clinique*)

Docteur Françoise LAPICQUE - Docteur Marie-José ROYER-MORROT

Docteur Damien LOEUILLE

=====

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES**

-----

**19ème section : SOCIOLOGIE, DÉMOGRAPHIE**

Madame Michèle BAUMANN.

-----

**32ème section : CHIMIE ORGANIQUE, MINÉRALE, INDUSTRIELLE**

Monsieur Jean-Claude RAFT

-----

**40ème section : SCIENCES DU MÉDICAMENT**

Monsieur Jean-Yves JOUZEAU

-----

**60ème section : MÉCANIQUE, GÉNIE MÉCANIQUE ET GÉNIE CIVILE**  
Monsieur Alain DURAND

-----

**64ème section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE**  
Madame Marie-Odile PERRIN - Mademoiselle Marie-Claire LANHERS

-----

**65ème section : BIOLOGIE CELLULAIRE**  
Mademoiselle Françoise DREYFUSS - Monsieur Jean-Louis GELLY - Madame Anne GERARD  
Madame Ketsia HESS - Monsieur Pierre TANKOSIC - Monsieur Hervé MEMBRE

-----

**67ème section : BIOLOGIE DES POPULATIONS ET ÉCOLOGIE**  
Madame Nadine MUSSE

-----

**68ème section : BIOLOGIE DES ORGANISMES**  
Madame Tao XU-JIANG

=====

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS**  
**Médecine Générale**  
Docteur Gilbert ALIN  
Docteur Louis FRANCO

=====

### **PROFESSEURS ÉMÉRITES**

Professeur Georges GRIGNON - Professeur Claude PERRIN  
Professeur Jean PREVOT - Professeur Michel MANCIAUX - Professeur Jean-Pierre GRILLIAT  
Professeur Michel PIERSON – Professeur Alain GAUCHER – Professeur Michel BOULANGE  
Professeur Alain LARCAN - Professeur Michel DUC – Professeur Michel WAYOFF

=====

### **DOCTEURS HONORIS CAUSA**

Professeur Norman SHUMWAY (1972)  
*Université de Stanford, Californie (U.S.A)*  
Professeur Paul MICHIELSEN (1979)  
*Université Catholique, Louvain (Belgique)*  
Professeur Charles A. BERRY (1982)  
*Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)*  
Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)  
*Brown University, Providence (U.S.A)*  
Professeur Mamish Nisbet MUNRO (1982)  
*Massachusetts Institute of Technology (U.S.A)*  
Professeur Mildred T. STAHLMAN (1982)  
*Wanderbilt University, Nashville (U.S.A)*  
Professeur Harry J. BUNCKE (1989)  
*Université de Californie, San Francisco (U.S.A)*  
Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)  
*Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)*  
Professeur Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996)  
*Université de Pennsylvanie (U.S.A)*

Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)  
*Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)*  
Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)  
*Université d'Helsinki (FINLANDE)*  
Professeur James STEICHEN (1997)  
*Université d'Indianapolis (U.S.A)*  
Professeur Duong Quang TRUNG (1997)  
*Centre Universitaire de Formation et de Perfectionnement des  
Professionnels de Santé d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)*

# À NOTRE PRÉSIDENT DE THÈSE,

Monsieur le Professeur **P.E. BOLLAERT**

Professeur de Réanimation Médicale

Vous nous faites l'honneur de présider  
notre jury de thèse.

Soyez assuré de notre reconnaissance  
et de notre profond respect.



## À NOS JUGES,

Monsieur le Professeur **G. GROSDIDIER**  
Professeur d'anatomie

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger notre travail.

Nous vous prions d'accepter le témoignage de notre vive reconnaissance.

Monsieur le Professeur **N. SADOUL**  
Professeur de cardiologie et de maladies vasculaires

Nous vous remercions pour la gentillesse avec laquelle vous avez accepté de juger cette thèse.

Veillez trouver ici l'expression de notre respectueuse gratitude.

Monsieur le Docteur **L. NACE**  
Médecin praticien du service de réanimation médicale

Vous nous avez fait l'honneur de proposer et de diriger ce travail.

Veillez trouver ici l'expression de nos sincères remerciements.

A MA MERE,

A qui je dois ma réussite.

Que ce travail soit l'expression de ma profonde reconnaissance pour tous les sacrifices réalisés.

A MON PERE,

En témoignage de mon affection.

A MA SŒUR CATHERINE,

Pour avoir partagé ces longues années d'études.

A MA SŒUR GERALDINE,

Pour son aide dans la réalisation de ce travail.

A GERARD,

Qui m'a donné le plus grand bonheur de ma vie : notre fille Alexia.

Avec tout mon amour.

A MA FILLE ALEXIA,

Sans aucun doute ma plus belle réussite.

Pour les merveilleux moments qu'elle m'offre chaque jour.

A MA GRAND-MERE,

Pour tout l'amour qu'elle m'a donné.

Qu'elle trouve ici l'expression de toute ma tendresse.

A MON GRAND-PERE,

Pour toute la complicité que nous avons partagée.

A MON BEAU-FRERE.

A MES AMIS.

## SERMENT

"Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque".

# TABLE DES MATIÈRES

# TABLE DES MATIÈRES

<b>I. INTRODUCTION</b> .....	16
I.A Quelques définitions .....	17
I.B Historique de la foudre .....	17
I.C Actualités .....	19
<b>II. ETUDE PHYSIQUE DE LA Foudre</b> .....	21
II.A Les nuages orageux .....	22
1 - Répartition géographique des orages et sévérité orageuse .....	22
2 - Formation et structure des nuages orageux .....	25
3 - Conséquences sur le champ électrique au sol .....	28
4 - Effet de couronne et ionisation .....	29
II.B La décharge atmosphérique .....	30
1 - Classification et description des décharges .....	30
2 - Coups de foudre ascendants .....	32
3 - Coups de foudre descendants .....	33
3a) négatifs .....	33
3b) positifs .....	34
4 - Structure et neutralisation du traceur descendant .....	35
5 - Les paramètres électriques de la décharge .....	36
5a) Coups de foudre négatifs .....	36
5b) Coups de foudre positifs .....	37
II.C Phénomènes associés aux décharges de foudre .....	38
- La lumière et le tonnerre .....	38
<b>III. LES DIFFERENTS TYPES DE Foudroiement</b> .....	41
III.A Le foudroiement direct .....	42
III.B Le foudroiement par éclair latéral .....	44
III.C Le foudroiement par tension de pas .....	45
III.D Le foudroiement par tension de toucher .....	47
III.E La commotion .....	47
III.F Conclusion .....	48
<b>IV. MANIFESTATIONS CLINIQUES DU Foudroiement</b> .....	
IV.A Introduction .....	51
IV.B La mort par foudroiement .....	52
1 - Causes habituelles .....	52
2 - Physiopathologie .....	53
IV.C Lésions cardio-vasculaires .....	56

IV.D La pathologie pulmonaire.....	58
IV.E Les troubles neuropsychiques .....	59
1 - La perte de connaissance.....	59
2 - les troubles psychiques.....	60
3 - Lésions neurologiques : des kéraunoparalysies aux lésions plus graves.....	61
* Lésions périphériques.....	61
* Lésions centrales.....	62
IV.F Les brûlures .....	63
IV.G Lésions sensorielles.....	69
1 - Lésions auditives.....	69
2 - Lésions oculaires.....	71
IV.H Autres manifestations cliniques .....	74
1 - Hypothermie .....	74
2 - Lésions chez la femme enceinte.....	74
<b>V. OBSERVATION PERSONNELLE .....</b>	<b>76</b>
V.A Sur les lieux.....	77
V.B Au niveau du service de réanimation médicale.....	78
1 - Clinique .....	78
2 - Examens complémentaires.....	79
3 - Traitement.....	80
4 - Retour à domicile.....	80
V.C Evolution.....	80
<b>VI. TRAITEMENT CURATIF.....</b>	<b>82</b>
VI.A Introduction.....	83
VI.B Traitement d'urgence. ....	83
1 - Logistique.....	83
2 - Les gestes d'urgence réalisés par un témoin secouriste .....	84
3 - L'examen médical sur le terrain et la conduite à tenir par l'équipe médicale de secours.....	86
VI.C Traitement des lésions organiques.....	89
VI.D Surveillance et traitement à long terme.....	95
VI.E Conclusion.....	96

<b>VII. LA PREVENTION</b> .....	97
VII.A Introduction .....	98
VII.B La société météoorage. ....	99
1 - Mode de fonctionnement du réseau de détection. ....	99
2 - Applications et prestations de Météorage .....	100
VII.C En campagne .....	101
VII.D En haute montagne.....	104
1 - Les mesures de prévention .....	104
2 - Les mesures de protection.....	106
VII.E Dans une habitation.....	109
1 - Recommandations.....	109
2 - Les dispositifs de protection.....	110
a - Principes généraux .....	110
b - Dispositifs attirant la foudre. ....	111
c - Dispositifs éloignant la foudre.....	115
3 - La protection secondaire .....	115
a - principe de surtension.....	115
b - composants de protection .....	116
VII.F Dans un véhicule.....	117
1 - La voiture.....	117
2 - Les avions.....	117
3 - Le bateau .....	117
4 - les trains.....	118
5 - Une bicyclette .....	118
VII.G Protection des installations professionnelles .....	118
 <b>VIII. DONNEES EPIDEMIOLOGIQUES-STATISTIQUES</b> ..	120
 <b>IX. CONCLUSION</b> .....	122
 <b>X. BIBLIOGRAPHIE</b> .....	124
 <b>XI. TABLE DES ILLUSTRATIONS</b> .....	131

# INTRODUCTION





# I. INTRODUCTION

## I.A Quelques définitions

- Electrification : elle désigne les différentes manifestations physiologiques et physiopathologiques (non létales) liées au passage du courant électrique à travers le corps humain. Les différentes sources électriques sont naturelles (foudre, poisson électrogène), domestiques et industrielles. (39)

-Electrocution : ce terme est réservé aux électrisations ayant entraîné le décès.

-Foudre : (*lat:fulgur*) Décharge électrique aérienne, accompagnée d'une vive lumière (éclair) et d'une violente détonation (tonnerre). (56)

-Foudroiement : passage du courant de foudre au travers du corps.

-Kéraunopathologie : (*keraunos:foudre*) C'est un terme introduit dans le vocabulaire médical en 1995 par le Dr Chris ANDREWS (47). Il s'agit de la pathologie provoquée par le passage d'un courant de foudre à travers le corps humain (ou animal).

-Fulguration : accident mortel dû à la foudre (56).

## I.B Historique de la foudre. (20)

Depuis les temps les plus reculés de l'humanité, la force mystérieuse de la foudre a frappé les esprits.

Dès la plus haute Antiquité, l'homme a fait appel à des divinités pour expliquer ces phénomènes et pour en conjurer le danger ; la foudre étant associée à la colère des Dieux et à la notion de châtement. On retrouve ces représentations primitives chez tous les peuples et dans toutes les religions de la terre, y compris chez les chrétiens du Moyen Age.

Des phénomènes précurseurs d'un orage, qui intriguaient et effrayaient fort les hommes de cette époque, sont ces petites décharges, ou effluves, dont le siège est la pointe d'objets métalliques, et qui s'accompagnent d'un grésillement caractéristique. Ils sont bien connus des alpinistes, qui savent que la foudre est alors proche et qu'il convient de s'éloigner rapidement des crêtes. Ils se manifestent aussi au sommet des mâts des navires, et les navigateurs des XV et XVIèmes siècles les appelaient "feux de Saint-Elme", du nom de leur saint patron.

C'est au XVIIème siècle que l'homme commence à se dégager des superstitions.

Et ce n'est qu'au XVIIIème siècle que l'on peut dater les débuts de la connaissance scientifique de la foudre. Pour saisir la portée des travaux de cette époque sur la foudre, il faut savoir que la physique faisait alors des progrès prodigieux, et que l'on venait de découvrir l'électricité.

Le mérite de Franklin revient à indiquer les mesures à prendre contre la foudre et ses travaux, dans ce domaine, lui valurent une renommée universelle.

Après la fantastique épopée du XVIIIème siècle, qui libéra l'homme des superstitions, le XIXème siècle n'apporta que peu de nouvelles connaissances sur la physique de la foudre et des orages. Il s'attacha surtout à rassembler des statistiques concernant les victimes de la foudre, et les diverses manifestations par lesquelles la foudre frappe êtres vivants, édifices et objets.

Nous en venons maintenant aux travaux du XXème siècle et le bond en avant dans la connaissance des phénomènes orageux se situe après la

deuxième guerre mondiale, grâce au développement prodigieux des mesures électroniques. Sous la pression des besoins modernes, les recherches sur la foudre et les phénomènes orageux ont pris, depuis une trentaine d'années, une vigueur nouvelle. Les connaissances dont nous disposons aujourd'hui permettent de comprendre la plupart des manifestations de la foudre. Et la France a même pris la première place dans le domaine des paratonnerres modernes, de la foudre déclenchée, de la simulation de la foudre en laboratoire, et de la protection des aéronefs.

Malgré tous ces progrès, un homme a cependant été lynché en Afrique du Sud en 1996 pour avoir "attiré la foudre sur une femme" (25).

### **I.C Actualités. (35)**

La foudre, et tout ce qui s'y rapporte, a bénéficié au cours de ces dernières années, d'un regain d'intérêt. La prise de conscience des effets dévastateurs qu'elle peut occasionner tant sur le plan humain, qu'animal ou des installations électriques est de plus en plus grande.

Aussi s'est organisé, après le succès du premier en 1994, le deuxième Congrès international intitulé "Foudre et Montagne '97" ou encore "la Foudre, les Systèmes et les Hommes en Environnements extrêmes". Il s'est tenu du 1er au 5 juin 1997 à Chamonix, en Haute-Savoie, par la Société des Electriciens et des Electroniciens et le Club Alpin Français, afin de mieux comprendre la Foudre et prévenir ses conséquences. Il a été conçu en deux parties, la première (sessions techniques et médicales) destinée à des spécialistes et la deuxième (entrée libre) était destinée au public.

Dans ce travail, nous allons exposer en premier lieu le phénomène physique de la Foudre afin de mieux comprendre la formation des nuages orageux et de la décharge atmosphérique. Dans un second chapitre seront cités les différents types de foudroiements pour énumérer et détailler dans le chapitre III les manifestations cliniques du foudroiement. Nous relaterons ensuite le coup de foudre subi par ce jeune adolescent, à l'origine de cette thèse, pour terminer dans les deux derniers chapitres par la conduite à tenir devant un foudroyé et quelques notions de prévention afin de mieux se protéger de la foudre.

**ÉTUDE PHYSIQUE  
DE LA FOUDRE**

## II. ETUDE PHYSIQUE DE LA Foudre

### II.A Les nuages orageux

#### 1 - Répartition géographique des orages et sévérité orageuse (20,21,51)

Il est d'usage universel de caractériser la sévérité orageuse d'une région par son niveau kéraunique. Celui-ci est, par définition, le nombre de jours par an où le tonnerre a été entendu.

En France, le niveau kéraunique moyen est de l'ordre de vingt. Il est supérieur à trente dans les régions montagneuses des Alpes, du Massif Central, des Pyrénées, et inférieur à quinze dans les régions côtières de la Normandie et de la Bretagne. Ce nombre peut dépasser 180 dans certaines régions d'Afrique du sud ou en Indonésie.

A Electricité de France, il est établi une carte des niveaux kérauniques suivant une présentation en secteurs centrés sur les stations d'observation (cf. fig. 1), qui paraît tout à fait adaptée au calcul du risque du foudroiement.



Fig. 1 : Carte des niveaux kérauniques

Le niveau kéraunique fluctue d'une année à l'autre, mais les spécialistes s'accordent à dire que la moyenne des observations, étendue sur des périodes de cinq ans, est assez bien reproductible. On constate en effet, une périodicité de 4 à 5 ans, avec des pointes d'activité orageuse marquées (cf. fig.2). Il n'est pas impossible que ces fluctuations aient un rapport avec les variations de l'activité solaire.

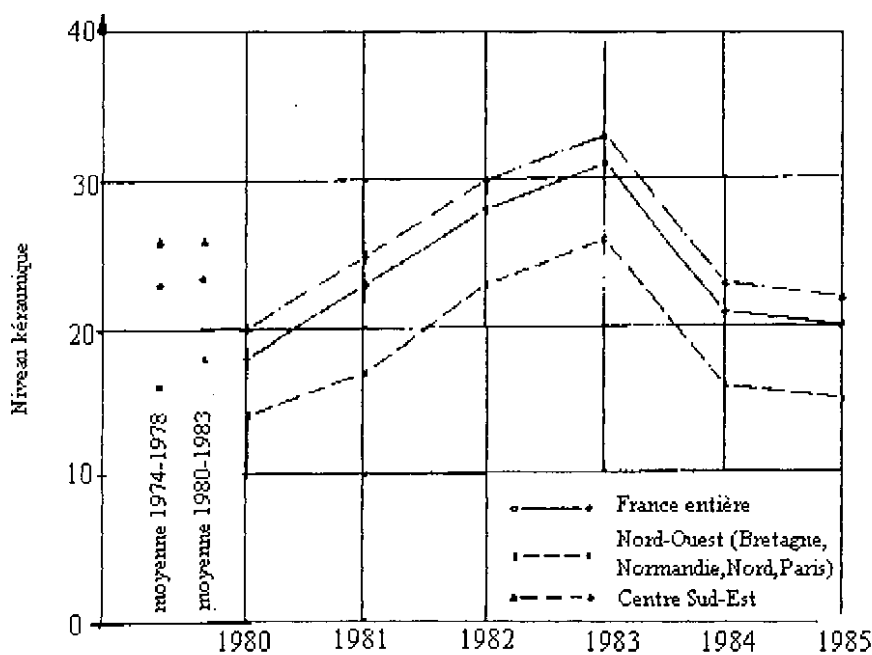


Fig. 2 : Fluctuation du niveau kéraunique en France

Falls L.W et coll. ont constaté, après une étude de l'activité orageuse, que celle-ci est plus importante les après-midi des mois d'été. Elle est plus régulière les autres mois de l'année.

Mais la notion de niveaux kérauniques ne donne aucune indication, ni sur la fréquence des foudroiements, ni sur l'existence de zones locales particulièrement foudroyées. Une définition bien plus rigoureuse de l'activité orageuse peut être atteinte par la sévérité du foudroiement, par exemple par la

densité de coups de foudre au sol, exprimée en nombre de coups par km<sup>2</sup> et par an.

A partir des résultats fournis principalement par des observations photographiques et par des enregistrements à l'aide de compteurs de foudre spéciaux, plusieurs formules reliant la densité  $N_s$  des coups au sol par km<sup>2</sup> et par an, au niveau kéraunique  $N_i$  ont été proposées.

Au niveau EDF, la relation  $N_s = N_i / 10$  donne satisfaction pour les conditions orageuses existant en France. Ainsi, la densité en France se situerait entre 1 et 3 coups par km<sup>2</sup> et par an.

Cependant, même la densité de coups par km<sup>2</sup> et par an n'est pas toujours une mesure suffisamment fine de la sévérité locale. Les « on-dit » locaux rapportent souvent l'existence de zones très restreintes, toujours à nouveau foudroyées, que l'on appelle communément des « nids à orages ».

On peut les expliquer par trois facteurs possibles :

Facteur topologique : Des zones préférentielles existent du simple fait de conditions privilégiées de formation des nuages orageux, sous l'effet combiné de l'humidité du sol et d'un réchauffement local. Par ailleurs, des mouvements d'air, canalisés par des vallées et des fleuves, entraînent les nuages orageux et favorisent l'existence de couloirs orageux. Ainsi, en montagne, les versants des vallées sont quelquefois plus foudroyés que les sommets.

Facteur géologique : On peut se demander s'il existe des particularités locales qui auraient un pouvoir attractif sur la foudre. On a parlé de failles, de nappes



d'eau. En fait, le point d'impact exact d'un coup de foudre ne semble se déterminer que dans la partie la plus inférieure de sa trajectoire ; la partie supérieure se développe depuis le nuage de façon totalement indépendante de la structure géométrique ou de la nature géologique du sol. Ce ne sont donc que des facteurs tout à fait locaux qui peuvent avoir une action sur la décision de l'impact. La présence de saillies, arbres, bâtiments, tours, est l'un de ces facteurs bien connus.

Mais la conductivité des sols pourrait être un autre facteur important. Des résultats permettraient d'attribuer aux failles humides, aux nappes d'eau, à des terrains marécageux, une certaine attirance préférentielle pour la foudre ; leur zone d'action ne saurait toutefois excéder la centaine de mètres au-delà de leur contour.

Concentration ionique de l'air : La concentration ionique de l'air (ou sa conductivité, celle-ci étant la conséquence de celle-là) a parfois été invoquée pour expliquer un nid d'orage. Mais il n'existe actuellement aucune étude étayant cette hypothèse.

Selon R.H Golde (23) les nids à orages n'ont aucune réalité objective, et l'affirmation de leur existence serait le résultat de fausses conclusions et d'une application erronée des lois statiques. Les coups au sol sont répartis de façon totalement aléatoire.

## 2 - Formation et structure des nuages orageux (fig.3) (19,20,21,28)

Les nuages orageux sont d'énormes masses, généralement du type cumulo-nimbus, en forme d'enclume, occupant une surface de plusieurs

dizaines de km<sup>2</sup>, ayant une épaisseur de plusieurs kilomètres, et dont le sommet atteint 15 000 mètres. Leur masse est de l'ordre de centaines de milliers de tonnes d'eau. Ils sont constitués de gouttes d'eau à leur partie inférieure, de particules de glace à leur partie supérieure. Leur formation est due à l'apparition de courants atmosphériques ascendants.

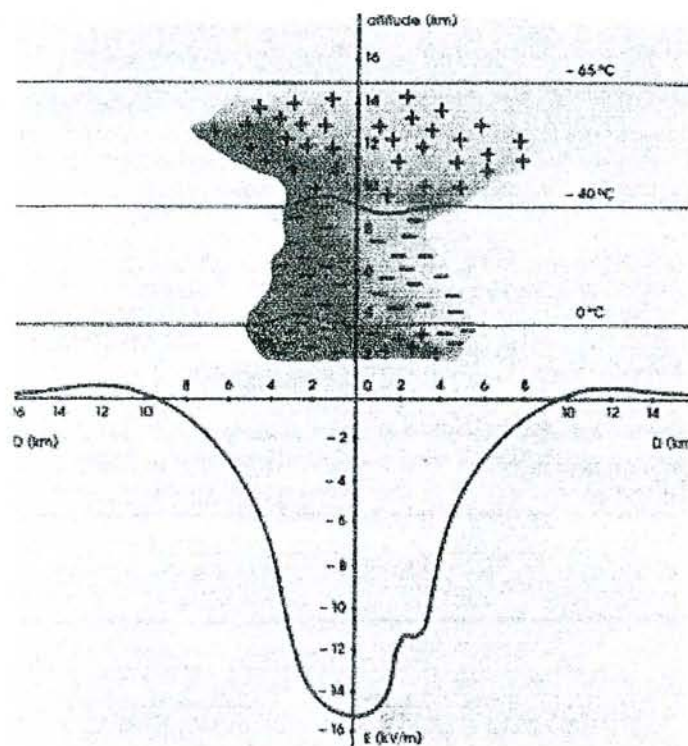


Fig.3 : Distribution des charges électriques dans la masse d'un nuage orageux et répartition du champ électrique au sol au moment où va éclater la foudre.

Les orages de convection ou orages isolés, naissent de l'effet combiné de l'humidité et du réchauffement local du sol. Il se forme alors une "bulle" d'air chaud et humide, qui s'élève, pratiquement isolée thermiquement de l'air environnant. Cette bulle formera un nuage orageux aux altitudes où la condensation commencera. C'est l'orage de chaleur, souvent localisé, dont la durée n'excède pas une heure trente environ.

En revanche, les orages frontaux (orages dits cycloniques, qui se produisent surtout dans les régions tempérées) naissent de la rencontre de masses d'air importantes, de température et d'humidité différentes. Cette rencontre produit également des courants ascendants accompagnés de condensation. Les fronts orageux ainsi formés peuvent durer plusieurs jours et se propager sur des milliers de kilomètres.

Parallèlement à ces phénomènes thermodynamiques, il se produit une séparation des charges électriques au sein du nuage.

Une fois les charges séparées, leur transfert ne peut avoir lieu que parce que leurs porteurs sont de nature différente. Ceux qui portent les charges positives sont assez légers pour être entraînés par les courants ascendants, ceux qui portent les charges négatives sont assez lourds pour tomber malgré ces courants.

Quoiqu'il en soit, le résultat net de ces processus de séparation, est que la partie supérieure des nuages orageux, constituée de cristaux de glace, est chargée positivement, tandis que la base est chargée négativement. Souvent un îlot de charges positives est inséré dans la masse négative (ces îlots donnent naissance à une pluie intense). On peut admettre que les charges, tant négatives que positives, sont comprises entre quelques dizaines et le millier de coulombs, distribuées dans un volume évalué à environ 50 km<sup>3</sup>.

Donc, si l'on considère le nuage orageux globalement, il constitue un gigantesque « dipôle électrique de structure verticale et d'une hauteur variant de 2 à 14 km ».

### 3 - Conséquences sur le champ électrique au sol (19,21)

Lorsque le nuage est mûr pour éclater en orage, il constitue un vaste dipôle, créant des champs électriques entre les différentes couches intérieures, de même qu'entre sa base et la surface de la terre.

Notons qu'il existe en permanence dans l'atmosphère un champ électrique faible qui, mesuré sur un terrain plat et par beau temps, est de l'ordre de 100 à 150 volts/m, et qui est dû à des charges positives situées à des altitudes de l'ordre de 50 km. On pense que les orages jouent un rôle important dans la genèse de ces charges.

Au moment de la formation ou de l'approche d'un nuage orageux, sous l'influence des charges négatives qui sont disposées à sa base, et dont l'effet devient prépondérant, le champ électrique au sol, auparavant légèrement positif, commence à s'inverser, puis croît dans de fortes proportions. Lorsque son intensité atteint -10 à -15 kV /m, on peut dire qu'une décharge au sol est imminente (cf. fig.3).

Le signe qui affecte la valeur du champ résulte de la convention de sens choisie : le champ est négatif lorsque les charges électriques atmosphériques sont négatives.

Par convention, le champ est positif s'il est orienté de l'atmosphère vers le sol.

A noter que l'analyse de l'évolution du champ électrique au sol est utilisée pour étudier la formation du nuage orageux et pour déclencher artificiellement la foudre.

#### 4 - Effet de couronne et ionisation. (19,21)

Les reliefs, les proéminences modifient fortement les valeurs du champ électrique. En effet, les lois de l'électrostatique enseignent que toute aspérité, par un effet de concentration des lignes de force, peut considérablement renforcer le champ à sa surface, notamment à son sommet : c'est l'effet de pointe.

On sait que lorsqu'un champ électrique de l'ordre de 30 kv/cm est appliqué à l'air atmosphérique à pression normale, il se produit une ionisation et un processus d'avalanches électroniques.

Supposons par exemple que le champ ambiant soit de l'ordre de 4 kv/m, et que le coefficient amplificateur du champ au niveau d'une aspérité soit de 1000 ; le champ au sommet d'une telle aspérité atteint alors 40 kv/cm, largement suffisant pour déclencher les avalanches électroniques, que l'on appelle aussi effet de couronne.

Cet effet se manifeste visuellement sous forme d'effluves, sorte de filaments bleu violet, et auditivement sous forme de crépitements (bourdonnements d'oreille). Leur longueur peut varier de quelques cm à quelques dizaines de cm, selon la taille de l'aspérité. Voilà ce que sont les feux de Saint-Elme, baptisés du nom du patron des navigateurs, qui apparaissaient à l'extrémité des mâts des navires, et qui intriguaient tant les anciens navigateurs. Ce phénomène est aussi connu des alpinistes, qui savent que son apparition signifie danger immédiat, d'où le repli rapide pour abandonner le sommet à la foudre.

Un autre effet du champ électrique est de créer des forces électrostatiques à la surface des corps, orientées vers l'extérieur de ce corps : on appelle ce phénomène « Pression électrostatique ». Lorsque ces forces

s'exercent sur les cheveux d'une personne, ceux-ci se dressent, tout en se repoussant mutuellement, formant un véritable hérisson au-dessus de la tête.

En plaine, les manifestations sont évidemment beaucoup moins spectaculaires qu'en montagne. Il n'en reste pas moins que toutes les aspérités que l'on trouve à la surface du sol, telles que pointes de paratonnerre, clôtures métalliques, mâts, mais aussi arbres, végétations de toute sorte, y compris les brins d'herbe, présentent un coefficient amplificateur du champ électrique suffisant pour produire l'effet de couronne. Celui-ci engendre des ions (positifs dans le cas général du nuage chargé négativement à sa base), ions qui dérivent lentement vers le nuage, sous l'influence du champ électrique ambiant. Cette dérive d'ions constitue un courant électrique ascendant dont la tendance est de décharger le nuage mais, en fait, à une échelle insuffisante pour avoir une action pratique.

Les ions engendrés par l'effet de couronne à la surface de la terre forment, en s'élevant, comme une sorte de matelas de charges positives dont l'épaisseur atteindrait à peu près 500 m, masquant partiellement l'influence des charges du nuage. On dit qu'ils forment un écran, et il s'ensuit que le champ augmente au fur et à mesure que l'on s'élève au-dessus du sol.

## **II.B La décharge atmosphérique. (20,21)**

### **1 - Classification et description des décharges.**

Les éclairs intra- et inter-nuages sont nettement plus nombreux que les coups de foudre : dans nos régions tempérées, il y a à peu près 3 éclairs pour un coup à la terre, et cette proportion dépasse 6 pour les orages tropicaux. Les éclairs sont généralement des décharges de grande longueur (jusqu'à plus de

20 km), qui se développent aussi bien verticalement qu'horizontalement. Les courants électriques qu'ils écoulent sont beaucoup plus faibles que ceux qui sont associés à la foudre, et ils ne produisent presque pas de tonnerre.

Néanmoins, les éclairs frappent autant les avions que la foudre, même si les incidents dus au foudroiement d'un avion sont aujourd'hui rares. Mais si les pilotes évitent de traverser les nuages orageux et cherchent autant que possible à les contourner, c'est aussi grandement parce que les courants d'air risquent de déstabiliser leurs appareils.

La première phase d'un coup de foudre est toujours la formation d'une prédécharge peu lumineuse, appelée traceur (leader), qui progresse à travers l'air neutre avec une vitesse relativement faible. Cette prédécharge a son origine soit dans le nuage, et elle progresse alors en direction du sol, soit au niveau du sol, et progresse vers le nuage. Dans les deux cas, tout se passe comme si le canal ainsi formé, quoique faiblement ionisé, formait entre le sol et le nuage un pont suffisamment conducteur pour préparer la voie à un courant intense, qui sera le coup de foudre proprement dit (arc en retour).

On classe tout d'abord les coups de foudre selon le sens de développement du traceur, en coups de foudre descendants, et en coups de foudre ascendants.

En pays plat, le coup de foudre descendant est de loin le plus fréquent. Pour qu'un coup ascendant puisse se développer, la présence d'une proéminence importante est nécessaire.

En second lieu, on classe les coups de foudre selon le sens d'écoulement du courant principal. Conventionnellement, on définira le coup négatif lorsque la partie négative d'un nuage se décharge, et le coup positif

lorsque c'est la partie positive du nuage (îlot positif situé à sa base, et quelquefois à sa partie supérieure) qui se décharge. Dans nos climats tempérés, les coups positifs représentent environ 10% des foudroiements.

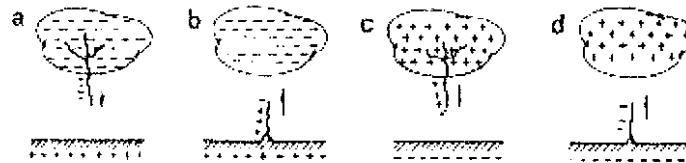


Fig.4 : Classification de coups de foudre selon K. Berger

- a- coup négatif descendant
- b- coup négatif ascendant
- c- coup positif descendant
- d- coup positif ascendant

## 2 - Coups de foudre ascendants.

Dans un champ négatif, les effluves d'effet couronne qui apparaissent au sommet des aspérités du sol sont des effluves de type positif, puisque par effet d'induction, le sol porte des charges positives. Ces effluves se développent d'autant plus loin, et avec d'autant plus d'intensité, que les dimensions de l'aspérité sont plus importantes. A partir d'une certaine taille de l'aspérité, entraînant une certaine intensité d'effluve, le phénomène se transforme en une décharge ascendante (ou traceur ascendant), qui se développe suffisamment loin pour atteindre le nuage : c'est le coup de foudre ascendant. Au cours de sa progression, le traceur se ramifie plusieurs fois, et on assiste à la formation d'arborescences, avec des ramifications orientées vers le haut. Ces ramifications s'illuminent violemment à tour de rôle. La durée de la décharge subséquente peut atteindre une seconde, écoulant des intensités de courant de quelques dizaines de kA, en des temps de montée inférieurs à la microseconde.



Ces coups sont fréquemment observés à partir de tours élevées, comme la Tour Eiffel, et les tours de télévision modernes, dont la hauteur dépasse 300 mètres, et à partir de gratte-ciel. Il va sans dire que les reliefs du sol, notamment des montagnes isolées, favorisent la formation de coups ascendants, surtout lorsqu'en plus une tour ou un pylône sont placés à leur sommet.

### 3 - Coups de foudre descendants

#### 3a) négatifs

Le traceur, ici négatif, prend naissance dans le sein des masses négatives du nuage. Ce traceur progresse ensuite en direction du sol, par bonds successifs de quelques dizaines de mètres, séparés par des intervalles de temps variant entre 40 et 100 msec (les traceurs positifs, eux, progressent de façon quasi continue). Au fur et à mesure de la progression de ces derniers, on assiste à de nombreuses ramifications orientées vers le bas, tandis que leur luminosité s'accroît.

Dès que la pointe d'un traceur s'approche du sol, le champ électrique alors élevé, favorise la formation des effluves (d'effet couronne) qui se transforment brusquement en traceurs ascendants, issus généralement d'une saillie (arbre, édifice, tour...) dans la direction du traceur descendant.

Lorsque l'un des traceurs ascendants et le traceur par bonds se rejoignent, il s'établit un court-circuit entre le nuage et le sol, qui va permettre le passage d'un courant à forte intensité (1<sup>ère</sup> décharge). Ce courant est en fait constitué par les charges superficielles du sol, induites par les charges du

nuage, et qui, en remontant le canal ionisé formé par les traceurs, neutralisent les charges de ces derniers. On observe à ce moment un trait fortement lumineux qui progresse depuis le sol jusqu'au nuage : c'est l'arc en retour (return stroke). (cf. fig.5)

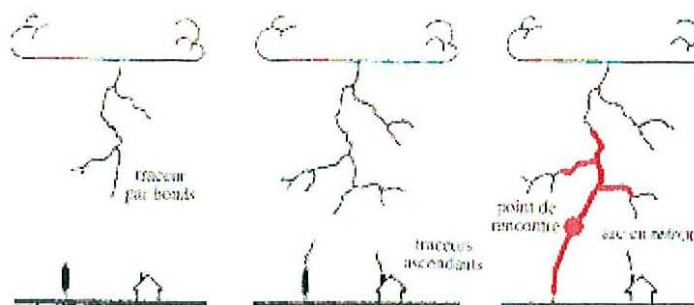


Fig.5 : phases de l'évolution d'un coup de foudre négatif  
 -descente du traceur  
 -initiation des traceurs ascendants  
 -rencontre entre les traceurs et courant d'arc en retour

Plusieurs décharges peuvent ensuite se développer dans le canal fortement ionisé, donc conducteur, formé par le premier arc en retour. On les désigne par coups (ou décharges) subséquents. En général, un coup de foudre complet dure de 0,2 à 2 sec, et comporte en moyenne quatre arcs en retour. Alors que la première décharge est précédée du traceur par bonds, les décharges subséquentes sont précédées d'un traceur continu, beaucoup plus rapide, et appelé trait pilote (dart leader). Enfin, dans l'intervalle entre les décharges, qui sont des impulsions de courant de forte intensité, un faible courant de quelques centaines d'ampères, continue à s'écouler par le canal ionisé : c'est le courant persistant, qui écoule une partie non négligeable de la charge totale d'un coup de foudre.

### 3b) positifs.

Tout comme les coups négatifs, ces coups commencent toujours par un traceur descendant. Dans le cas de traceur positif, le processus de bonds

n'existe pas systématiquement, et la progression se fait généralement de façon continue.

Une fois le traceur arrivé près du sol, l'arc en retour porteur d'un courant intense existe aussi. (fig.5)

#### 4 - Structure et neutralisation du traceur descendant.

Le traceur se bâtit à partir des avalanches électroniques qui se développent à sa tête. Dans les grandes décharges telles que la foudre, ces avalanches prennent l'aspect de filaments qui se projettent sur plusieurs mètres de long, à la manière d'une gerbe de feu d'artifice. Au fur et à mesure de la progression du traceur, les avalanches « mortes » qui restent en arrière contiennent des ions, négatifs ou positifs, selon le type du traceur considéré. Il s'ensuit qu'au total, un traceur est constitué :

- d'un noyau central relativement lumineux et conducteur, de 2 ou 3 cm de diamètre, électriquement presque neutre ;
- d'une gaine d'ions entourant ce noyau, qui est au contraire, peu conductrice, mais qui porte la quasi-totalité de la charge électrique du traceur; le diamètre de cette gaine atteint un ordre de grandeur de la dizaine de mètres.

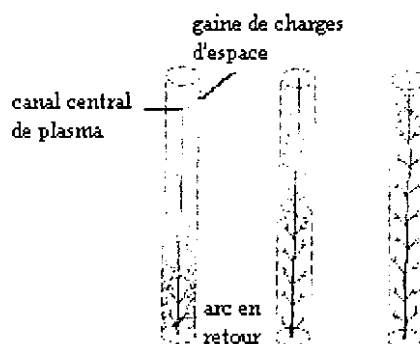


Fig.6 : structure du traceur descendant

Au moment où le courant d'arc en retour s'engouffre dans le traceur, il profite de la conductivité du noyau central pour remonter vers le nuage ; en même temps, il apporte les charges de sens contraire qui vont envahir la gaine et neutraliser les charges qui la constituent. (fig.6).

## 5 - Les paramètres électriques de la décharge.

Différentes grandeurs électriques caractérisent la foudre. Les plus importantes sont l'amplitude (la valeur de crête) et l'évolution temporelle (nous dirons plus simplement la «forme») des courants de foudre.

### 5a) Coups de foudre négatifs.

Les courants de ces coups négatifs sont de forte amplitude et de nature impulsionnelle. Un coup de foudre négatif complet peut présenter plusieurs impulsions successives, que l'on désigne par premier coup et coups subséquents.

Le premier coup se caractérise par des temps de montée jusqu'à la crête de quelques microsecondes (entre 2 et 20), et par des temps de décroissance de 100 à 200 microsecondes. Les amplitudes s'étendent sur une très grande plage d'intensité (depuis 3 000 ampères jusqu'à 200 000 ampères).

Les coups subséquents ont quant à eux des temps de montée généralement inférieurs à la microseconde, et des temps de décroissance analogues à ceux du premier coup ; mais leur forme est dans l'ensemble plus ou moins régulière et leur amplitude plus faible (dépassant rarement 20 000 ampères).

Notons que les impulsions des coups ascendants sont du même type que les coups subséquents.

#### 5b) Coups de foudre positifs.

Les coups positifs se caractérisent par une seule impulsion, mais qui dure beaucoup plus longtemps (0,1 à 0,2 sec) que les impulsions négatives individuelles. Son front de montée est compris entre 20 et 50 microsecondes. De plus, leurs amplitudes sont globalement supérieures à celles des coups négatifs, et dépassent fréquemment 100 000 ampères (dans 20% des cas), de sorte que ce sont généralement les décharges positives qui causent le plus de dégâts.

Outre l'amplitude et la forme, on définit d'autres paramètres des coups de foudre, dont la connaissance est également très utile pour la mise en œuvre des techniques de protection.

C'est ainsi qu'on définit les grandeurs suivantes :

- $di/dt$  max, vitesse de variation (ou raideur) maximale du courant.
- $\int i^2 dt$ , intégrale d'action : sert au calcul de la section de la conduite par laquelle le courant de foudre devra s'écouler.
- Q, charge totale neutralisée au cours d'une décharge de foudre (permet de déterminer l'effet de fusion au point d'impact (par exemple, connaître la quantité de métal fondu sur un paratonnerre).
- T, durée totale d'une décharge.
- N, nombre de réilluminations au cours d'une décharge.

La quasi-totalité des données relatives aux paramètres électriques a été recueillie au cours des trois dernières décennies, et continue à être collectée, grâce à l'instrumentation de tours de télévision, ou de mâts de grande hauteur spécialement érigés à cette intention. C'est le cas du laboratoire suisse du Mont San Salvatore. Ce mont est un pic conique s'élevant à 640 mètres au-dessus du lac de Lugano, en Suisse, et est relativement isolé des autres montagnes. De plus, il est pourvu d'une tour métallique d'émetteurs, de telle sorte que toutes les conditions d'un foudroiement fréquent sont réunies. La fig. 6.4 est une vue aérienne de ce site unique. A la base de la tour, sur le trajet d'écoulement des courants de foudre, sont installés des capteurs de mesure, principalement des «shunts », et toute une batterie d'oscillographes, qui permettent de mesurer tous les paramètres des courants.

Des stations semblables ont été équipées en Italie, au Monte Orsa près de Varèse, et à Foligno en Ombrie. En Afrique du Sud, un mât métallique de cent mètres de hauteur a été érigé, près de Prétoria. Aux USA, l'Empire State Bulding a également été instrumenté. Plus récemment, d'autres tours de TV dont certaines atteignent des hauteurs de 500 m ont été équipées de moyens de mesure. Citons la tour de Peissenberg près de Munich, et la tour de Toronto au Canada.

## **II.C Phénomènes associés aux décharges de foudre. (21)**

- La lumière et le tonnerre.

Au moment où l'intense courant d'arc en retour s'écoule le long du canal ionisé que constitue le traceur, ce canal est brusquement très fortement

chauffé et se transforme instantanément en un véritable arc électrique. Une violente lumière est alors émise.

Pendant que le courant d'arc en retour s'écoule, des forces électrodynamiques produisent une striction du canal, jusqu'à le rendre très étroit. L'élévation de pression d'origine électrodynamique est évaluée à 2 ou 3 atmosphères. Elle disparaît quand l'éclair s'éteint, si bien que l'on peut dire que le cœur du canal explose, produisant une violente onde de choc acoustique. Le roulement de tonnerre qui accompagne l'éclair est dû aux ondes de choc successives. L'intensité de l'onde de choc qui se transforme après quelques dizaines de mètres en onde sonore, puis de cette onde sonore elle-même, dépend de l'intensité du courant de foudre, mais est aussi conditionnée par la brièveté de l'impulsion de ce courant. Le phénomène n'est pas sans rappeler le « bang » des avions supersoniques.

Dans le cas de l'éclair intra-nuage, les courants s'écoulant dans le canal ionisé sont moins intenses, et leurs formes beaucoup plus allongées : c'est pourquoi la pression acoustique de l'onde sonore produite est aussi beaucoup plus faible.

L'impression faite par le tonnerre sur l'observateur est très différente selon son éloignement du point d'éclatement. La durée d'un coup de tonnerre est due au fait que le canal présente une grande longueur, y compris la partie interne au nuage, souvent non visible : le bruit émis par chaque segment élémentaire parvient à l'observateur avec un décalage temporel différent. Par ailleurs, les composantes de fréquences élevées engendrées par l'onde de choc, se propagent suivant une direction privilégiée, perpendiculaire au segment du canal considéré, alors que les fréquences basses rayonnent de façon omnidirectionnelle. Il en résulte que, selon l'orientation relative d'un segment élémentaire par rapport à l'observateur, le bruit sera perçu comme un

claquement sec ou comme un bruit sourd. C'est donc en définitive la combinaison de la distance à l'observateur et de l'orientation respective des segments successifs du canal de foudre qui détermineront le bruit global perçu. La succession de grondements et de claquements constitue une véritable « signature sonore » d'un coup de foudre.

- la fig.7 schématise le rayonnement acoustique d'un coup de foudre -

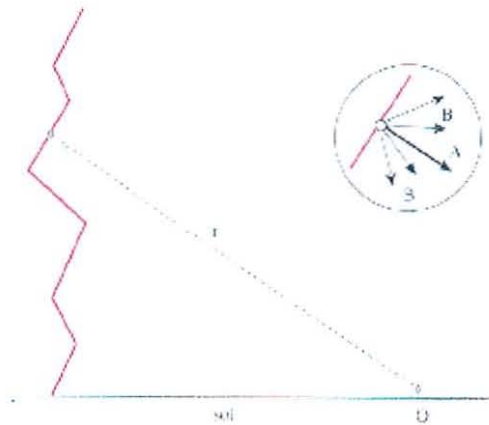


Fig.7 : rayonnement acoustique d'un arc en retour:formation du tonnerre. A:rayonnement radial des fréquences élevées; B:rayt omnidirectionnel des fréquences basses

Cependant, la perception à distance est relativement restreinte, elle dépasse à peine 10 km (soit environ 30 sec de délai entre l'illumination et le tonnerre). La portée sonore dépend aussi de la direction du vent et elle est d'autant plus faible que la température décroît plus vite avec l'altitude.



**LES DIFFÉRENTS TYPES  
DE FOUDDROIEMENT**

### III. LES DIFFERENTS TYPES DE FOUDROIEMENT

Le courant de foudre peut traverser le corps humain selon quatre principaux mécanismes pouvant s'associer entre eux.

#### III.A Le foudroiement direct. (19,21,28,30,31,52)

Il se produit lorsque la victime ou un objet pointu qu'elle tient est juste au point d'impact.

Le corps d'un homme debout en contact avec le sol constitue une résistance initiale relativement faible. La foudre pénètre alors par la partie la plus proéminente (en particulier la tête), traverse le sujet et rejoint la terre par les pieds. Elle provoque en général de graves lésions internes.

Une partie métallique dépassant la partie supérieure du corps, constitue une porte d'entrée préférentielle. Quand une personne s'abrite sous un parapluie ou tient une canne de golf ou tout autre objet conducteur, le courant s'écoule dans cet objet puis dans la main qui le tient.



Fig.8 : Foudroiement direct

Une faible fraction seulement du courant de foudre (20 000 à 30 000 Ampères) traverse le corps ; la plus grande partie étant dérivée à la surface du

corps sous forme d'un arc de contournement. En effet, la différence de potentiel entre la partie supérieure du corps et le sol, devient tellement importante «à mesure que l'intensité croît pendant le front de montée» qu'elle amorce un arc à la surface du corps qui devient le chemin préférentiel de moindre résistance dans lequel s'écoule la quasi-totalité du courant de foudre. Le courant traversant le corps n'est alors en moyenne que de 4 Ampères (1à10) pendant une durée généralement inférieure à quelques dixièmes de microsecondes. Ainsi, l'existence de l'arc de contournement et la brièveté de la durée du passage de courant dans le corps peuvent avoir un effet salvateur, en évitant, par exemple, un arrêt cardiaque mortel par fibrillation ventriculaire. Cet arc de contournement explique qu'on ne constate que rarement des brûlures internes profondes.

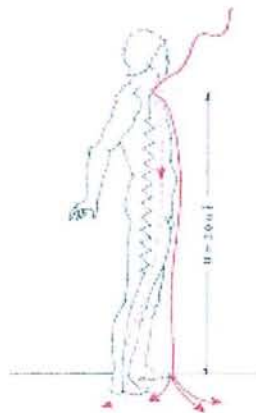


Fig 9 : Arc de contournement

Dans le cas de coups de foudre ascendants observés en haute montagne, l'arc de contournement ne se produit qu'avec un certain retard, car la différence de potentiel aux bornes du corps est initialement insuffisante pour l'amorcer.

L'arc de contournement, se produisant à l'extérieur du corps ou entre la peau et les vêtements provoque un roussissement des cheveux et de la barbe, des brûlures des vêtements, une vaporisation de la sueur. La pression de la

vapeur associée aux forces électrostatiques ainsi créées est suffisante pour déchirer les vêtements, d'autant plus facilement que ceux-ci sont ajustés au corps, et les souffler au loin. Cette décharge de contournement est aussi responsable, du fait de la chaleur dégagée, de la fonte des bijoux et autres parties métalliques (boucles de ceinture) au contact du corps.

Les objets métalliques portés sur le corps (la tête en particulier) constituent un chemin préférentiel pour le courant de foudre. Kitagawa (31) a ainsi décrit «l'effet épingle à cheveux», particulièrement dangereux. Les objets métalliques portés à la partie inférieure du corps favorisent la formation d'un arc de contournement et réduisent, en conséquence, la quantité de courant traversant le corps ; c'est l'effet «fermeture éclair». Il ne faut pas pour autant déduire que le port d'objets métalliques à la partie inférieure du corps protège de la mort par foudroiement.

### **III.B Le foudroiement par éclair latéral. (19,21,28)**

Il se produit lorsque la foudre touche une structure (arbre ou tout autre objet conducteur comme un piton rocheux, un pylône électrique) proche du sujet.



Fig.10 : Foudroiement par éclair latéral



La différence de potentiel entre la partie du tronc d'arbre (par ex.) située à hauteur de la tête de la personne et la terre s'élève alors suffisamment pour produire un claquage diélectrique de l'air. Une étincelle jaillit, dérivant le courant en une « décharge latérale » qui prend tout naturellement le trajet du corps humain qui présente une moindre résistance à son passage. Le courant entre ainsi au niveau de la tête ou d'une épaule, puis s'écoule ensuite par le corps vers la terre.

Les conséquences sont pratiquement les mêmes que celles d'un coup de foudre direct, ce coup dérivé gardant pratiquement les mêmes caractéristiques (haut voltage et ampérage élevé) que le coup principal qui lui a donné naissance.

Les accidents par éclair latéral peuvent se produire aussi bien en plein air qu'à l'intérieur d'une maison. Effectivement, certains foudroiements collectifs en plein air sont provoqués par un éclair latéral se propageant d'une personne à une autre, située à proximité ; et certains accidents liés à l'usage du téléphone

### **III.C Le foudroiement par tension de pas. (19,21,28,47)**

Il se produit lorsque le courant de foudre frappe un point du sol et se répartit dans le sol. Or, le terrain n'étant jamais uniforme, la charge va se distribuer différemment selon les résistances locales, créant ainsi des zones de potentiels différents. Ces potentiels vont également varier en fonction de la distance par rapport au point de chute de l'éclair.

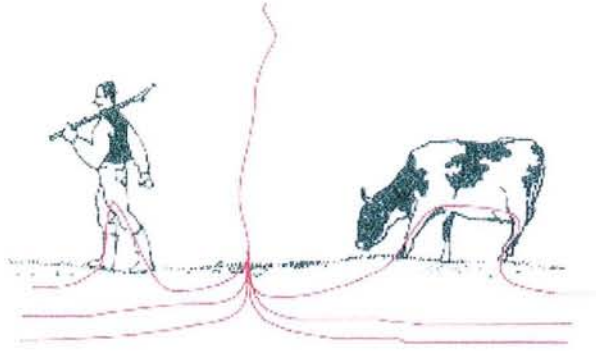


Fig.11 : Foudroiement par tension de pas

Une personne debout à proximité du point d'impact (jusqu'à 1 km) sera soumise à une différence de potentiel d'autant plus importante que la distance entre ses pieds et le point d'impact sera plus faible. Cette victime va alors être parcourue par un courant de dérivation. C'est aussi pour cela qu'il est dangereux de courir sous l'orage. Ce type de foudroiement est responsable de bon nombre d'accidents de personnes se livrant à des sports de groupe.

En général la quantité de courant traversant le corps est trop faible pour entraîner des lésions graves de la partie supérieure du corps (cerveau et cœur en particulier) mais est souvent responsable de kéraunoparalysies des membres inférieurs, pathognomoniques du foudroiement.

La tension de pas est la cause la plus fréquente du foudroiement des troupeaux, où plusieurs bêtes groupées au même endroit peuvent être tuées simultanément. Le cas du bétail est aggravé par le fait que l'écart entre les pattes est plus grand qu'entre les pieds d'un homme, et de plus, le cœur se trouve sur le trajet du courant dérivé.

### III.D Le foudroiement par tension de toucher. (19,21)

C'est en fait un cas particulier du foudroiement par éclair latéral. Il survient lorsque la victime est directement en contact avec un objet conducteur (tronc d'arbre, canalisation, paroi rocheuse humide) sur lequel tombe la foudre. Le courant passe alors de l'objet à la victime selon la voie de moindre résistance.



Fig.12 : Foudroiement par tension de toucher

Si la zone de contact est étendue, la fulguration est le plus souvent mortelle. Par contre, si elle est étroite, il peut y avoir survie grâce à un courant de contournement.

### III.E Le quatrième type d'accident indirect est **la commotion**. (21)

Nous emploierons ce terme pour désigner un choc électrique non mortel ou l'électrocution par une ramification du coup principal.



Fig.13 : Commotion par courant induit

Nous avons vu dans le chapitre précédent que le traceur descendant comportait presque toujours de nombreuses ramifications. Généralement, l'une d'elles seulement rencontre un traceur ascendant et donne passage aux courants d'arc en retour. Mais les autres ramifications, qui « meurent » avant d'avoir touché le sol, peuvent provoquer des commotions par couplage capacitif, c'est-à-dire par un courant induit à distance.

Parallèlement, ce couplage génère des forces électrostatiques, que subit la surface du corps, et par conséquent le côté extérieur des vêtements pour une personne normalement vêtue. Ce phénomène est le même que celui qui fait se dresser les cheveux sur la tête en présence d'un champ électrique, mais ici, ces forces sont considérablement plus intenses, et peuvent déchirer les vêtements et les éjecter loin du corps.

### **III.F Conclusion.**

Les coups de foudre directs sont, certes, les plus dangereux pour l'homme mais, l'expérience prouve que la tension de toucher et l'éclair latéral



ne sont que des variantes des coups de foudre directs, avec des amplitudes plus faibles.

**MANIFESTATIONS CLINIQUES  
DU FOUDDROIEMENT**

## IV. MANIFESTATIONS CLINIQUES DU FOUOROIEMENT

### IV.A Introduction (24,25,28)

L'examen du foudroyé doit tenir compte des circonstances de l'accident car, d'après les différents mécanismes du foudroiement, il est possible de déduire les principaux effets de la foudre sur les personnes ; ces effets étant tributaires des caractéristiques (en particulier électriques) du corps humain.

Certains effets sont directs : ce sont ceux d'une électrisation, l'effet le plus important étant le décès (électrocution) ; les autres sont des effets associés.

On rencontre les différents effets suivants :

- Les effets électriques non thermiques sur les tissus traversés par le courant.
- Les effets électrothermiques internes et externes
- Les effets explosifs qui constituent (avec les effets acoustiques) l'effet de souffle ou « blast » du à la surpression atmosphérique considérable et à la brièveté du courant de foudre.

Ces effets explosifs sont des effets associés aux effets directs (et non des effets indirects).

L'effet explosif associé à l'arc de contournement se traduit par exemple par le déchirement et l'arrachement des vêtements en tout ou partie, et naturellement par les lésions habituelles d'un blast « pur » dont la rupture du tympan.

- Les traumatismes par projection à distance ou ceux qui se produisent en cas de perte de connaissance sont des effets associés.
- Deux autres effets associés à l'électrisation sont les effets optiques (illumination par la décharge de l'arc en retour) et les effets acoustiques (onde de choc).

— Remarque : une personne, à proximité du canal de foudre, subissant les effets du blast, sans électrisation, n'est pas victime d'un foudroiement au sens strict (électrisation) ; dans ce cas, comme dans celui de brûlures provoquées par un incendie -initialement provoqué par la foudre-, les lésions sont indirectement dues à la foudre.

Les lésions causées par la foudre sont d'un tel polymorphisme et d'une telle complexité qu'il n'est pas possible d'envisager une classification en fonction des mécanismes physiques du foudroiement. Nous vous proposons donc une énumération des principales complications et séquelles classées selon les systèmes et organes, en sachant que les associations les plus diverses sont possibles.

#### **IV.B La mort par foudroiement**

##### **1 - Causes habituelles (2,28)**

La cause essentielle de fulguration est l'arrêt cardiaque qui peut survenir soit par fibrillation ventriculaire, soit par asystole. La mort par nécrose myocardique est très rare.

Certains cas pourraient être dus à l'arrêt de la ventilation qui suit une atteinte des centres respiratoires (situés dans le tronc cérébral, à la base du crâne). Cette étiologie serait relativement fréquente, d'autant plus que l'existence de brûlures céphaliques est assez souvent relatée.

Dans un nombre non négligeable de cas, les foudroiements mortels sont dus à de graves lésions cérébrales (hémorragie, lésion ischémique). Parmi les causes d'ischémie majeure figure l'arrêt cardio-respiratoire. Un traumatisme crânio-rachidien par chute (violente projection), des lésions méningo-

encéphaliques dues aux effets du courant et aussi au blast peuvent être la cause principale du décès (24). Les autopsies retrouvent des suffusions hémorragiques cérébrales, une endothélite dégénérative des capillaires cérébraux, une nécrose gliale.

Le risque de mort secondaire par brûlures profondes serait exceptionnel à la suite d'un coup de foudre.

## 2 - Physiopathologie (5,6,28,34)

La connaissance des mécanismes et des paramètres électriques du courant de foudre est indispensable à l'étude de la physiopathologie de la mort par passage du courant de foudre à travers le corps.

Les paramètres physiques à prendre en considération sont la résistance (R) du corps, l'intensité (I) et la durée (t) du passage du courant traversant le corps.

D'après la loi de Joule, on a :  $W (J) = R (\Omega) \times I^2 \times t (sec)$

avec  $R = U (volts) / I$  d'après la loi d'Ohm.

Dans le cas d'un coup de foudre direct, le trajet du courant se fait bien souvent entre la tête et les membres inférieurs. Ce trajet, dit longitudinal, intéresse donc le cerveau et le cœur. Dans ces conditions, et en raison de la valeur élevée de la tension aux bornes du corps après contournement, de l'ordre de 2 à 3 kV jusqu'à 5, la résistance corporelle est relativement faible et ne dépasse pas la valeur de 100 à 300  $\Omega$  (c'est la valeur de la résistance interne pour ces tensions, une fois que sont annulées les résistances cutanées des points de contact). Ainsi, en appliquant la loi d'Ohm, on peut estimer à 10 A l'intensité (valeur de crête) du courant traversant le corps pendant en moyenne 10 à 20 msec. , après que l'arc de contournement se soit produit,

dans le cas d'un coup de foudre comportant au moins deux décharges impulsionnelles suivies d'une composante persistante.

La fibrillation ventriculaire constitue la cause d'électrocution la plus fréquente pour certains auteurs, et aussi la plus étudiée. Le risque de F.V. est majeur lorsque la décharge se fait au moment de la phase dite vulnérable du cycle cardiaque (repolarisation ventriculaire progressive), correspondant à la première partie (partie ascendante) de l'onde T de l'ECG ( $\approx 10$  à  $20\%$  de la durée d'un cycle cardiaque, soit  $100$  à  $200$  msec) -cf.Fig.14-. Le temps de passage influe donc : plus il est important, plus le risque est grand (dans le cas de la foudre, la durée est très rarement supérieure à celle d'un cycle cardiaque). Le seuil de F.V. (I minimale de courant, en fonction du temps, susceptible de déclencher une F.V.) est surtout connu pour les courants alternatifs de fréquence industrielle  $50/60$  Hz. Un courant alternatif de basse fréquence ( $15$  à  $100$  Hz) traversant le corps durant  $100$  à  $200$  ms risque d'induire une F.V. dès  $500$  mA (pour le trajet main gauche-2 pieds) ; si la durée s'élève à  $1$  sec, voire plus, le seuil s'abaisse alors à  $50$  mA. Le seuil de fibrillation du courant continu est à peu près  $4$  fois supérieur à celui du courant alternatif, du moins pour des durées de passage supérieures à  $100$  msec.

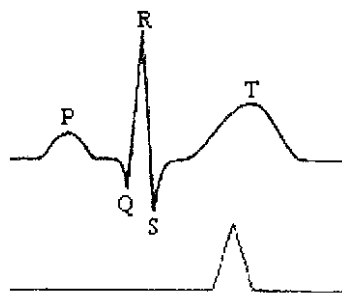


Fig.14 : ECG du cycle cardiaque normal et période de plus grande vulnérabilité

Une décharge de foudre peut être assimilée à une décharge de condensateur (impulsion unipolaire).

Pour le risque de F.V., on définit l'énergie spécifique de fibrillation,  $F_e$ , comme la plus petite valeur  $i^2t$  d'une impulsion unipolaire de courte durée qui, dans des conditions données (trajet du courant, phase du cycle cardiaque), produit une fibrillation avec une probabilité donnée.  $F_e$  est donnée par l'intégrale  $\int i^2 dt$  pendant la durée de l'impulsion. Quand on multiplie cette valeur par la résistance corporelle, on obtient la quantité d'énergie dissipée (en J) dans le corps durant l'impulsion. Il a été prouvé que cette énergie spécifique de fibrillation, ainsi que la charge spécifique de fibrillation, étaient les grandeurs les plus appropriées pour quantifier le danger d'impulsion de courte durée (10 msec au moins).

D'autre part, Berger et Biegelmeier (5) ont calculé la probabilité pour qu'une décharge descendante négative (unique ou multiple) atteigne le cœur pendant la phase vulnérable. Cette probabilité est de 0.33. En effet, un coup de foudre sur 3 est fatal. Enfin, on peut affirmer que le passage d'un courant de foudre à travers le corps entraînera toujours la mort si l'intensité de ce courant est supérieure à 10A (quel que soit la durée du passage).

D'après de nombreuses publications médicales (6,28,34), le courant de foudre n'est ni plus ni moins qu'un courant continu de très haute tension et de très brève durée. Une décharge de foudre aurait le même effet sur le cœur qu'un courant continu "massif", à savoir une dépolarisation brutale de l'ensemble des cellules myocardiques, appelée asystole (le tracé ECG est alors plat), parfois suivie d'une reprise spontanée de l'automatisme cardiaque.

La foudre peut aussi provoquer la mort par inhibition des centres respiratoires centraux. Comme dans le cas des accidents électriques par

courant alternatif, il est possible que le seuil d'arrêt respiratoire d'origine centrale soit plus élevé que le seuil de fibrillation.

La pathogénie de la mort par effet direct du courant de foudre est loin d'être bien comprise.

#### **IV.C Lésions cardio-vasculaires (11,19,21,24,28,32)**

Les atteintes cardiaques, lors de fulguration, ne s'observent que si le courant électrique traverse l'aire cardiaque. Or, la majeure partie de ce courant fait "effet de peau" et ne pénètre pas en profondeur de l'organisme épargnant, ainsi les organes profonds.

La complication la plus grave est l'arrêt cardio-respiratoire. En cas d'ACR initial, le premier enregistrement électrocardiographique, forcément fait quelques temps après l'accident, montre plus souvent une asystole qu'une fibrillation. C'est ainsi que certains auteurs (28) justifient la fréquence nettement plus élevée de l'asystole en comparaison de celle de la fibrillation. L'asystolie s'explique à la fois par l'intensité du courant et par l'onde de choc consécutive au foudroiement.

Lors d'un ACR par asystole, les pouls artériels ne sont plus perçus et la pression artérielle est imprenable. Parfois, une intense réaction du système sympathique (qui ne se produit pas en cas de fibrillation) induit secondairement une hypertension transitoire et une tachycardie. De toute façon, la persistance de l'arrêt respiratoire associé (qui peut avoir une origine centrale) conduit inévitablement, en l'absence d'une réanimation immédiate, à des troubles du rythme secondaires (fibrillation) et à un arrêt cardio-circulatoire définitif.



Il semble, selon plusieurs auteurs, que le pronostic de l'ACR soit relativement bon ; les chances de survie pourraient dépasser 20% (5,28).

Les troubles cardio-vasculaires les plus fréquents restent les troubles du rythme cardiaque, allant de la simple tachycardie sinusale à la fibrillation ventriculaire, et survenant initialement ou en cours d'évolution.

Les troubles du rythme initiaux sont dus au passage du courant électrique par le cœur, perturbant ainsi la coordination de l'excitation cardiaque. La conséquence fatale en est la F.V., qui conduit à une inefficacité totale de la pompe cardiaque et donc à la mort, en l'absence d'une réanimation cardio-respiratoire immédiate suivie le plus rapidement possible d'un CEE (défibrillation).

La tachycardie sinusale est courante et sans gravité, mais on rencontre souvent une fibrillation auriculaire.

On note parfois des extrasystoles ventriculaires qui semblent dues à l'action directe de la foudre sur le myocarde, mais on ne doit pas méconnaître le rôle déclenchant ou aggravant de l'anoxie, de l'acidose et de l'hyperkaliémie liées à un arrêt circulatoire prolongé secondaire à la F.V. initiale. Ces ESV disparaissent rapidement, après prise en charge des patients.

En ce qui concerne les anomalies tensionnelles, il peut s'agir d'une hyper- ou d'une hypotension artérielle.

Il peut se produire des troubles ischémiques (considérés comme quasi constants dès que le trajet du courant de foudre intéresse le cœur), pouvant aller de la simple inversion asymptotique des ondes T sur l'ECG à

l'infarctus transmural étendu. Ceci justifie la réalisation systématique d'un ECG à tout foudroyé. De plus, les anomalies cardiaques pouvant apparaître secondairement, la mise sous observation cardioscopique systématique en milieu de réanimation pendant un minimum de 24h paraît justifiée. Des précordialgies ont été décrites également, elles peuvent perdurer plusieurs mois après l'accident.

Ces lésions ischémiques sont la conséquence soit d'une atteinte directe du myocarde par effet Joule ou consécutive à une contusion myocardique par phénomène de blast, soit d'une atteinte des artères coronaires à type de spasme ou même de thrombose vraie.

A l'ECG, les modifications peuvent être celles typiques d'un IDM, mais aussi celles non spécifiques et transitoires de troubles de la repolarisation comme des anomalies de l'onde T (inversion préférentiellement en D2-D3, onde T biphasique dans les dérivations précordiales) ou du segment ST (comme un allongement).

Au niveau biologique, l'élévation de la CPKmb est assez souvent relatée.

De réels infarctus et complications telles que l'insuffisance cardiaque (pouvant se développer dans les jours suivant le foudroiement) ont été rapportés avec plus de fréquence qu'à la suite des électrisations par courant alternatif. Certains peuvent être mortels. Les coups de foudre directs et leurs variantes sont ceux qui entraînent les lésions myocardiques les plus importantes. Parmi les survivants, on n'observe qu'exceptionnellement des séquelles.

#### **IV.D La pathologie pulmonaire (28,38)**

Elle peut être d'origine cardiaque (OAP hémodynamique), mais elle peut aussi être due aux effets du blast. Des contusions pulmonaires graves ont

été décrites associant OAP, détresse respiratoire et hémorragie pulmonaire avec hémoptysie.

Il peut s'agir de troubles ventilatoires par apnée, qui peut être secondaire à une inhibition des centres respiratoires bulbaires. La téτανisation des muscles ventilatoires peut également en être responsable. Enfin, il peut se produire un SDRA soit par brûlures pulmonaires, soit par syndrome d'inhalation.

Ce sont la durée de l'apnée et de l'arrêt cardiaque consécutif qui conditionnent le pronostic.

#### **IV.E Les troubles neuropsychiques**

Les lésions neurologiques sont les plus fréquentes et les plus caractéristiques. Elles sont principalement dues au dégagement de chaleur par effet Joule ; la quantité de chaleur délivrée étant donnée par la loi de Joule :

$W = U \times I \times T$  avec U: tension du courant

I : intensité du courant

T: temps de passage du courant

##### **1 - La perte de connaissance**

La perte de connaissance initiale est très fréquemment rapportée (72% des foudroiements) (2,28). Elle survient au moment où la victime est frappée par la foudre, même pour des courants dont le trajet n'intéresse pas le cerveau. Tous les intermédiaires existent entre la syncope brève bénigne sans séquelle et le coma prolongé avec séquelles neurologiques graves. Des troubles psychiques plus ou moins importants peuvent suivre le retour de la conscience : un syndrome confusionnel est fréquemment retrouvé, l'amnésie

rétrograde (oubli des circonstances de l'accident et, souvent, des faits survenus durant les quelques jours précédant l'accident) est observée dans 46% des cas (2,28).

Le plus souvent, la victime gît au sol, à l'endroit où elle a été projetée, immobile, sans aucune contraction musculaire ou convulsion (assez fréquentes lors des électrisations par courant alternatif); cet état est habituellement appelé "état de mort apparente". Un coma peut persister plusieurs jours, voire des semaines, malgré la réanimation intensive. Quand ce coma n'est pas mortel, on retrouve une agitation au réveil et il persiste le plus souvent (dans 70% des cas) des séquelles neurologiques centrales de gravité variable. Des anomalies (diffuses ou en foyer) du tracé EEG ne sont pas rares.(28)

## 2 - les troubles psychiques (24,27,28)

Nous avons déjà mentionné l'amnésie et la confusion qui suivent le foudroiement ; citons quelques autres troubles de la conscience : réaction de type hystérique, anxiété, agitation, irritabilité, sensation d'avoir été assommé, apathie, céphalées, symptômes dépressifs et phobiques

Un syndrome de stress post- traumatique est une séquelle psychique classique. Il est caractérisé par une asthénie, un syndrome dépressif d'allure réactionnelle, une insomnie, des cauchemars, des phénomènes de reviviscence du traumatisme (parfois même lorsqu'il existe une amnésie de l'accident). Ce syndrome peut être observé quelle que soit la gravité initiale de l'accident et peut même se manifester chez les témoins. Une évaluation psychologique et un support psychothérapeutique sont primordiaux pour l'avenir de nombreux fulgurés.

Des troubles durables du caractère et de l'humeur ont été décrits chez les enfants.

De véritables psychoses peuvent être déclenchées par un foudroiement et, au contraire, certaines pathologies psychiatriques auraient été améliorées (28). Il faut sur ce plan opposer schématiquement les troubles fixes, graves, hallucinatoires, sur personnalité antérieurement équilibrée, après un passage du courant de foudre par la tête, et qui représentent selon toute probabilité des séquelles de lésions organiques encéphaliques (que l'imagerie cérébrale peut démontrer de mieux en mieux par la résonance magnétique) ; et les troubles hystérisiformes variables survenant sur personnalité antérieurement fragile ou limite après une expérience de foudre mais sans passage du courant.

### 3 - Lésions neurologiques : des kéraunoparalysies aux lésions plus graves

\* Lésions périphériques : (27,28,46)

—Une sensation de faiblesse des membres inférieurs est fréquente.

—Des troubles sensitivo-moteurs transitoires des membres (inférieurs surtout) traversés par le courant (courant de terre principalement) affecteraient 2/3 des victimes. Ce sont les kéraunoparalysies ou paralysies de Charcot, qui sont assez spécifiques : paralysies flasques avec disparition de toutes les sensibilités ; les pouls périphériques ne sont plus perçus à la palpation ; la peau est bien souvent moite, pâle et marbrée, les extrémités cyanosées. Ces symptômes pouvant faire évoquer une ischémie aiguë, régressent en général dans les 24 premières heures (le plus souvent en moins d'une heure) ; sinon, il faut penser à une atteinte traumatique du rachis compliquée d'une lésion médullaire. L'examen initial, par le testing moteur sensitif proposé par

l'American Spine Injury Association (ASIA) prend toute sa valeur pour juger de l'évolution dans les premières heures de ce tableau neurologique.

Ces paralysies ne laissent en principe pas de séquelles (si ce n'est des neuralgies) et sont généralement mises sur le compte d'un vasospasme qui entraînerait un œdème radiculaire ou une ischémie des nerfs périphériques.

Du point de vue anatomopathologique, les lésions périphériques sont caractérisées par une fragmentation des axones avec ballonnisation de la gaine de myéline (19).

—Des cas de lésions des nerfs périphériques, à l'origine de paralysies faciales, de l'audition, des nerfs moteurs de l'œil, ... , ont été rarement décrits.

—Des paresthésies et des douleurs d'un membre traversé par la foudre peuvent persister comme séquelles. Ces douleurs posent de difficiles problèmes de thérapeutique. Leur physiopathologie est inexpliquée, et quoique bien réelles, elles soient difficiles à documenter par des examens paracliniques.

\* Lésions centrales : (19,28,38)

—Des atteintes encéphaliques et médullaires, survenant surtout quand le point d'entrée est céphalique (ou secondairement à une période d'hypoxie), peuvent constituer des séquelles graves. Sont décrits : des hémiplegies, des syndromes pyramidaux, cérébelleux ; ou extra-pyramidaux, des paralysies atrophiées spinales, des troubles neurovégétatifs. Leur mécanisme intime associe de façon variable la lésion directe par effet Joule des structures nerveuses traversées par le courant de foudre et des lésions d'origine vasculaire expliquant la latéralisation souvent très marquée des séquelles. Au niveau médullaire, le passage du courant entraîne un spasme artériel ayant pour conséquence une anoxie et un œdème médullaire (19).

Des lésions ischémiques cérébrales sont donc à rechercher ; l'association d'un œdème cérébral associé n'est pas rare (risque d'engagement). Ont aussi été observés quelques cas d'hémorragie cérébrale avec hématome extra-dural, hématome sous-dural ou intracrânien ; une thrombose cérébrale peut aussi se constituer très rapidement après un coup de foudre direct avec contact céphalique.

Un scanner et/ou une IRM doivent être pratiqués au moindre doute.

Des troubles neurovégétatifs tels que pâleur, hypothermie, œdèmes fugaces complètent le tableau.

L'évolution des atteintes encéphaliques peut être lente et entraîner des séquelles plus ou moins lourdes (d'autant plus lourdes qu'en phase initiale, le coma est profond et s'accompagne de troubles cardio-respiratoires).

—L'atteinte des noyaux gris centraux, à l'origine de syndromes parkinsoniens, est encore plus rare après le foudroiement qu'après les électrisations par courant de fréquence industrielle.

—Il a également été décrit des cas d'épilepsie post-fulguration quoiqu'il soit possible que la fulguration n'ait agi que comme "révélateur" d'un état épileptique latent (19).

—Rappelons ici que l'effet de blast de la foudre et les traumatismes associés jouent aussi un rôle important dans la genèse des lésions cérébrales.

#### **IV.F Les brûlures (4,50,52)**

C'est la peau qui offre la plus grande résistance au passage du courant, c'est donc sur elle que se produira le plus grand dégagement de chaleur par effet Joule, surtout au moment des décharges de contournement et de l' "effet de peau" (19).

L'effet thermique se manifeste surtout en superficie : le courant passe en majeure partie et à très grande vitesse à la surface du corps, sous forme d'un arc électrique de contournement. Les brûlures profondes, tissulaires, comparables à celles provoquées par un courant haute tension de fréquence industrielle, sont donc exceptionnelles.

On peut classer les brûlures en cinq catégories selon leur aspect qui va dépendre de la nature du foudroiement et du trajet du courant à l'intérieur de la victime. Il n'est pas rare que les sujets foudroyés présentent des brûlures de plusieurs types. Tous types confondus, les localisations les plus fréquentes sont, par ordre décroissant : le tronc (46%), les jambes (37%) et la tête (32%) ; les brûlures des bras sont observées chez seulement 23% des victimes. Et 11% des foudroyés n'ont pas de brûlure. (28)

A l'instant où un coup de foudre frappe un homme, soit par foudroiement direct soit par dérivation, le courant s'écoule tout d'abord dans sa totalité par le corps, en perçant la peau et provoquant, aux points de pénétration et de sortie, des brûlures typiques circonscrites et circulaires. Ces brûlures, bien que la majeure partie du courant soit dérivée à l'extérieur du corps (arc de contournement), permettent de reconstituer le trajet du courant à travers le corps. Ces brûlures sont relativement fréquentes et sont voisines de celles observées lors des électrisations (elles correspondent à ce qui est connu sous le nom de "marques électriques" dans les électrocutions industrielles). Elles apparaissent comme de petites zones circulaires, punctiformes et profondes, brûlées au 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> degré (halo ischémique périphérique) et centrées sur une petite dépression nécrotique. (19,28)

Lorsque le courant ressort par les pieds, on peut observer, au niveau des chaussures, par ailleurs souvent éjectées, des perforations punctiformes, véritables orifices en emporte-pièce, directement en regard des lésions



cutanées. Il n'existe aucun halo de carbonisation autour de ces orifices. Par contre, on retrouve des perforations avec brûlures des chaussettes calquées directement sur la topographie des lésions cutanées.

La présence de brûlures de ce type doit toujours être recherchée mais leur absence ne signifie pas pour autant qu'il n'y ait pas eu électrisation. Dans certains cas (rares), ces brûlures nécessitent une greffe.

Une observation de J. Laguerre (51) rapporte la présence, chez deux randonneurs foudroyés, de multiples zones de claquages cutanés en emporte-pièce au niveau des deux pieds, avec phénomènes douloureux importants. Ces lésions présentent une zone de nécrose blanchâtre avec un halo périphérique rouge vineux, mal délimité, associé à un décollement épidermique. Sur le plan anatomopathologique, l'examen microscopique montre sur les prélèvements cutanés de larges foyers de nécrose de coagulation occupant le derme et une partie de l'hypoderme avec présence de formations vasculaires thrombosées. En périphérie de ces lésions, on note un infiltrat inflammatoire lymphohistiocytaire avec prédominance péri-vasculaire. On observe également à ce niveau la présence de quelques altérations ponctuelles de la paroi de certaines formations vasculaires. Le prélèvement musculaire est caractérisé par des lésions dystrophiques et nécrotiques associées à un infiltrat inflammatoire dense granulomateux : il s'agit d'un remaniement inflammatoire nécrotique péri-lésionnel et non de lésions d'ischémie vasculaire.

Chez au moins 10% des foudroyés (33), on décrit des lésions d'érythème sous-cutané dessinant des arborescences en feuilles de fougère : ce sont les figures de Lichtenberg (cf.fig.15), pathognomoniques de la foudre et donc d'intérêt médico-légal considérable. Ces lésions siègent électivement sur le tronc et les épaules. Elles ne blanchissent pas à la pression et les

ramifications ne suivent pas du tout le trajet des vaisseaux sanguins ou des rameaux nerveux superficiels.

Les figures de Lichtenberg sont dues à la propagation à très grande vitesse de l'amorçage, qui se développe à la surface de la peau du fait de l'humidité due à la transpiration ; ceci avant que ne se produise l'arc de contournement. Comme pour tout amorçage, il se forme d'abord un véritable traceur, qui ici s'insinue entre les vêtements et la peau, et chemine à la surface de celle-ci avec de multiples ramifications. Ces figures de Lichtenberg résultent du passage préférentiel du courant dans les zones les plus conductrices, c'est-à-dire les plus humides.

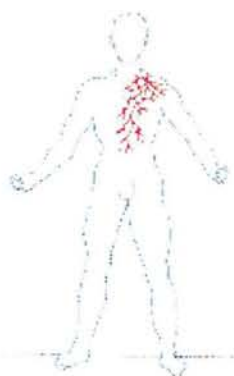


Fig.15 : Amorçage en surface

Ces figures sont improprement appelées brûlures car macroscopiquement, elles correspondent à un simple érythème, et histologiquement la basale est toujours intacte. Elles disparaissent spontanément en quelques heures ou jours, sans laisser de traces. Elles sont décrites dans la littérature sous divers noms : brûlures en feuilles de fougère, brûlures en forme de plume, impression d'éclair, arborescence en patte d'araignée. Ces marques portent le nom de "figures de Lichtenberg" car elles sont en tout point semblables à ces figures, étudiées pour la première fois par Lichtenberg en 1778, et que l'on obtient en plaçant une pointe à haute tension devant une feuille de papier saupoudrée de poussière de soufre.

Les brûlures par flash sont similaires aux brûlures dues aux radiations d'un arc électrique. Elles sont généralement superficielles. Les plis cutanés sont épargnés. Des brûlures de ce type peuvent intéresser la cornée.

Les brûlures linéaires en trait (de quelques mm à 5 cm de large) sont des brûlures généralement assez superficielles qui cicatrisent spontanément en une dizaine de jours. Elles sont bien souvent groupées et localisées aux zones cutanées de moindre résistance, là où les glandes sudoripares sont les plus nombreuses : lignes médianes du tronc, le long de la ligne axillaire moyenne, sous les seins.

Elles sont très probablement dues au passage de l'arc de contournement à la surface du corps, entraînant une vaporisation instantanée de la sueur.

Les brûlures dues au contact d'objets ou parties métalliques portés sur le corps (chaîne, bracelet) ou incorporés aux vêtements (fermeture éclair, boucle de ceinture ou pièce de monnaie dans une poche) peuvent être très profondes. Des greffes sont parfois nécessaires. Leur profondeur et leur aspect dépendent de la longueur et de la surface de section (du volume) des objets métalliques et de la durée du contact (durée de l'échauffement du métal qui est parfois fondu ou même parfois vaporisé). Il faut rappeler ici que les objets métalliques, malgré leur danger, ont l'avantage de favoriser l'arc de contournement.

Des brûlures très étendues et profondes sont possibles en cas d'inflammation des vêtements. Il faut noter que les vêtements (comme tout autre matériau inflammable, y compris le bois des arbres) ne risquent de prendre feu que si la durée du coup de foudre est relativement longue. Ceci se produit lorsque la composante persistante de la décharge est longue (on parle alors de "foudre chaude"). Certains vêtements (polyester par exemple) peuvent aussi fondre sur la peau ; mais plus souvent, les vêtements, les chaussures sont

partiellement roussis, brûlés ou carbonisés et déchiquetés (voire éjectés) par les effets thermiques et explosifs de l'arc de foudre. Effectivement, l'échauffement de la couche d'air comprise entre la peau et les vêtements provoque une violente expansion de cet air, et ceci est une autre cause de désintégration et d'éjection des vêtements, à côté des forces électrostatiques déjà rencontrées. Un roussissement des cheveux, de la barbe, des sourcils, des poils, y compris pubiens, est assez évocateur. On dit souvent d'un foudroyé qu'il sent le roussi. (24,28)

L'arc de contournement explique qu'on ne constate que rarement des brûlures internes profondes à la suite d'un foudroiement. Il est vrai qu'une insuffisance rénale aiguë par rhabdomyolyse, provoquée par des brûlures étendues et profondes est vraiment exceptionnelle. Néanmoins, on peut constater le long du trajet du courant, un œdème par nécrose musculaire ou spasme vasculaire ; œdème qui peut être très important et nécessiter des aponévrotomies de décharge voire des résections tissulaires afin d'éviter une compression vasculo-nerveuse. Le risque infectieux est parfois grand. DAVID B. (16) décrit un cas de carcinome survenant sur cicatrice de brûlure étendue chez une femme, 35 ans après l'accident initial.

En conclusion, les brûlures induites par la foudre peuvent aller du simple érythème à la nécrose du 3<sup>ème</sup> degré. Selon l'intensité de la réaction électrothermique (effet Joule), la nécrose atteint soit l'épiderme et le derme superficiel, soit la totalité du derme et une partie plus ou moins importante de l'hypoderme. Quelquesoit l'importance des lésions, les atteintes vasculaires sont progressivement décroissantes en s'éloignant du foyer de nécrose. La localisation des brûlures et la nature de la décharge ont une importance

pronostique : les sujets qui présentent des brûlures de la tête et des jambes risquent davantage de mourir ; les foudroiements directs sont plus souvent fatals que les foudroiements secondaires, de contact ou par le sol. Des brûlures d'allure banale peuvent cacher des lésions viscérales majeures. (52)

#### **IV.G Lésions sensorielles**

##### **1 - Lésions auditives (11,21,28,38,45,53)**

Ces lésions, relativement fréquentes (à toujours rechercher chez un foudroyé), sont dominées par la rupture de la membrane tympanique qui se produirait dans 50% des foudroiements selon Cooper (28). La rupture, uni- ou bilatérale, peut s'accompagner d'altérations des organes profonds de l'oreille (lésions ossiculaires,...). Une surdité initiale, avec ou sans acouphènes, semble très fréquente chez les foudroyés ; son évolution varie en fonction des lésions auditives. Des troubles vestibulaires (sensations vertigineuses et troubles de l'équilibre) de courte durée sont fréquents. Il pourrait s'agir de lésions dues aux conséquences vasomotrices de la foudre plus que de séquelles liées directement au courant. Le traitement est à base de vasodilatateurs et d'anti-vertigineux.

Il semblerait que les lésions auditives surviennent pratiquement toujours lors d'accidents graves, avec perte de connaissance initiale parfois prolongée.

Dans la majorité des cas, les victimes présentent des brûlures du premier ou deuxième degré de la face (le pavillon de l'oreille inclus) et/ou du cou ou encore un roussissement des cheveux, généralement du côté où les lésions auditives sont les plus importantes. Des brûlures de la région temporale (avec

description d'un cas de dilacération de l'artère temporale superficielle) existent parfois (28).

On peut retrouver une otorrhée de liquide clair témoignant d'une fistule périlymphatique par lésion de la fenêtre ovale, ou une otorrhée de LCR témoignant d'une fracture du rocher par exemple, ou encore une otorragie due à une rupture de la membrane tympanique.

Dans les atteintes bilatérales, le type et la gravité des lésions ne sont pas symétriques.

Il peut exister des séquelles, le plus souvent d'origine cochléaire.

Cinq mécanismes des lésions auditives par foudroiement peuvent être identifiés : les brûlures parfois très profondes du CAE et du tympan, le blast, des effets similaires à celui d'un barotraumatisme, l'effet direct du passage du courant dans l'appareil auditif et les traumatismes crâniens.

Il serait bien possible que le seul effet du passage du courant, altérant préférentiellement les vaisseaux sanguins de petit calibre (comme ceux de la membrane tympanique), joue un rôle beaucoup plus important que celui qui lui a été attribué jusqu'à présent. (28)

Le traumatisme acoustique, dont le mécanisme est le blast provoqué par le tonnerre concerne le système tympano-ossiculaire, et est alors responsable d'une hypoacousie mixte.

Un accident particulier est le foudroiement consécutif à l'usage du téléphone pendant un orage. Il est raisonnable de penser que les lésions auditives sont très fréquentes puisque l'oreille est exposée à une surtension transitoire dans 100% des cas. Cependant, en raison de l'amplitude de courant généralement beaucoup plus faible que celle des coups de foudre "classiques", la rupture de la membrane tympanique est exceptionnelle et les symptômes auditifs (acouphènes et hypoacousie), possibles dans 50% des cas,

sont le plus souvent modérés. Cependant, 10% des sujets victimes de foudroiement en téléphonant ont des lésions auditives relativement graves (d'après l'enquête de C.J. ANDREWS et de M. DARVENIZA, en Australie, portant sur 328 cas entre 1980 et 1985) (1,2). Le choc acoustique a certainement joué un rôle important ; en effet, il ne faut pas oublier qu'une impulsion électrique traversant la bobine de l'écouteur peut provoquer un mouvement intense de la membrane du téléphone, mouvement qui, à son tour, génère une intense onde de pression dans le canal auditif.

## 2 - Lésions oculaires (11,19,28,48)

Peut-être un peu moins fréquentes que les lésions auditives, les lésions oculaires dues à la foudre peuvent concerner tous les éléments de l'œil et de ses annexes. Elles sont dominées par la cataracte, séquelle oculaire la plus fréquente.

L'œil constitue un milieu bon conducteur de l'électricité et pourrait être une des voies préférentielles du passage du courant en cas de coup de foudre direct atteignant la tête.

Les lésions les plus diverses peuvent intéresser toutes les parties de l'œil et ses annexes. Ces lésions sont dues aux radiations du flash (phototraumatisme), aux effets directs thermiques et non thermiques du courant traversant l'œil ainsi qu'à d'éventuelles contusions dues à l'onde de choc, ou à diverses associations de ces facteurs.

Au niveau des paupières, on retrouve des brûlures et un érythème qui ne sont pas différents de ceux des brûlures thermiques.

L'atteinte du segment antérieur de l'œil est fréquente. On décrit des conjonctivites avec chémosis (œdème de la conjonctive bulbaire) plus ou moins important, des kératites ponctuées superficielles ou interstitielles et des opacités cornéennes diffuses, avec évolution possible vers l'ulcération de la cornée et risque de diminution de l'acuité visuelle (cicatrices cornéennes). On observe aussi des iridocyclites aiguës bénignes ou récidivantes et des anomalies pupillaires consistant en mydriase, anisocorie, syndrome de Claude Bernard Horner ou absence du réflexe photomoteur. Ce qui fait que, par prudence, l'examen des pupilles ne devrait pas être considéré comme fiable dans l'évaluation de l'état neurologique.

Au niveau du segment postérieur, des anomalies rétiniennes et choroïdiennes ont été rapportées : hémorragies, exsudats, œdèmes rétiniens, dégénérescence maculaire, œdème de la papille, rupture et atrophie choroïdiennes. C'est surtout l'œdème maculaire qui domine et qui évolue en général vers un "trou maculaire". Cet œdème étant causé par deux facteurs : le premier étant l'effet Joule qui, par dégagement de chaleur au niveau de l'épithélium pigmentaire, entraîne une réaction œdémateuse de la rétine ; le deuxième peut être rapproché du phototraumatisme aigu. En effet, lors de l'éclair, les rayons lumineux tant visibles que les infrarouges sont absorbés en excès au niveau de l'épithélium pigmentaire maculaire et entraînent eux aussi un œdème maculaire qui va évoluer vers le trou lamellaire.

Des névrites optiques avec ou sans atrophie optique, voire infracliniques (sans scotome ni diminution de l'acuité visuelle) ont été décrites. L'enregistrement des P.E.V. (potentiels évoqués auditifs) et le scanner sont d'une grande utilité pour le diagnostic étiologique et l'évolution, parfois très favorable.

Les paralysies oculo-motrices ne semblent pas très fréquentes sauf chez les foudroyés atteints de graves lésions du S.N.C.

La cataracte est une lésion considérée comme spécifique du passage du courant (encore que des cas après simple phototraumatisme aient été décrits).



Elle serait due à la fois à l'effet Joule qui dénaturerait les protéines cristalliniennes et à des altérations vasculaires qui perturberaient la nutrition du cristallin.

Les cataractes dues à la foudre semblent plus fréquentes que les cataractes dues au courant de fréquence industrielle. D'après ANDREWS et COOPER (1), 3% des foudroiements se compliqueraient de cataracte et d'après les résultats d'une étude personnelle du Dr GOURBIERE (28), 0.4% des accidents électriques survenus parmi le personnel d'électricité de France se sont compliqués de cataracte. Dans l'ensemble, les manifestations cliniques des cataractes dues à la foudre sont plus précoces que celles des cataractes électriques "classiques".

Enfin, les premières altérations histologiques des cataractes dues à la foudre, vacuoles puis opacités cristalliniennes, sont identifiables aussi bien dans la capsule antérieure que dans la capsule postérieure. Mais la localisation sous-capsulaire postérieure est assez caractéristique des cataractes dues à la foudre. Dans l'ensemble, les cataractes, le plus souvent antérieures et postérieures, unilatérales (souvent du côté du point d'entrée) ou bilatérales (le plus souvent), se manifestent entre 1 mois et 24 mois après le foudroiement. Mais des cataractes quasi immédiates ou très tardives (11 ans après) peuvent s'observer. Bien que certaines cataractes légères puissent régresser spontanément, la majorité d'entre elles sont évolutives et il faut recourir à l'intervention chirurgicale.

Il faut insister sur la nécessité de faire un bilan ophtalmologique complet chez tout foudroyé ; l'examen au biomicroscope (ou lampe à fente) permet de rechercher des opacités cristalliniennes dès la phase initiale ; les examens seront répétés à intervalles réguliers pendant au moins 24 mois.

A noter qu'ont été décrits des troubles de la vision des couleurs (48).

L'avenir visuel des victimes de fulguration est menacé à la fois par une rétinopathie qui peut être responsable d'une baisse d'acuité visuelle définitive si l'atteinte est maculaire, et par une cataracte qui sera d'autant plus grave que l'atteinte cristallinienne est précoce.

#### **IV.H AUTRES MANIFESTATIONS CLINIQUES**

##### **1- Hypothermie (30)**

En haute montagne, la victime allongée au contact direct du sol froid, la présence de vent, l'humidité de la pluie ou de la neige, les vêtements mouillés et parfois brûlés par la foudre, ainsi que les délais d'intervention des secours parfois très longs, vont rapidement conduire le foudroyé dans un état d'hypothermie. De plus, si le blessé est dans un état grave, ses moyens de défense contre le froid sont amoindris par l'incapacité de se mouvoir et l'absence de frissons.

Les gelures des extrémités sont beaucoup plus rares et généralement superficielles. Elles peuvent être profondes lorsque les secours mettent plus de 24 heures à intervenir.

##### **2 - lésions chez la femme enceinte (2,23,28,42)**

A ce jour, seul un petit nombre de cas de foudroiement chez la femme enceinte est connu (11 cas publiés). Et si ces femmes enceintes foudroyées parviennent à survivre, elles perdent malheureusement leur fœtus dans un cas sur deux.

En effet le, fœtus court relativement plus de risques que la mère et c'est durant le troisième trimestre de la grossesse que les risques seraient maximaux. La mère convenablement réanimée peut survivre à un arrêt cardio-respiratoire ; en revanche, le fœtus n'a que très peu de chances de survivre, surtout si l'arrêt cardio-respiratoire a persisté dix minutes ou plus.

Parmi les onze cas publiés, les onze mères ont survécu. Cinq fœtus sur dix ont survécu et les mères ont donné naissance par la suite à des nouveaux nés viables. Parmi les cinq cas mortels, le foudroiement a généralement déclenché le travail avec expulsion (à terme ou proche du terme) de mort-nés ou d'enfants vivants mais rapidement décédés. Un seul cas de rupture utérine immédiate a été décrit. Le onzième cas est celui d'un enfant né normalement et survivant à la 24ème heure mais dont on ignore l'évolution.

PIERCE a relaté le cas d'une mère ayant accouché d'un mort-né, environ sept semaines après avoir été foudroyée.

**OBSERVATION  
PERSONNELLE**

## **V. OBSERVATION PERSONNELLE**

Nous rapportons le foudroiement survenu le 18/07/97 concernant Christophe, un adolescent âgé de 17 ans au moment des faits.

### **V.A Sur les lieux**

L'accident se situe à Fléville (Meurthe-et-Moselle) où vers 17 heures 20, Christophe est retrouvé inconscient sous un arbre. Devant l'état de mort apparente avec cyanose, une réanimation cardio-respiratoire par massage cardiaque externe et ventilation (bouche-à-bouche) est immédiatement débutée par le médecin généraliste de la commune, rapidement présent sur les lieux, et la maman. Les sapeurs-pompiers arrivent vers 17h30, suivis du médecin SMUR. Le jeune patient est toujours en arrêt cardio-respiratoire avec cyanose majeure, absence de perception des pouls et mydriase. C'est seulement après 5 minutes de réanimation intensive, que l'activité cardiaque reprend. Les pouls carotidiens sont alors perçus, le rythme cardiaque est sinusal régulier à 80/mn, la TA est à 154/68 mmHg ; le score de Glasgow est calculé à 5/15 (E1 V1 M3) ; les pupilles sont en myosis réactif et il est noté des brûlures cutanées de 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> degrés.

Un remplissage par cristalloïdes (Ringer Lactate® et NaCl), ainsi qu'une sédation par Hypnovel® s'effectuent par l'intermédiaire d'une voie veineuse périphérique, tandis que l'intubation est assurée par une sonde oro-trachéale n°8 permettant une ventilation artificielle par respirateur.

La victime, dont l'état hémodynamique se maintient, peut quitter les lieux vers 18h30, pour se rendre à l'Hôpital Central de Nancy où elle séjournera en réanimation médicale du 18/07 au 21/07 puis en secteur de convalescence (réanimation médicale annexe) jusqu'au 30/07/97.

## V.B Au niveau du service de réanimation médicale

### 1 - Clinique

— *L'état hémodynamique* reste stable durant tout le séjour.

— *Au niveau cutané*, les brûlures sont de 1<sup>er</sup> degré au niveau du front, du cuir chevelu, de l'abdomen, du pubis, et des deux membres inférieurs ; de 2<sup>ème</sup> degré superficiel au niveau du thorax ; représentant une surface corporelle totale brûlée d'environ 10%. A noter, un érythème congestif transitoire des chevilles.

Les brûlures cicatrisent correctement avec des pansements de Chlorexidine® et de tulle gras.

— *Au niveau neurologique* :

A 24 heures, après une ventilation assistée contrôlée intermittente (VACI), il est décidé de procéder à l'arrêt de la sédation permettant l'extubation. Christophe est alors conscient mais très somnolent, il répond correctement aux ordres simples, présente des mouvements spontanés des membres inférieurs, n'a pas de syndrome pyramidal mais une monoparésie du membre supérieur droit. Trois heures plus tard, l'examen clinique retrouve une anisocorie réactive à la lumière, avec mydriase droite et myosis gauche. Le reste de l'examen clinique est inchangé. Le scanner cérébral alors réalisé met en évidence un œdème cérébral diffus, sans signe d'engagement.

A J2, l'anisocorie est toujours présente, la monoplégie du membre supérieur droit est en régression pour disparaître complètement à 72 heures.

A J3, Christophe est conscient avec un score de Glasgow à 15, des pupilles intermédiaires réactives ; il présente une certaine désorientation temporo-spatiale, une incohérence des propos, un état d'agitation.

A J4, il faut ajouter, au tableau neurologique, une désorganisation des rythmes veille-sommeil qui persisteront à la sortie ainsi que quelques épisodes de

désorientation temporo-spatiale, un fond d'état confusionnel et des troubles mnésiques.

## 2 - Examens complémentaires

— *au niveau ophtalmologique :*

La consultation réalisée à la 24ème heure, devant une suspicion de corps étranger oculaire, retrouve une cornée correcte, un test à la fluorescéine négatif. Un traitement par collyre antiseptique (Vitabact®) est instauré jusqu'à l'extubation.

— *au niveau neurologique:*

Les troubles de la repolarisation initiaux (ondes T pointues en territoire latéral) s'amendent rapidement. A J1, est notée une petite souffrance ischémique en D2 et D3 ; l'échographie cardiaque transthoracique ne retrouve aucune trace de nécrose visible.

— Les *radiographies pulmonaires* d'entrée et de sortie sont normales.

— *Au niveau biologique :*

• L'hypokaliémie initiale modérée (K :3.3mEq/l) est compensée par l'apport de potassium.

• La fonction rénale est conservée.

• L'hémostase (TQ, TCA, Fg) est normale.

• Les enzymes cardiaques sont normalisées rapidement :

Enzymes / Dates	18/07	19/07 matin	19/07 après-midi	21/07
LDH (N=210à400)	566		754	494
CPK (N=25à220)	258	277	323	197
CPKmb (N=0à20)		43	36	23
Troponine Ic (0à0.5)				0.9

### 3 - Traitement

— La prise en charge initiale consiste en la poursuite de la sédation (Fentanyl®, Hypnovel®), de la ventilation assistée et du remplissage par cristalloïde (Ringer Lactate®) et hydroxyéthylamidon (Elohès®). Une alcalinisation des urines est réalisée avec du Bicarbonate à 14‰.

— Une sonde naso-gastrique est posée pour alimentation par 600 calories à J1, 1000 à J2, et 1500 à J3.

— Une sonde urinaire est également mise en place durant deux jours.

— La prévention des thromboses veineuses profondes est assurée par une injection sous-cutanée d'HBPM (Lovenox® 20mg), remplacée par un anti-agrégant (Aspégic® 100mg) lors du transfert en RMA.

— Du fait de l'œdème cérébral, un anti-œdémateux (Glycérone®) est instauré.

— Pour tenter d'améliorer les troubles du rythme veille-sommeil, sont prescrits des neuroleptiques (Tercian®, Haldol®) à visée sédative puis une benzodiazépine (Rohypnol®).

4 - Devant une évolution tout à fait favorable, Christophe quitte le service le 30/07/97 pour un retour à domicile, sous surveillance familiale appropriée, avec une ordonnance de Rohypnol® pour 4 jours.

### V.C Evolution

— A un mois (le 04/09/97), est réalisée une réévaluation psychiatrique qui retrouve un bon état général, un examen neurologique normal avec des épreuves de rapidité et de flexibilité mentale (Trail Making A et B) satisfaisantes. Il est noté une récupération du rythme de sommeil quelques



jours après la sortie, une amélioration des troubles mnésiques et des capacités de concentration.

— Christophe est maintenant au service militaire et n'aura finalement consulté son médecin généraliste que pour de simples contractures musculaires et des dorsalgies hautes.

# **TRAITEMENT CURATIF**

## **VI. TRAITEMENT CURATIF.**

### **VI.A Introduction (37,54)**

La prise en charge thérapeutique d'un foudroyé nécessite la collaboration de plusieurs intervenants : les témoins de l'accident, le SAMU, les services hospitaliers spécialisés, les services de rééducation.

Chaque étape du traitement doit s'attacher, avec le maximum de rigueur, à traiter les manifestations immédiates, à prévenir la survenue de complications, à défaut, les traiter et, enfin, à minimiser les séquelles.

Le traitement des victimes de la foudre n'ayant pas de spécificité particulière, il s'agit avant tout de manœuvres symptomatiques, dominées par l'urgence. Le foudroyé ne doit donc être transporté vers un centre hospitalier qu'après examen et réanimation sur place, par une équipe médicale (SAMU).

### **VI.B Traitement d'urgence.**

#### **1 - Logistique. (11,28)**

La mise en œuvre de secours rapides peut sauver une victime en détresse respiratoire, et permettre de limiter les complications et séquelles. Aussi, insistons sur l'intérêt fondamental pour les foudroyés de bénéficier d'une bonne chaîne de secours, pourtant parfois difficile à mettre en œuvre, du fait des circonstances de la fulguration. En effet, les secours d'urgence peuvent être rendus difficiles pour plusieurs raisons. Un certain nombre d'accidents se produisent dans des endroits éloignés de toute habitation, isolés en pleine nature, ce qui retarde la phase préhospitalière mais aussi l'arrivée en milieu hospitalier adapté. Les témoins (s'il y en a) n'ont malheureusement pas

toujours une expérience suffisante des premiers gestes d'urgence. En cas de foudroiement collectif (excursionnistes par exemple), l'affolement des personnes indemnes peut encore aggraver la situation. Les sauveteurs doivent, bien entendu, s'occuper en priorité des victimes inconscientes. Enfin, les conditions météorologiques sont parfois telles, que l'équipe de secours peut se trouver elle-même exposée à la fulguration .

## 2 - Les gestes d'urgence réalisés par un témoin secouriste (11,28,30,54)

La survie de l'accidenté est fonction directe de la précocité et de l'efficacité des secours. C'est de la conduite du premier témoin que dépend, en grande partie, le pronostic vital de la victime.

Porter secours à un foudroyé, c'est avant tout mettre le blessé dans les meilleures conditions dans l'attente des secours. En haute montagne, les gestes de secourisme n'ont pas la même efficacité que sur la voie publique. Le bon sens, la maîtrise de soi et surtout la chance, peuvent faire évoluer la situation favorablement. D'autre part, un message d'alerte cohérent peut raccourcir le temps d'évacuation. Cette alerte ne doit, en aucun cas, faire retarder la mise en route des gestes de survie.

Comme dans toutes les urgences, la priorité est d'assurer la liberté des voies aériennes, la ventilation et l'hémodynamique. Il faut mettre en œuvre une réanimation symptomatique en fonction de l'état de la victime ; pour cela, il faut évaluer ses fonctions vitales : conscience, ventilation et circulation. Un sujet foudroyé, retrouvé sans connaissance, ne respirant pas, doit être immédiatement traité par bouche à bouche ; si on ne palpe pas de pulsations carotidiennes, on doit y associer un massage cardiaque. Certains auteurs conseillent d'initier ce dernier par un vigoureux coup de poing précordial pour tenter de stopper le trouble du rythme. En montagne, avant de débiter le

massage cardiaque, il faut débarrasser le blessé de son sac à dos, enlever une partie des vêtements du haut du corps, et ensuite allonger le blessé sur un plan dur horizontal. L'absence de reprise de l'activité cardiaque et de la respiration sont de très mauvais pronostique.

La réanimation cardiorespiratoire peut sauver les victimes si elle est immédiatement mise en œuvre sur les lieux de l'accident. Elle doit être poursuivie jusqu'à l'arrivée des secours, ou la reprise de la conscience et de la respiration spontanée.

En plaine, le retard à débiter les manœuvres de réanimation est la principale cause des décès (75%) des arrêts cardiorespiratoires par électrocution.

En montagne, l'inconfort de la situation (blessé partiellement dévêtu, exposé au froid) et l'absence de compétence du compagnon de cordée (peu entraîné aux techniques de secourisme) rendent illusoire les chances de sauver un foudroyé en arrêt cardiaque.

De plus, il faut savoir que la reprise d'une activité cardiaque n'exclut pas le risque d'un deuxième arrêt cardiaque fatal. Cependant, tant que le pouls fémoral est palpable, il est impératif que le secouriste maintienne une bonne ventilation pour sauvegarder l'intégrité des fonctions cérébrales et cardiaques. Ce problème de réanimation trop prolongée, inefficace, voire dangereuse, ne se pose guère en montagne, puisque le compagnon de cordée tente de se mettre à l'abri, et alerte les secours par les moyens dont il dispose.

La mobilisation du patient doit être prudente du fait de la possibilité de lésions traumatiques associées (notamment atteinte du rachis).

En attendant les secours, il est essentiel de lutter contre le refroidissement de la victime. En effet, en haute montagne, davantage qu'en plaine, toutes les conditions de survenue d'hypothermie sont réunies, y compris les longs délais d'évacuation.

Une fois les secours médicalisés sur les lieux, le diagnostic précis des lésions pourra être fait, et un traitement rationnel appliqué.

Comme il n'est pas encore prouvé que le mécanisme initial d'un arrêt cardio-respiratoire soit plutôt l'asystole que la fibrillation ventriculaire, il est donc préférable de considérer le cas le plus grave que constitue une fibrillation initiale (donc CEE).

3 - L'examen médical sur le terrain et la conduite à tenir par l'équipe médicale de secours.

Que se soit sur le terrain ou à la consultation hospitalière initiale, le médecin doit se souvenir qu'un foudroyé est sûrement un électrisé, probablement un traumatisé, quelquefois un brûlé et un blasté, et parfois un hypotherme (30).

En haute montagne, se pose rarement le problème du triage des victimes de la foudre, en tenant compte de la gravité des lésions, les accidents survenant le plus souvent d'une manière isolée et rarement sur un groupe. Les éventuels témoins visuels sont une aide précieuse, car la victime souvent choquée, obnubilée et amnésique, ne peut rendre compte des circonstances de l'accident.

La conduite à tenir, dès l'arrivée du SMUR, n'est pas univoque du fait de la multiplicité des tableaux rencontrés. Quoiqu'il en soit, il faut évaluer les fonctions vitales (conscience, ventilation, circulation):

-Le niveau de conscience est rapidement apprécié

-L'efficacité ventilatoire est jugée sur la présence, l'amplitude, la fréquence et le caractère symétrique des mouvements respiratoires ; l'existence de cyanose ou de pâleur extrême, de sueurs ou d'encombrement.

-L'état hémodynamique est souvent évalué sur l'existence du pouls carotidien, sur la tension artérielle, la présence de signes de choc.

Deux cas se présentent alors, selon l'état de conscience :

a) La victime est consciente. (30,51)

L'évaluation de la mémoire récente donne une estimation de l'état de la conscience. Le foudroyé léger ne peut pas assimiler les informations et persiste à poser toujours les mêmes questions pendant l'examen.

L'examen physique du blessé se limite à l'essentiel, évitant de déshabiller la victime dans des conditions froides. Cependant, évaluer la surface et la profondeur des brûlures est important afin de pouvoir débiter rapidement une compensation volémique, voire décider l'orientation future. Dans ce cas, le déshabillage sera prudent en respectant les tissus adhérents puis une protection des lésions sera assurée par des champs stériles, au mieux par des champs stériles tissés avec un gel aqueux. De même, une alcalinisation par perfusion intraveineuse de sérum bicarbonaté à 14 pour 1000 est souhaitable. La foudre étant un courant à haute tension, les complications rénales d'une rhabdomyolyse peuvent ainsi être prévenues.

L'emploi d'antalgiques injectables et de sédatifs peut s'avérer nécessaire surtout chez certains sujets stressés, et pour assurer un confort optimum de la victime. Selon les équipes, seront administrés des analgésiques non morphiniques, des neuroleptiques, des benzodiazépines ou des morphinomimétiques.

b) La victime est inconsciente. (19,29,30)

Le score de Glasgow permet d'apprécier la profondeur du coma et de suivre l'évolution de l'état de conscience.

Le coma impose l'intubation oro-trachéale assurant la liberté des voies aériennes, et permettant une ventilation efficace et une bonne oxygénation par respirateur mécanique.

Il est important de mettre en œuvre, dès que possible, une surveillance précise de l'état électrique cardiaque par monitoring à la recherche d'un trouble du rythme ou d'une ischémie myocardique. La découverte d'une fibrillation ventriculaire nécessite une défibrillation sur place.

L'examen des yeux recherche une perte de réactivité ou une lésion traumatique. La présence d'une otorrhée ou d'une otorragie fait suspecter des lésions graves du crâne. Des brûlures évidentes sur la tête et aux pieds laissent craindre un foudroiement direct et des lésions gravissimes.

L'équipe spécialisée va souvent se trouver en face d'une victime en état de mort apparente : il faut alors poursuivre, ou mettre en place, une réanimation à l'aide de manœuvres essentielles : intubation trachéale, ventilation en O<sub>2</sub> pur, CEE, MCE, traitement médicamenteux, pouvant atténuer l'hypoxie et permettre le retour de l'activité cardiaque. Il faut insister sur le fait que cette réanimation doit être tentée, quel que soit le délai d'intervention après l'accident et qu'elle doit être poursuivie longtemps. Car selon Mac ILWRAITH (29), après une fulguration, assimilable à une décharge électrique intense, le métabolisme cellulaire est très ralenti, ce qui a pour conséquence que le processus dégénératif est, lui aussi, très fortement ralenti. Cependant, l'absence de réponse aux manœuvres répétées de réanimation doit inciter à suspendre les gestes de survie.

Les fonctions vitales préservées ou supplées, l'examen est repris et complété. Il recherchera des lésions associées : crâne, rachis, thorax, abdomen,



membres. Il appréciera l'étendue et la gravité des brûlures en faisant attention de ne pas les sous-estimer. Ces brûlures n'imposent pas de soins immédiats mais renseignent sur le trajet du coup de foudre, et peuvent malheureusement retarder encore le déplacement de la victime .

Cet examen plus approfondi conduira l'équipe médicale présente à instaurer un traitement d'attente plus spécifique : notamment remplissage vasculaire si brûlures étendues ou traumatisme associé ..., emballage stérile des parties brûlées,... Puis il faut s'occuper du transport de la victime, réalisé sur matelas coquille après relevage en bloc tête-cou-tronc. L'apport d'O<sub>2</sub> est nécessaire ainsi que la surveillance ECG.

Suspectant un état d'hypothermie, le blessé sera transporté avec précautions. Il sera laissé dans ses propres vêtements pour éviter un réchauffement brutal à l'arrivée à l'hôpital dans la vallée. L'évacuation par hélicoptère nécessite parfois de transporter le blessé sur une plate-forme d'où il sera chargé directement dans la cabine, le treuillage en bout de câble étant la cause fréquente de foudroiement direct de l'hélicoptère.

Après bilan médical transmis au régulateur du SAMU, le foudroyé sera dirigé dans un service d'accueil adéquat.

### **VI.C Traitement des lésions organiques. (19,28,33)**

En période préhospitalière, le contrôle des formes graves de foudroiement a été effectué de manière plus ou moins complète. Il est signalé des cas où la réanimation cardio-pulmonaire a dû être poursuivie au cours du transport. Dans d'autres cas, ce sont des sujets intubés, ventilés, perfusés,...

qui sont reçus en réanimation. Il faut donc continuer l'assistance respiratoire avec contrôle des gaz du sang, le contrôle du rythme cardiaque grâce au cardioscope ; mettre en route une surveillance biologique avec rééquilibration hydro-électrolytique éventuelle.

Les victimes de la foudre ne doivent être traitées qu'en milieu hautement spécialisé. L'hôpital d'accueil doit donc comporter une unité polyvalente de soins intensifs et les différentes spécialités médicales et chirurgicales requises par ce type de pathologie. Des équipements de radiodiagnostic tels que le scanner doivent être utilisables en urgence.

Tous les types de soins intensifs peuvent s'avérer nécessaires : respiratoires, cardio-circulatoires, métaboliques, etc.,.. en raison de phénomènes de blast, d'œdème pulmonaire suite à submersion, d'hypothermie. Des gestes chirurgicaux sont souvent urgents : contrôle des lésions traumatiques osseuses, cutanées, viscérales

Au cas où un foudroyé aurait été dirigé vers un centre hospitalier ne disposant pas de ces moyens, un transfert doit être envisagé dans les meilleures conditions, le plus précocement possible.

Le principe général à retenir est que tout sujet victime de la foudre même s'il n'a pas perdu connaissance, ou n'a subi qu'un simple choc sans ACR et n'est atteint que de lésions d'apparence minime, devra subir un examen médical minutieux en urgence (incluant un ECG) et être placé en observation au moins 48 heures en milieu hospitalier.

A l'hôpital, les examens cliniques et paracliniques doivent permettre le diagnostic positif, mais aussi étiologique des lésions dont les origines peuvent être plurifactorielles.

Les examens complémentaires sont orientés par le bilan lésionnel (électrisé, traumatisé, blasté, brûlé, hypotherme..) mais aussi par les spécificités des atteintes et leur possible évolution dans le temps. Un bilan biologique d'admission permettra déjà de rechercher les troubles suspectés :

insuffisance rénale, acidose, hypoxémie,... rhabdomyolyse (CPK,...), infection. L'étendue du bilan somatique ne doit pas faire oublier la prise en charge psychologique. Les complications de type névrose post-traumatique sont fréquemment décrites, surtout chez les sujets jeunes. L'impact psychologique est bien sûr lié à la soudaineté du traumatisme, mais se poursuit lors des premiers jours, sous la pression notamment de l'environnement médiatique.

Le traitement préventif anticoagulant est calqué, à priori, sur celui des électrisations. Il sera entrepris très précocement par HBPM, avec comme bénéfice attendu, la prévention des thromboses veineuses comme complication de décubitus, et, à moindre titre, la préservation au maximum de la perméabilité du capital artériel distal endommagé. Le risque hémorragique reste cependant présent. Un traitement anti-œdémateux assurera une protection cérébrale.

Les lésions organiques dues à un coup de foudre ont un traitement identique à celles d'autres étiologies.

—Ainsi le traitement cardiaque spécifique vis-à-vis de la nécrose est sans particularité. On luttera d'une part contre l'extension de la thrombose et d'autre part, contre l'apparition de spasmes artériels.

L'absence de pouls périphérique ou la mise en évidence de nécroses musculaires profondes conduisent à proposer une angiographie afin d'adapter une stratégie chirurgicale rapide (aponévrotomie de décharge, pontage, amputation) pour prévenir la survenue d'une gangrène gazeuse.

—Au niveau pulmonaire, les paramètres infectieux et inflammatoires (NFS, VS, PCR) seront surveillés afin de déceler au plus tôt les complications infectieuses (pneumopathie de déglutition, surinfection nosocomiale).

—Au niveau neurologique, les examens TDM, voire IRM seront utilisés afin de déceler, sur signe d'appel, d'éventuelles hémorragies, ischémies ou de

surveiller l'évolution de l'œdème cérébral. Ce dernier fera appel au traitement classique.

Les sujets présentant des séquelles neurologiques, souvent liées à un coma prolongé, bénéficieront de rééducation.

—Les lésions traumatiques éventuellement associées comme les fractures seront traitées de manière “conventionnelle” : réduction et ostéosynthèse si nécessaire.

—Les plaies seront nettoyées et parées chirurgicalement, la sérothérapie anti-tétanique effectuée si besoin.

—Au niveau ophtalmologique, le dépistage systématique et précoce de la cataracte est le seul garant d'une thérapeutique optimiste, sachant que le traitement chirurgical est suivi d'excellents résultats.

Les décollements de rétine nécessitent un abord chirurgical par voie postérieure pour permettre une cryocoagulation et une indentation des déchirures. En fin d'intervention, le FO doit montrer une rétine à plat, une chambre antérieure reformée, et un tonus satisfaisant.

Un traitement anti-hémorragique est la règle en cas d'hémorragie intrarétinienne (dicynone®, exacyl®).

La constatation d'une hypertonie oculaire impliquera le recours à des collyres et des traitements généraux par des inhibiteurs de l'anhydrase carbonique (Diamox®).

Le traitement inflammatoire local et général par dérivés cortisoniques est de règle en cas de “coup d'arc”.

Enfin, le traitement antibiotique local et général sera impératif en cas de perforation de la coque oculaire.

Certaines lésions, heureusement les moins fréquentes ne peuvent être sujettes qu'à constatation car sans traitement curateur actuellement défini : atrophie optique, infarctus occipital, paralysie de la musculature oculaire.

—Traitement des brûlures cutanées : (12,33,42)

L'examen clinique doit être complet, soigneux et écrit.

L'évaluation de la gravité des brûlures repose notamment sur : (12)

- le terrain de survenue : âges extrêmes (nourrissons, vieillards).
- la notion d'antécédent pathologique (diabète, ...).
- l'étendue des brûlures : surface supérieure à 10 % chez l'enfant ou le vieillard et à 15 % chez l'adulte.
- la profondeur des brûlures : toute lésion de plus de 3 % de 3ème degré.
- la topographie des brûlures : visage, voies aériennes, mains, pieds, ...

Le traitement de ces brûlures relève de l'intervention concomitante de moyens médicaux, chirurgicaux et paramédicaux.

Il associe une réhydratation à l'aide de substituts similaires à ceux utilisés dans les brûlures conventionnelles, adaptée au suivi clinique (diurèse horaire souhaitée) et biologique (protidémie, fonction rénale, pH urinaire,...) ainsi qu'une analgésie (par buprémorphine TEMGESIC®). Une vaccination antitétanique est réalisée si nécessaire.

Contrairement aux électrisations, on ne retrouve pas dans la littérature de description de lésions internes type brûlures profondes ou péritonite sur perforation d'organe creux. Cependant, lors d'un foudroiement, l'intensité et le lieu de passage du courant dans l'organisme étant le plus souvent difficile à déterminer, la plupart des médecins sont favorables au respect d'un jeûne de sécurité pendant la période initiale ; voire même la pose d'une sonde nasogastrique, permettant ainsi la vidange de l'estomac.

Une attention toute particulière est portée à la prévention des complications infectieuses. Elle passe par la lutte contre les surinfections locales et par l'éradication des tissus nécrotiques, la nécrose faisant le lit de l'infection. Les pansements sont effectués dans des conditions d'asepsie chirurgicale, et les germes de colonisation sont recherchés systématiquement par comptage cutané (dès le deuxième jour). Une antibiothérapie adaptée par voie générale sera entreprise si la densité des germes par cm<sup>2</sup> est  $\geq$  à 10<sup>5</sup> (pas d'antibiothérapie systématique à titre préventif en raison des résistances et de la sélection des germes qu'elle peut engendrer).

Pour le traitement chirurgical, l'indication d'une excision et d'une reconstruction précoces des lésions est reconnue par la plupart des auteurs (42). Il s'agit d'une excision comprenant la nécrose et la zone ischémique périphérique en passant largement en tissu sain. Ce geste potentiellement insuffisant vu que la frontière est difficile à définir, tant en étendue qu'en profondeur, est complété par une détersion enzymatique de sécurité à l'aide d'enzymes protéolytiques (fibrinolysine, désoxyribonucléase) en application locale tous les deux jours, ou par un complément d'excision. La couverture par autogreffe est reconnue comme la meilleure solution. Elle est réalisée après obtention d'un sous-sol correctement vascularisé sur le plan clinique. Le délai habituel est d'à peu près huit jours pour la constitution d'un bourgeon de bonne qualité en l'absence de surinfection et chez un sujet présentant un état nutritionnel satisfaisant. Les greffons sont prélevés au dermatome électrique (au niveau du tiers supéro-externe des cuisses). Dans le cas de figure où des tissus vasculo-nerveux ou ostéoligamentaires sont exposés, la règle reste une excision large avec couverture immédiate ou précoce par une peau bien vascularisée de type lambeau. Après la cicatrisation complète des greffons, la prescription de vêtements compressifs dans la prévention des cicatrices hypertrophiques est ordonnée et la rééducation entreprise. La kinésithérapie précoce joue un rôle primordial dans la conservation du potentiel fonctionnel.

Elle débute dès les premiers jours, par une mobilisation passive puis active. La réalimentation hyperprotidique et hypercalorique est entreprise per os dès que possible, démontrant un intérêt tant sur le plan du statut nutritionnel que sur la rapidité et la qualité de la cicatrisation.

#### **VI.D Surveillance et traitement à long terme (19,47)**

Les foudroyés survivants doivent être suivis en consultation sur une période de deux ans.

On conseille de faire systématiquement chaque année un bilan cardiaque (ECG), un bilan neurologique (scanner et IRM en cas de signe d'appel), d'autant plus répétitif qu'il existe une symptomatologie motrice ou sensitive initiale, un bilan auditif (audiogramme); et un bilan ophtalmologique (examen à la lampe à fente pour détecter une cataracte). On pensera également à rechercher d'éventuels troubles de l'humeur, des signes parfois précoces de syndrome de stress post- traumatique en voie de constitution. Il est donc important, y compris dans les cas bénins, de réexaminer le patient afin de rechercher des séquelles de manifestation parfois tardive.

En règle, l'évolution est favorable sans séquelle. Pourtant, à plus ou moins long terme, des prescriptions d'analgésiques, de polyvitamines, d'antiépileptiques, d'anxiolytiques ont pu être faites, exceptionnellement une rééducation pour séquelles à type de syndrome déficitaire, ainsi que la cure chirurgicale d'une cataracte, ou l'appareillage d'une surdité. (19)

S'il est bien informé sur la manière d'assurer la surveillance de son malade, le médecin généraliste semble être la personne la plus adaptée pour assurer le suivi au long cours du foudroyé ; d'autant que rien ne remplace la relation de confiance qui s'établit entre lui et son patient. (47)

## **VI.E Conclusion. (38)**

Les premiers secours sont du ressort des secouristes ou du médecin présents sur les lieux de l'accident. Il faut au plus vite contrôler les fonctions vitales.

Dans notre observation, les gestes élémentaires de survie pratiqués par le médecin généraliste et la maman de la victime ont permis le maintien en vie des fonctions vitales de l'organisme , en attendant l'arrivée du SAMU. Ces gestes ont décidé, à eux seuls, de l'évolution ultérieure de toute réanimation. Dans chaque situation, des actes de sauvetage exceptionnels ont été rapportés ; un MCE et une respiration artificielle par "bouche à bouche" appliqués immédiatement ont sauvé le malade.

L'exemple cité montre à quel point il est essentiel que l'enseignement du secourisme soit étendu à tout un chacun. L'arrêté du 14/02/92, traitant des consignes relatives aux premiers secours à donner aux victimes d'accidents électriques (dans le cadre de la protection des travailleurs), est un document de référence, sachant que les foudroyés sont avant tout des électrisés.



# PRÉVENTION

## VII. PREVENTION

### VII.A Introduction (26)

Concernant la protection des personnes contre la foudre en France, nous n'avons pas encore de norme (applications recommandées mais non obligatoires) et encore moins de recommandations (applications obligatoires). L'information du grand public est précaire : les idées reçues sont multiples et fantaisistes, la plupart des risques liés à la foudre sont méconnus ou minimisés. Ce retard dans notre pays, qui possède par ailleurs d'excellents scientifiques mondiaux dans le domaine de la physique des décharges, est surprenant.

Les principes de protection des personnes contre la foudre se déduisent très logiquement des caractéristiques physiques des courants de foudre, de la physiopathologie des foudroiements, et des données épidémiologiques et cliniques.

Le principe de base est simple : les personnes ne doivent jamais constituer une cible pour le courant de foudre, c'est-à-dire être la structure préférentielle du passage du courant de foudre, par exemple en constituant au sol une proéminence isolée par temps orageux. Il faut toujours essayer de trouver la situation de moindre risque.

Des recommandations de prudence en cas d'orage ont été diffusées :

- Dans le cadre des activités de l'Association Protection Foudre, membre du Conseil National de la Protection Civile et associée à la Société des Electriciens et des Electroniciens par une convention de coopération.
- Dans le cadre de diverses publications adaptées aux publics concernés par les secours d'urgence et la prévention, médecins et ingénieurs.

## VII.B La société météoorage. (7,36,44)

La détection précoce du risque de foudroiement reste le premier moyen de prévention, permettant de prendre des mesures de sécurité appropriées.

La société météoorage, créée en 1987, exploite, en collaboration avec météo-France, un réseau de détection et de surveillance des orages qui couvre les territoires français, suisse, et zones limitrophes.

### 1 - Mode de fonctionnement du réseau de détection.

Lors d'un éclair nuage-sol, chaque décharge émet une onde électromagnétique qui se propage en suivant le sol sur des centaines de kilomètres. Le principe de localisation de l'éclair repose alors simplement sur la captation, par des stations de détection (il en existe 16 en France), des signaux électromagnétiques émis.

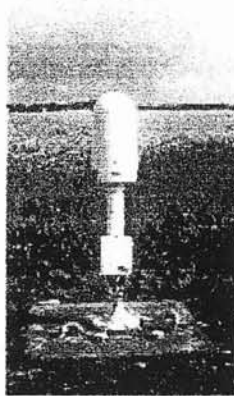


Fig.16 : Station française de détection de la foudre, faisant partie du réseau Météorage.

Lorsqu'une station capte un signal, elle compare sa forme d'onde à un modèle caractéristique des éclairs nuage-sol pour éliminer les éclairs intra-nuage et les parasites. Ensuite, elle calcule la direction de l'éclair et transmet les

informations recueillies au centre opérationnel Météorage qui peut alors calculer la localisation de l'impact de foudre (avec une précision de l'ordre de 2 à 3 Km), son amplitude, et ses caractéristiques électriques (polarité.....). L'efficacité de détection atteint 90%.

## 2 - Applications et prestations de Météorage

Tous ceux pour qui la foudre représente un danger soit directement, soit indirectement par les perturbations électriques qu'elle engendre, font appel aux services de Météorage soit en temps réel, soit en temps différé, soit en mode prévention.

### \* en temps réel

Le réseau Météorage permet de surveiller 24 heures sur 24 l'évolution de la situation orageuse en France. Il est donc possible de prévenir les abonnés "en temps réel " dès qu'une zone orageuse s'approche de leur installation.

Cette surveillance peut être réalisée automatiquement grâce à un simple PC, connecté au calculateur central, sur lequel les abonnés suivent le déplacement des orages. Ils sont ainsi en mesure de couper ou d'isoler leurs installations sensibles ; le but étant d'éviter les importantes perturbations et dégradations provoquées par la foudre sur notre vulnérable environnement technologique.

Les principaux utilisateurs de ce service "temps réel" sont :

—Les industries chimiques qui doivent interrompre certaines manipulations de produits sensibles par temps d'orage.

—Les industries qui utilisent des automatismes sensibles aux perturbations électriques ;

—L'EDF

—France Télécom, afin d'assurer une qualité de service en détectant les lignes en dérangement avant même que les abonnés ne s'en aperçoivent.

#### \* En temps différé

Les données en "temps différé" représentent un service d'alerte qui, par simple appel téléphonique, signale aux abonnés que les fronts d'orage se trouvent dans un rayon de moins de 30 Km autour de leur site.

C'est important pour les gestionnaires de parcs de loisirs, de golf, d'aéro-clubs, mais aussi pour les grands chantiers de travaux publics.

#### \* En mode "prévention"

Les données en "mode prévention" se retrouvent sur une carte des impacts que fournit Météorage, permettant alors d'étudier des protections adaptées à la fréquence et à l'intensité des impacts.

Les mesures de protection contre la foudre peuvent se déduire à l'égard du sujet isolé dans un orage, que se soit en campagne, en haute montagne, dans une habitation ou dans un véhicule.

### **VII.C En campagne (26,30)**

Lorsque l'orage gronde, il convient de garder son calme et de prévoir de s'abriter, non pas de la pluie ou de la grêle, mais du passage du courant à travers le corps.

En l'absence d'abri sûr, il faut chercher à s'éloigner des structures en hauteur et en particulier, ne pas se réfugier sous un arbre, d'autant plus qu'il est isolé et de grande taille. Néanmoins, dans certaines conditions bien définies, se placer à quelques mètres du tronc d'un arbre (en fait, en fonction de sa hauteur) peut être une façon efficace de ne pas se faire électrocuter, sachant qu'autour d'une structure reliée à la terre, il existe un périmètre de protection, zone pouvant servir d'abri.

Les hangars de fortune sont à proscrire, de même que les granges et les chapelles isolées.

Il ne faut pas porter d'objets métalliques dépassant le tête ou une épaule : parapluie, club de golf, outil de travail, canne à pêche, fusil.....Le métal n'attire pas la foudre, mais toute proéminence, en matériau bon conducteur, expose au foudroiement. Il est préférable de placer ces objets métalliques à quelque distance de soi, y compris les bijoux ou accessoires métalliques divers (lunettes, sonotones, ...).

Il ne faut ni courir, ni faire de grandes enjambées.

Il faut s'écarter de toute structure métallique, installation électrique (clôtures métalliques, poteau télégraphique, poteau ou pylônes de lignes électriques).

Les personnes en groupe doivent respecter entre elles une distance suffisante, 2 à 3 mètres ; on évitera ainsi un éclair latéral se propageant d'une personne à une autre. Cette position est aussi à mettre en pratique si l'on se trouve dans une habitation non protégée, isolée.

Il est particulièrement dangereux d'être debout, représentant la seule aspérité au sol, car la foudre risque de "choisir" le corps humain comme chemin de moindre résistance. Le mieux est de se mettre en position dite de sécurité, à savoir : position accroupie ou assise, tête rentrée entre les épaules, genoux relevés, pieds et jambes joints, bras autour des genoux. La tête et le thorax ne doivent pas toucher le sol (ou une paroi). En s'enroulant sur soi-même, on limite la différence de potentiel entre les différents points du corps et on diminue ainsi les effets de la montée du potentiel de terre ; on réduit également le risque de coup de foudre direct (pas de saillie). On sera encore mieux protégé si l'on se place dans cette position au fond d'un fossé, d'un vallon, à condition que ces endroits ne soient pas envahis d'eau.

Si l'on dispose d'un ciré, ou de toute autre pièce en matière plastique, on l'étalera sur le sol avant de se pelotonner dessus.

Plusieurs coups de foudre pouvant se succéder, et frapper la même zone, il est recommandé de rester dans cette position tant que le danger persiste.

Il apparaît prudent de se renseigner sur la météorologie avant d'entreprendre des excursions et certaines activités extérieures que se soit du domaine des sports, des loisirs ou du travail. En effet, certains sports sont particulièrement dangereux par temps d'orage : vol en deltaplane, parapente, parachute, planche à voile, natation, canyoning, cyclisme, golf, sports de montagne comme l'alpinisme (détaillé dans le chapitre VII.D) mais aussi des activités telle que : pêche, promenade en bateau, randonnée. Il est également recommandé de ne pas entreprendre de travaux agricoles, électriques, de réparation de toiture, ...

## **VII.D En haute montagne (26,30,38)**

### 1) Les mesures de prévention (préparation)

L'alpiniste doit se méfier de l'orage. Une sortie en haute montagne est donc à préparer soigneusement, avec consultation de la météorologie, choix des zones géographiques et de l'équipement.

#### a - Météorologie

Eviter de pratiquer l'alpinisme lorsqu'il y a un risque d'orage semblerait être la mesure de prudence la plus élémentaire, sachant qu'il existe parfois des changements atmosphériques soudains. Certains sont prévisibles par les centres de météorologie qui donnent des bulletins prévisionnels répétés, avec des indications locales précises. En France, les renseignements sur l'activité orageuse peuvent être obtenus auprès du réseau national Météorage (3617 Météorage, par minitel).

Seul l'alpiniste, engagé dans de grandes courses, ou ayant pris du retard, peut être surpris par l'orage de fin d'après-midi.

La plupart des accidents de la foudre surviennent la nuit ou au petit matin. C'est l'arrivée d'un front froid, succédant à un orage de fin de journée, qui est la principale cause des accidents de la foudre en montagne. Ce front froid transforme brutalement le climat estival en conditions hivernales rigoureuses : baisse rapide de la température (entre 0° et -10°), chute de neige fine (grésil) accompagnées de bourrasques de vent, visibilité réduite. Dans de telles conditions, l'arrivée des secours est toujours très tardive.



## b - Choix des zones géographiques

En montagne, il serait raisonnable de choisir des zones de courses en peu exposées au risque de foudroiement. Dans le seul massif du Mont-Blanc, certains sommets comme les Drus, le Crépon, ou la Dent du Géant, ont la fâcheuse réputation d'attirer la foudre. Dans les aiguilles de Chamonix, la situation avancée du Peigne l'expose aux premiers coups de foudre du massif.

## c - Equipement

—Vêtements et accessoires.

Avoir sur soi un équipement vestimentaire de haute montagne, comprenant des vêtements légers, chauds, et ne retenant pas l'humidité. Ne pas porter d'objets ou bijoux métalliques sur soi (lunettes avec montants métalliques, bagues, alliances, chaînes, montre, boucle de ceinture, fermeture éclair et pièces de monnaie), car leur fusion provoque des brûlures parfois invalidantes. A l'approche d'un orage, il faut se couvrir de vêtements secs, protégés de la pluie par une veste imperméable. Le port du casque en polycarbonate est impératif, non pas en prévision des impacts directs de la foudre, mais comme moyen de prévention des traumatismes crâniens causés par une éventuelle chute.

—Matériel

L'altimètre, la boussole et le matériel technique inutile à la progression (descendeur, mousqueton,...) doivent être mis dans le sac à dos.

La mise hors d'usage du poste émetteur-récepteur (ou du téléphone portable) serait catastrophique en cas d'alerte à donner. Il est primordial de protéger ce

moyen indispensable de liaison avec les secours d'une décharge électrique intense. Il sera placé de préférence au centre du sac à dos, entouré de vêtements volumineux, genre veste de duvet. Une protection spécifique pour ce type d'appareil mériterait d'être étudiée.

A l'approche d'un orage, les mesures de prudence en progression encordée doivent être renforcées : points d'assurance plus rapprochés, relais parfaitement protégés, sécurité accrue dans les manœuvres de cordes.

## 2) Les mesures de protection (sur les lieux)

De simples mesures de protection des courants de terre, une sécurité renforcée, parviennent à limiter la gravité des accidents. Il semble impératif de diffuser aux pratiquants de la montagne les règles élémentaires de protection contre la foudre ; ainsi, la foudre devrait progressivement perdre son image de fatalité qui illustre immanquablement tous les récits de tragédie en montagne.

Il faut savoir reconnaître les prémices d'un foudroiement :

- formation de masses de nuages orageux ;
- manifestations de l'effet de couronne : effluves crépitantes sur les pointes, « bourdonnement d'oreilles », cheveux qui « tirent » et se hérissent ;
- temps écoulé entre éclair et coup de tonnerre (il ne faut pas attendre qu'il soit réduit à trois secondes).

Si la foudre semble imminente ou se manifeste dans les proches environs, le meilleur moyen de ne pas être foudroyé est de ne pas s'attarder sur un sommet, sur une arête, une saillie importante, un endroit plat dégagé. Il

faut s'en éloigner le plus vite possible, en évitant les impulsions de panique qui consistent à fuir de manière désordonnée.

En haute montagne, il est très difficile de s'abriter, mais il faut s'attacher à rechercher un emplacement protégé des impacts directs et des courants de terre. Une pente enneigée, ou la partie inférieure d'un éboulis met à l'abri des coups directs ; de même un replas, une pente, ou une légère proéminence, dominés par un point haut proche. Un petit bloc isolé, utilisé comme siège, constitue un bon refuge en isolant le corps des courants de terre, à condition, bien sûr, de ne pas constituer une saillie sur une surface unie (cf.fig.17). Il faut se placer dans une zone située autour d'une éminence, dans un rayon égal à celui de la hauteur de ce point haut (qui doit être au moins 5 à 10 fois la hauteur du sujet accroupi) et se placer à au moins un mètre de la paroi. On y adoptera la position dite de sécurité (cf.fig.18). Il faut que l'emplacement choisi soit sec, sans lichen, loin des zones humides. Il faut toujours se méfier des fissures humides par lesquelles des courants de sol peuvent s'écouler. Les anfractuosités du terrain ou les grottes doivent être suffisamment spacieuses pour permettre de s'asseoir à plus d'un mètre des parois et d'avoir trois mètres découverts au-dessus de la tête. Dans ce type d'espace, souvent restreint, les distances d'isolement d'une personne à une autre ne sont que très peu respectées.

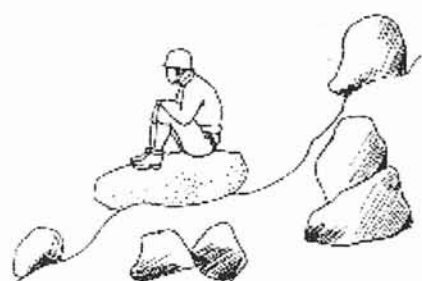


Fig.17 : Position d'attente sur un éboulis.

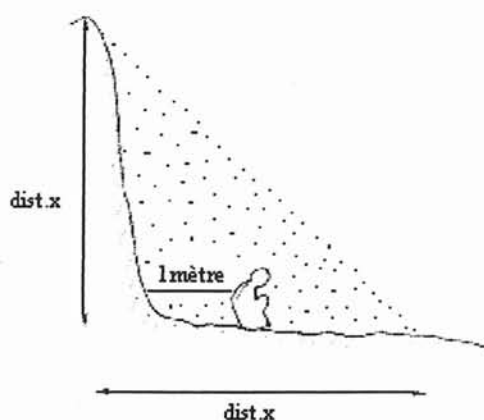


Fig.18 : Zone abritée d'un impact direct, au pied d'une paroi montagneuse.

Il est recommandé de s'isoler du rocher ou du sol au moyen de tout matériel isolant dont on dispose comme par exemple, sac à dos, corde d'attache, chaussures caoutchoutées non cloutées, vêtements, surtout s'ils sont maintenus secs. Une pierre plate, juste assez large pour s'asseoir et y placer aussi ses pieds est également une bonne protection, à condition d'être détachée de la masse rocheuse avoisinante ou d'être située au milieu d'un éboulis (cf.fig.17). Ne pas se plaquer contre la face d'un à pic car on risquerait un accident par tension de pas ou de toucher.

L'alpiniste pris par l'orage sur une vire est exposé à une chute en cas de perte de connaissance ou de contractions musculaires incontrôlées. Il doit être parfaitement arrimé à la paroi par un ou plusieurs points d'ancrage (cf.fig.19). Le point d'attache doit être proche pour réduire le gradient de potentiel le long de la corde, et le sujet en tension sur plusieurs brins de corde ou sangles, pour éviter un risque d'arrachement en cas de projection. Il apparaît obligatoire de s'encorder à la taille sur le cuissard, sans mousqueton intermédiaire, seule véritable prévention de traumatisme grave au cours d'une chute. Il est impératif de ne pas constituer un circuit électrique en plaçant simultanément les mains et les pieds au contact de la paroi rocheuse.



Fig. 19 : Position recommandée pendant un orage.



Fig. 20 : Descente en rappel

En cas d'orage imminent, une descente en rappel se révèle le seul moyen de fuite. Des précautions simples sont à prendre : utiliser une corde de rappel, sèche, laisser pendre les objets métalliques accrochés au sac (piolets, crampons), placer une auto-assurance, éviter de toucher le descendeur, et descendre les pieds en position rapprochée. En cas de coup de foudre, la victime sera retenue au rappel, et pourra être secourue par le compagnon de cordée.

Se débarrasser des objets métalliques et rester à distance de ceux-ci est l'idéal, mais dans l'impossibilité de le faire, ils peuvent être attachés sur le sac à dos, en évitant que les extrémités dépassent la tête, comme c'était le cas des anciens piolets de grande taille, ou de skis portés sur le sac (cf.fig.21). Il ne faut cependant jamais se débarrasser définitivement d'objets ou appareils indispensables, car l'alpiniste est alors dans une situation très dangereuse après l'orage, quand il faudra descendre dans la vallée.

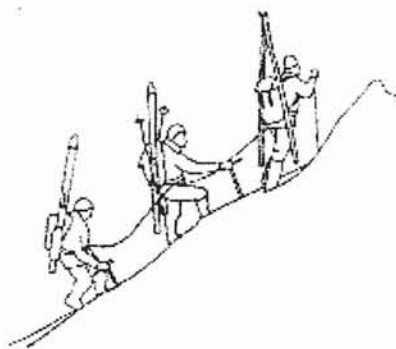


Fig.21 : Situation d'exposition aux coups directs.

## **VII.E Dans une habitation.**

### **1) Recommandations.**

Les bâtiments avec une enveloppe conductrice permettant l'élimination des décharges électriques vers le sol (bâtiments en béton armé, avec carcasse métallique, paratonnerre), sont des lieux protégés de la foudre. Néanmoins, on évitera toute possibilité de courant d'air, d'utiliser des appareils électriques (sèche-cheveux, ...) mais aussi le téléphone (sauf pour appeler des secours d'urgence). Il faudra aussi éviter tout contact avec des canalisations métalliques (ne pas prendre de douche). Il est sûr que les antennes de télévision ou de radio sont une façon non négligeable d'attirer la foudre ; il est d'ailleurs préférable de débrancher la télévision.

Les dégâts occasionnés aux installations électriques sont en règle spectaculaires, et ne répondent à aucune explication (le rôle des fusibles et disjoncteurs est souvent nul).

Il est à noter que les tentes de camping habituelles ne peuvent protéger que contre un coup de foudre direct.

### **2) Les dispositifs de protection.**

#### **a - Principes généraux (26,19)**

Le premier risque subi par une installation quelconque à l'approche de la foudre est l'impact direct. Généralement, cet événement aléatoire doit être maîtrisé. C'est ce que l'on appelle la protection primaire, qui fonctionne de deux manières :

- soit attirer la foudre sur un point précis
- soit l'éloigner au large du site à protéger.

Les dispositifs visant à attirer la foudre consistent en la mise en place de paratonnerres ou de cages de Faraday. Ils ont en commun d'élever en altitude le potentiel du sol et de créer alors un site favorable au démarrage de la décharge de capture et de dévier de son parcours aérien la décharge descendante.

La protection primaire la plus naturelle peut être offerte par un arbre dominant une zone bâtie et si l'arbre n'est pas trop proche, afin d'éviter un risque de décharge latérale non contrôlable.

A l'opposé, il est possible d'empêcher l'impact de la foudre par la réalisation sur le bâtiment à protéger de conditions électriques ne permettant pas aux décharges de capture de se développer (création d'écrans de charges positives). Un exemple de ce type de protection est l'écran à pointes multiples.

Le choix du système de protection primaire dépend de la nature de la zone à protéger, de ses dimensions et du coût à la fois du système de protection et de l'installation à protéger.

b - Dispositifs attirant la foudre. (19,38,44)

\* les paratonnerres

— La tige de Franklin : inventée en 1753 par Benjamin Franklin pour protéger les édifices contre la foudre, le paratonnerre se compose d'une tige de fer de 8 à 10 mètres de long, dressée verticalement au dessus du bâtiment à protéger. Cette tige se termine à son extrémité supérieure par une pointe en platine ou en cuivre doré, et est reliée à la terre par un gros câble de fil de fer (cf.fig.22).

Sa zone de protection est limitée à un cône ayant pour rayon de base l'altitude de la pointe. Sans utiliser des paratonnerres de hauteur excessives, on pourra protéger efficacement des bâtiments étendus en les surmontant de pointes de hauteur moyenne dont les cônes de protection se recouvriront partiellement. On peut en faire une analogie avec la présence d'arbres élevés à proximité des constructions (cf. fig.23).

La tige de Franklin présente un amplificateur du champ électrique au sol tel qu'une décharge ascendante puisse y prendre naissance. La capture de la décharge descendante permet l'écoulement à travers la pointe et la descente à la terre du courant de l'arc en retour.

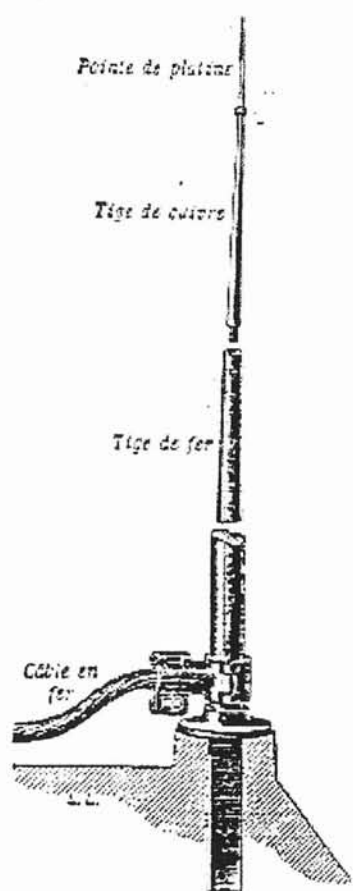


Fig. 22 : Tige de Franklin



Fig. 23 : Zone de protection.



— Les paratonnerres radioactifs :

Proposés dès 1914, ils bénéficièrent de plusieurs hypothèses d'action (d'ailleurs toutes réfutées) dont la plus récente date de 1975 environ : les rayons  $\beta$  ou  $\gamma$ , ionisant l'atmosphère, la rendent plus conductrice au voisinage d'une tige classique de Franklin et donc favorisent le déclenchement du traceur ascendant.

Mais, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1986, devant l'inefficacité de ces dispositifs et devant le risque de dissémination des produits radioactifs, la fabrication des paratonnerres radioactifs est interdite en France.

— Paratonnerres à dispositifs d'amorçage («PDA») :

La mise au point méthodique de ces nouveaux paratonnerres a été entreprise à partir de 1984 et la vérification de leurs performances en laboratoire à partir de 1991.

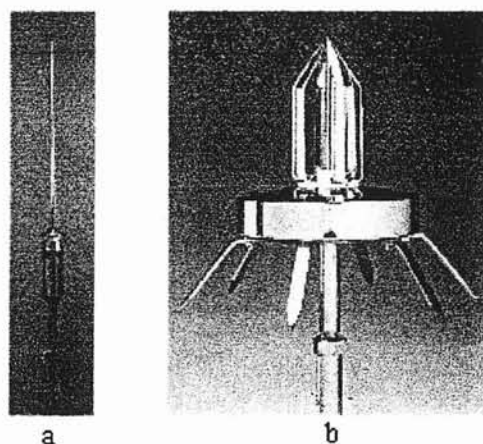


Fig. 24 : Deux modèles de "PDA"  
a) Dispositif à effet de couronne piloté  
b) Dispositif à étincelles

L'idée est d'appliquer à la pointe de Franklin des trains d'impulsion de haute tension (de l'ordre de la dizaine de milliers de volts). Une autre version consiste à générer des étincelles répétitives entre de petites électrodes auxiliaires et la pointe de Franklin. L'énergie nécessaire à leur alimentation

est puisée dans l'espace voisin, à l'aide de capteurs de champs, et est convertie en impulsions par une électronique appropriée.

Lorsque le dispositif auxiliaire est en fonctionnement, l'analyse du développement des traceurs ascendants met en évidence une avance à la formation de la décharge ascendante. Cette avance au démarrage a pour conséquence, dans le cas réel de la protection d'un édifice, une plus grande longueur de développement du traceur ascendant au moment de sa rencontre avec le traceur par bonds venant du nuage. Tout se passe comme si la distance d'amorçage et donc la zone de protection du paratonnerre étaient accrues.

\* Les cages maillées.

— Le paratonnerre Melsens : il est plus élaboré que la tige de Franklin . Il s'agit d'envelopper un édifice d'une sorte de cage conductrice formée de barres métalliques, les unes verticales, les autres horizontales, étroitement reliées entre elles, et en parfaite communication avec la terre. Comme pour le paratonnerre de Franklin, il sera bon de mettre en relation avec la cage conductrice, les grosses pièces de fer du bâtiment, ainsi que les canalisations de gaz ou d'eau qui y pénètrent.

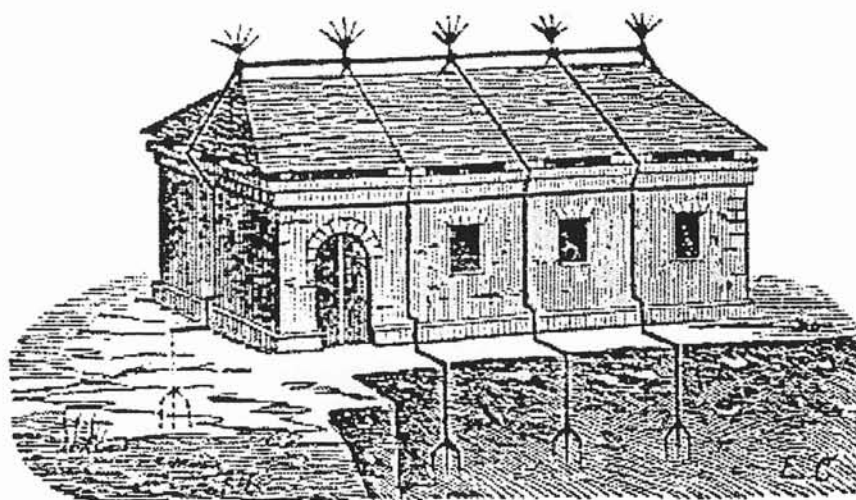


Fig. 25 : Paratonnerre Melsens.

— La cage de Faraday : c'est la reprise du paratonnerre Melsens. C'est une enceinte fermée, constituée de métaux en feuilles, en barres, ou en fils, et dans laquelle, du fait de la haute conductibilité électrique du métal, aucun champ électrique ne peut pénétrer ; c'est l'idéal théorique de protection contre la foudre. Mais il apparaît évident que la protection par cage maillée ne concerne que la structure enserrée et non son environnement. D'ailleurs, si la cage de Faraday est correcte, la sécurité existe pour les personnes situées à l'intérieur, même en l'absence de prise de terre satisfaisante.

Le choix entre paratonnerre et cage de Faraday est avant tout économique mais peut également être esthétique.

c - Dispositifs éloignant la foudre

Ils seront détaillés dans la partie VII.G car ils concernent davantage les installations professionnelles que les habitations.

### 3) La protection secondaire

Elle consiste à protéger les installations électriques contre les phénomènes secondaires entraînés par le transport guidé où rayonnent des champs électromagnétiques générés par l'éclair de foudre.

Ce nouveau domaine d'application n'est apparu qu'au début du XXème siècle avec l'invention des premiers parafoudres.

a - principe de surtension :

En cas de foudroiement d'une ligne moyenne tension, le courant de foudre se propage sur la ligne provoquant une surtension locale qui, bien

qu'atténuée par l'effet de couronne et les microdécharges au niveau des isolateurs, serait encore supérieure à 150 Kv au niveau du transformateur s'il n'y avait pas, aux bornes de celui-ci, un dispositif de protection capable de faire passer à la terre le courant de foudre direct ou induit.

b - composants de protection :

Connus sous le terme générique de "parafoudre", ce sont donc des systèmes installés juste avant les appareils à protéger.

— Eclateur à gaz raréfié : Il est constitué d'une enceinte hermétique remplie de gaz et munie de plusieurs électrodes. Monté entre la ligne à protéger et la terre, il a pour effet d'écouler l'énergie destructrice de l'éclair vers la terre dès que la surtension apparaissant sur la ligne est suffisante pour amorcer le gaz entre les électrodes. Après le passage de la surtension, l'éclateur reprend son état de repos, isolant à nouveau la ligne de terre.

Sur le même principe, il existe des éclateurs à air, des éclateurs à gaz pressurisé.

— varistance : lorsqu'elle est soumise à une brutale élévation de tension, la varistance voit son impédance passer d'une valeur élevée à une valeur très faible, limitant ainsi l'accroissement de la tension. L'énergie se répartit selon les lois classiques de l'électricité entre le circuit lui-même et la varistance.

A l'arrivée d'une surtension transitoire, l'énergie absorbée par la varistance est convertie en chaleur. Le corps de la varistance étant composé de centaines de milliers de grains d'oxyde de zinc uniformément distribués, la génération et la diffusion de la chaleur sont réparties dans les trois dimensions, ce qui minimise la température de crête et permet à la céramique de supporter des densités d'énergie situées entre 100 et 300 Joules par cm<sup>3</sup>.

— autres composants :

Nous ne ferons qu'en citer deux : •diode Zener

•filtres de réseau.

## **VII.F Dans un véhicule (19,26,28,38)**

### 1) La voiture

Elle peut constituer un abri sûr si elle est fermée, à carrosserie entièrement métallique, non décapotable, antenne radio ou de téléphone étant rabattue. Elle constitue alors une cage de Faraday isolée du sol par les pneumatiques. Néanmoins, il faut éviter de toucher une partie métallique.

### 2) Les avions

Ils sont souvent atteints par la foudre mais les passagers sont à l'abri s'ils ne touchent pas une zone métallique. Les installations radio et électriques sont, par contre, souvent endommagées.

### 3) Le bateau

Il protégera ses passagers si le mât, véritable paratonnerre, est en continuité avec la mer (constituant la masse) ou bien si ce bateau possède une coque métallique.

A l'inverse, nager ou naviguer sur une petite embarcation non protégée, est une situation potentiellement mortelle. Pour ceux qui sont surpris par un orage à bord d'un bateau ouvert (barque, voilier), non équipé de système de protection contre la foudre, il est urgent que navigateur et bateau ne

constituent plus les seules structures faisant saillie sur une vaste étendue d'eau. Si le temps est trop court pour gagner le rivage, il faut alors essayer de trouver un abri sous une falaise, un pont ou une estacade.

#### 4) les trains

De même que les avions, les trains sont un abri sûr.

#### 5) Une bicyclette

Peut faire une cage de Faraday improvisée, sous laquelle on peut s'abriter.

### **VII.G Protection des installations professionnelles (19,21,38)**

C'est ici que nous allons parler des dispositifs dont le principe est fondé sur la répulsion de la foudre.

Lorsque la probabilité d'impact est élevée, comme par exemple au niveau d'une tour de télécommunication isolée sur un point haut, une protection alternative tend à diminuer ce risque.

Ce dispositif se compose de panneaux de grande surface garnis de nombreuses pointes destinées, sous l'influence du champ électrique naturel, à émettre des charges par "effet corona". Ces pointes activées produisent alors un écran de charges positives dont le rôle est d'empêcher l'apparition d'un champ élevé lors de l'approche d'un précurseur descendant. Mais, dans la pratique, l'expansion de la charge d'espace créée par un panneau multipointes demeure limitée et l'effet du vent est non négligeable sur la régulation de cette charge d'espace.

Un autre dispositif repoussant la foudre est la classique ligne horizontale de masse. On la rencontre sur les lignes à haute tension où elle domine les conducteurs de phase, et sert de paratonnerre le long de la ligne. Ce conducteur de foudre est relié à la terre à chaque pylône.

Le même principe est appliqué pour la protection de bâtiments longs et bas. On dispose au-dessus des bâtiments, une ligne horizontale supportée par des poteaux extérieurs reliés à la masse. Une des explications est que, présentant un champ électrique élevé, cette ligne s'entoure d'une charge d'espace, inhibant ainsi le démarrage d'une décharge de capture.

Rappelons ici la protection nécessaire des réseaux de transport et de distribution du courant électrique. La foudre, sur ces lignes, peut tomber directement sur les conducteurs, les pylônes, ou simplement à leur voisinage (induction de surtension).

L'EDF étudie en permanence les moyens de diminuer ce risque de fulguration de ses installations : étude du tracé géographique, des lignes, architecture des pylônes, disposition des fils, éclateurs...

**DONNÉES ÉPIDÉMIOLOGIQUES  
STATISTIQUES**



## VIII. DONNEES EPIDEMIOLOGIQUES - STATISTIQUES

@ Un à deux millions d'impacts au sol sont enregistrés chaque année.

@ Le recensement des victimes de foudroiements s'avère très difficile ; néanmoins, le nombre annuel moyen de foudroyés en France est estimé à une centaine, avec d'importantes fluctuations d'une année à l'autre.

@ Si l'on se réfère aux publications médicales spécialisées, il existe donc environ 100 foudroyés par an, en France, dont 10 % décèdent. Effectivement, d'après les statistiques nationales de mortalité fournies par l'INSERM, 10 personnes sont tuées chaque année par la foudre. Une sous-estimation est cependant probable car si la mention "foudre" n'est pas signalée dans le certificat de décès, il est certain que le décès concerné ne figurera pas parmi les accidents dus à la foudre. Les foudroiements mortels représentent, en France, 7 à 10 % des décès d'origine électrique. Concernant les foudroyés survivants, une sous-estimation est là aussi certaine car nombreux sont ceux qui échappent à notre connaissance, en particulier ceux qui ont des conséquences initiales bénignes (certains foudroyés ne consultent pas, ou du moins, pas immédiatement).

@ La prédominance des victimes de sexe masculin est nette (8 cas sur 10).

@ L'âge des victimes est variable ; mais il existe une majorité d'adolescents et d'adultes jeunes.

@ Des séquelles sont observées parmi 70 % des survivants.

## **CONCLUSION**

## IX. CONCLUSION

Terrifiante et majestueuse, la foudre est le plus destructeur des phénomènes naturels. Elle est l'aboutissement de phénomènes météorologiques complexes, capables de délivrer une puissance énorme de façon ponctuelle.

Nous avons vu que le nuage orageux transporte des charges électriques qui sont la source de phénomènes d'éclairs ou décharges atmosphériques à l'origine de nombreuses lésions dont certaines menacent le pronostic vital. La foudre entraîne plusieurs dizaines de victimes chaque année et reste potentiellement mortelle (environ 10 décès par an). On recense de l'ordre de 100 nouveaux cas annuels en France. La nature et la sévérité des lésions engendrées par un coup de foudre dépendent de plusieurs paramètres que seul un interrogatoire minutieux de la victime ou des témoins permet de recueillir. Se trouver face à un foudroyé est une véritable urgence qui nécessite la pratique de gestes de secourisme précis et une prise en charge médicale. Il est essentiel, pour en limiter les conséquences, de poursuivre les efforts d'information sur les risques d'un coup de foudre, ainsi que les efforts de formation aux gestes de survie. Le médecin, quant-à-lui, doit se souvenir qu'un foudroyé est sûrement un électrisé, probablement un traumatisé, quelquefois un brûlé et un blasté et parfois un hypotherme (30). Chez tout foudroyé, une hospitalisation s'impose et une surveillance à long terme est souhaitable pour ne pas passer à côté des manifestations tardives. En effet, les troubles peuvent se manifester après un certain délai, même chez des foudroyés ayant apparemment bien supporté l'accident. Bien souvent, la difficulté est d'identifier la relation de cause à effet lorsque le praticien est confronté à une pathologie séquellaire, le plus souvent neuropsychique.





## **BIBLIOGRAPHIE**

## BIBLIOGRAPHIE



1. ANDREWS C.J.  
Telephone-related lightning injury.  
Med. J. Aust., 1992, 157, 823-826.
2. ANDREWS C.J., DARVENIZA M., MACKERRAS D.  
Lightning injury – a review of clinical aspects, pathophysiology and treatment.  
Adv. Trauma, 1989, 4, 241-288.
3. BARRIOT P., PARADIS J.  
Electrisation et électrocution.  
Encycl. Méd. Chir., Urgences, 1991, 24116E40, 6p.
4. BARTHOLOME C.W., JACOBY W.D., RAMCHAND S.C.  
Cutaneous manifestations of Lightning Injury.  
Arch. Dermatol., 1975, 111, 1466-1468.
5. BIEGELMEIER G.  
Wirkungen des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere.  
Berlin Offenbach, VDE-Verlag, 1986, 193-226.
6. BLOUNT B.W.  
Lightning injuries.  
Am. Fam. Physician, 1990, 42, 405-415.
7. BOUTIER F.  
La prévisibilité.  
La météorologie, 1993, 8, 3, 7-17.
8. BRIAN W.A., WILLIAM F.M., CLEON W.G., BASIL A.P.  
Lésions dues à la foudre chez cinq sujets ayant survécu.  
JAMA, 1985, 10, 101, 647-650.
9. BRUGERE H.  
In : Congrès national du service de santé des Sapeurs Pompiers (8 ; 1996 ; Angers).  
Electropathologie : les courants de fuite en élevage.

10. BRUGERE H., PARIS C.  
Une observation de mortalité par électrocution chez les bovins.  
Bull. Soc. Ver. Prat. de France, 1994, 78, 1137-1148.
11. CABANE J.  
De la physique de la foudre aux effets sur l'homme.  
Réan. Soins Intens. Méd. Urg., 1995, 11, 3, 131-137.
12. CARSIN H.  
Brûlures graves.  
In : Protocoles. Urgences. Plans et schémas thérapeutiques.  
Paris : Editions scientifiques L et C, 1999. -p.440-443.
13. CLARK Ronald  
Benjamin Franklin.  
Paris : Fayard, 1986.-520p.
14. COLL F., ALBERT J., MALBERT G., POUGAULT O., GARCIA Y.,  
NOËL G., LAPORTE V.  
Foudroiement collectif : un cas typique.  
Réan. Soins Intens. Méd. Urg., 1995, 11, 3, 162-166.
15. CUDENNEC Y., BUFFE P., GRATEAU P., AL SAYED K.,  
BEN AZZOUZ A.  
Données récentes concernant les «ondes de choc fortes» et les lésions par  
«blast».  
Médecine et Armées, 1985, 13, 6, 599-606.
16. DAVID B., FLANNERY M.D., WILES H.  
Follow-up of a survivor of intrauterine lightning exposure.  
Am. J. Obstet. Gynecol., 1982, 142, 238-239.
17. DESBOIS A.  
In : Congrès national du service de santé des Sapeurs Pompiers (8 ; 1996 ;  
Angers).  
Foudroiement du bétail.
18. FORAY J., HERRY J.P.  
In : Congrès national du service de santé des Sapeurs Pompiers (8 ; 1996 ;  
Angers).  
La foudre : accidents en haute montagne.

19. GARCIA Pierre  
Le coup de foudre. -89p  
Th : Médecine : Marseille : 1994 ; 20033.
20. GARY Claude  
La foudre.  
La Montagne et Alpinisme, 1993, 2, 30-36.
21. GARY Claude  
La foudre. Des mythologies antiques à la recherche moderne.  
Paris : Masson, 1994.-208p.
22. GAY R., DUMONT D.  
Les foudroiements. Les chances de survie ne sont pas insignifiantes.  
Rev. Prat., 1988, 34, 51-53.
23. GOLDE R.H. et al.  
Lightning.  
New York : Academic Press, 1977. -849p
24. GOURBIERE Elisabeth  
In : Congrès national du service de santé des Sapeurs Pompiers (8 ; 1996 ; Angers).  
Les aspects épidémiologiques et cliniques des foudroiements.
25. GOURBIERE Elisabeth  
In : Congrès national du service de santé des Sapeurs Pompiers (8 ; 1996 ; Angers).  
Les effets de la foudre sur l'homme. Physiopathologie des foudroiements des personnes, types particuliers d'accidents électriques.
26. GOURBIERE Elisabeth  
Protection des personnes contre la foudre.  
Energies-Santé, 1996, 7, 1-33.
27. GOURBIERE Elisabeth  
Les foudroiements en France. Une pathologie souvent méconnue.  
Concours Med., 1997, 119, 1361-1366.
28. GOURBIERE E., LAMBROZO J., FOLLIOU D., GARY C.  
Complications et séquelles des accidents dus à la foudre.  
Réan. Soins Intens. Méd. Urg., 1995, 11, 3, 138-161.

29. HANSON G.C., Mc ILWRAITT G.R.  
Lightning injury : Two case histories and a review of management.  
Br. Med. J., 1973, 4, 271-274.
30. HERRY J.P.  
Les accidents de la foudre en Haute Montagne : la prévention et les premiers soins.  
Réan. Soins Intens. Méd. Urg., 1995, 11, 3, 123-130.
31. KITAGAWA N., KINOSHITA K., ISHIKAWA T.  
Discharge experiments using dummies and rabbits simulating lightning strokes on human bodies.  
Int. J. Biometer, 1973, 17, 239-241.
32. KOCH F.X., TORRES J.P., GODART J., ESCALLIER C., MENTHONNEX E.  
Accident catastrophique à effets limités de niveau 1 en montagne : à propos d'un cas de fulguration collective.  
Urgences, 1997, 16, 103-107.
33. LAGUERRE J., CONIL J.M., FAVAREL H., ESCOURROU G., BROUCHET A., COSTAGLIOLA M., VIRENQUE Ch.  
Lésions cutanées observées chez trois malades après fulguration collective.  
Principes du traitement local.  
Réan. Soins Intens. Méd. Urg., 1995, 11, 3, 167-171.
34. LICHTENBERG R., DRIES D., WARD K., MARSHALL W., SCANLON P.  
Cardiovascular effects of lightning strikes.  
J. Am. Coll. Cardiol., 1993, 21, 531-536.
35. MALBOS J.  
Foudre et Montagne. Actualités scientifiques.  
La Montagne et Alpinisme, 1997, 1, 52.
36. MARBOUTY D.  
La prévision des phénomènes météorologiques exceptionnels.  
Urgences, 1995, 14, 102-109.
37. MAREITE Nadine  
Aspects actuels de l'électrification. -183p  
Th. : Médecine : Nancy : 1992 ; 11253.



38. MASSINET Sylvain  
Le foudroiement : conséquences générales et cardiaques. Aspects thérapeutiques. A propos d'un cas. -103p.  
Th : Médecine : Nancy : 1989.
39. MATHE D., VIGNON P., GAY R.  
Que faire devant une électrisation ?  
Rev. Prat., 1993, 7, 237, 33-36.
40. REIS J.  
Manifestations neurologiques des électrisations accidentelles.  
Concours Med., 1995, 117, 104-107.
41. ROCHAS M., JAVELLE J.P.  
La météorologie. La prévision numérique du temps et du climat.  
Paris : Syros, 1993. -(collection comprendre).
42. ROUGE D., ESCOURROU D., LAGUERRE J., CONIL J.M., MICHEAU Ph., COSTAGLIOLA M. et al.  
Pour une réparation précoce des brûlures électriques : intérêt du concept de lésions tissulaires extensives.  
Ann. MBC, 1990, 3, 2, 90-94.
43. SACHE L., DECLETY P., PAUTHIER A., SCHMIDT M.H., PIOT P., TAVERNIER D., FEUCHERE P.  
A propos d'un accident collectif de foudroiement en montagne.  
Urgences, 1996, 15, 201-203.
44. SCHMAUCH  
In : Congrès national du service de santé des Sapeurs Pompiers (8 ; 1996 ; Angers).  
La foudre : un peu d'histoire.
45. TASSEV T.  
Altération de l'ouïe sous l'action de la foudre.  
J.F.ORL, 1974, 23, 9, 815-820.
46. TEN DUIS HJ, KLASSEN HJ  
Keraunoparalysis, a specific lightning injury.  
Burns, 1985, 12, 54.

47. TORRES Eric  
Foudre et Montagne  
Urgence pratique, 1997, 25, 71-72.
48. VILLARD Ch., BOISSONNOT M., RISSE J.F., BENOIS E.  
Complication oculaire par fulguration. Discussion à propos de deux cas simultanés.  
Bull. Soc. Opht. France, 1985, 10, 85, 1027-1034.
49. VIRENQUE C.  
In : Congrès national du service de santé des Sapeurs Pompiers (8 ; 1996 ; Angers).  
Hospitalisation des foudroyés.
50. VIRENQUE C., JEAN F., BATUT M. et al.  
In : Congrès national du service de santé des Sapeurs Pompiers (8 ; 1996 ; Angers)  
Enquête nationale à propos de 104 personnes foudroyées.
51. VIRENQUE C., LAGUERRE J.  
Les accidents de la fulguration.  
Anesth. Anal. Réan., 1976, 33, 5, 775-784.
52. VOLINSKY J.B., HANSON J.B., LUSTIG J.V., TUNESSEN W.W.  
Brûlures par la foudre.  
JAMA, 1994, 19, 304, 36-37.
53. WRIGHT J.W., SILK K.L.  
Acoustic and vestibular defects in lightning survivors.  
Laryngoscope, 1974, 84, 1378-1387.
54. ZANA Marc  
Accident électrique et SMUR (présentation audiovisuelle). -30p  
Th : Médecine : Paris 7, Xavier Bichat : 1984 ; 120.

**ANONYMES :**

55. Congrès international de foudre et montagne (2 ; 1997 ; Chamonix)  
Foudre et Montagne'97.
56. Le Petit Larousse  
Paris : Larousse, 1993. -1776p
57. Un physicien au siècle des lumières : l'abbé Nollet.  
Paris : Jonas.-195p.





# TABLE DES ILLUSTRATIONS

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## CH.II :

- Fig.1 : Carte des niveaux kérauniques.  
GARY C. : La foudre ; la Montagne et Alpinisme, 1993, 2, p34.
- Fig.2 : Fluctuations du niveau kéraunique en France.  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p50.
- Fig.3 : Charges électriques et répartition du champ électrique au sol.  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p53.
- Fig.4 : Classification des coups de foudre .  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p69.
- Fig.5 : Phases d'évolution d'un coup de foudre négatif.  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p65.
- Fig.6 : Structure du traceur descendant.  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p50. -Fig. J. Wiesinger-
- Fig.7 : Rayonnement acoustique d'un arc en retour.  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p79.

## CH. III :

- Fig.8 : Foudroiement direct.  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p151.
- Fig.9 : Arc de contournement.  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p158.
- Fig.10 : Foudroiement par éclair latéral.  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p151.
- Fig.11 : Foudroiement par tension de pas.  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p151.
- Fig.12 : Foudroiement par tension de toucher.  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p152.
- Fig.13 : Commotion par courant induit.  
GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p152.



## CH. IV :

Fig.14 : ECG et période de plus grande vulnérabilité.

GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p161.

Fig.15 : Amorçage en surface.

GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p158.



## CH. VII :

Fig.16 : Station française de détection de la foudre.

GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p102. -Photo Météorage-

Fig.17 : Position d'attente sur un éboulis.

HERRY J.P. : Les accidents de la foudre en haute montagne : la prévention et les premiers soins.

Réan. Soins Intens. Méd. Urg., 1995, 11, 3, p128.

Fig.18 : Zone abritée d'un impact direct.

GARCIA P. : Le coup de foudre ; Th. Méd., 1994, p82.

Fig.19 : Position recommandée pendant un orage.

HERRY J.P. : Les accidents de la foudre en haute montagne : la prévention et les premiers soins.

Réan. Soins Intens. Méd. Urg., 1995, 11, 3, p129.

Fig.20 : Descente en rappel.

HERRY J.P. : Les accidents de la foudre en haute montagne : la prévention et les premiers soins.

Réan. Soins Intens. Méd. Urg., 1995, 11, 3, p129.

Fig.21 : Situation d'exposition aux coups directs.

HERRY J.P. : Les accidents de la foudre en haute montagne : la prévention et les premiers soins.

Réan. Soins Intens. Méd. Urg., 1995, 11, 3, p128.

Fig.22 : Tige de Franklin.

SCHMAUCH : La foudre - un peu d'histoire.

In : Congrès national du service de santé des Sapeurs Pompiers (8 ; 1996 ; Angers), p2.

Fig.23 : Zone de protection.

GARCIA P. : Le coup de foudre ; Th. Méd., 1994, p71.

Fig.24 : Modèles de «PDA»

GARY C. : La foudre ; Paris, 1994, p126.

Fig.25 : Paratonnerre Melsens.

SCHMAUCH : La foudre - un peu d'histoire.

In : Congrès national du service de santé des Sapeurs Pompiers (8 ; 1996 ; Angers), p3.



VU

NANCY, le **28 FÉVRIER 2000**

Le Président de Thèse

NANCY, le **7 MARS 2000**

Le Doyen de la Faculté de Médecine

Par délégation

Professeur **P.E. BOLLAERT**

Professeur **H. VESPIGNANI**

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE

NANCY, le **13 MARS 2000**

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY 1

Professeur **C. BURLET**

## **RÉSUMÉ DE LA THÈSE :**

La fulguration est le premier traumatisme électrique dont l'homme ait été victime. Les orages produisent une centaine de décharges électriques par seconde ; parmi celles-ci, 1/3 frappe la Terre, c'est la foudre.

En France, ce sont une centaine de personnes qui sont foudroyées chaque année, des centaines d'animaux qui sont tués. Les dégâts matériels entraînés par la foudre sont spectaculaires.

Au niveau médical, les accidents de la fulguration restent très craints. En tête des décès vient l'arrêt cardio-respiratoire. Chez les sujets qui survivent, les lésions sont très diverses ; certaines pathologies apparaissent plus fréquentes que d'autres, telles que les troubles de la conscience et du comportement, les déficits neurologiques, les troubles du rythme cardiaque, les lésions myocardiques, les brûlures, les troubles visuels ainsi que les perforations tympaniques. La cataracte est classique et les figures de Lichtenberg pathognomoniques.

Une meilleure connaissance de ce type d'accident, la réalisation de gestes de secourisme appropriés et une prise en charge médicale adaptée permettraient de diminuer la gravité des lésions rencontrées et les séquelles invalidantes. La prévention repose essentiellement sur la prise en compte des informations météorologiques, la connaissance des zones à risque, des choix de conduite appropriée.

En ce qui concerne le traitement curatif, les méthodes diffèrent peu des méthodes conventionnelles. Le suivi à long terme des personnes foudroyées est important.

## **TITRE EN ANGLAIS :**

The lightning injury :  
Current data concerning a case

**THÈSE : MÉDECINE GÉNÉRALE – ANNÉE 2000**

## **MOTS CLEFS :**

Arrêt cardiaque  
Brûlures  
Foudroiement  
Montagne

## **INTITULÉ ET ADRESSE DE L'U.F.R. :**

**Faculté de Médecine de Nancy**  
9, avenue de la Forêt de Haye  
54505 -- VANDŒUVRE LES NANCY Cédex