



ANNEE 1999

THESE N° 181.1/1

**L'ELECTRICITE :
SON ORIGINE, SES DANGERS
ET SA REGLEMENTATION**



THESE

POUR LE

**DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE**

présentée et soutenue publiquement le 8 décembre 1999

par

Bruno TALAYRACH

né 4 juillet 1971 à Perpignan (Pyrénées-Orientales)

EXAMINATEURS de la THESE

Monsieur le Professeur DUMONT	PRESIDENT
Monsieur le Professeur PIVA	JUGE
Monsieur le Professeur VIGNON	JUGE
Monsieur le Professeur VIROT	JUGE
Monsieur le Docteur CAILLOCE	MEMBRE INVITE

UNIVERSITE DE LIMOGES

FACULTE DE MEDECINE

DOYEN DE LA FACULTE : Monsieur le Professeur PIVA Claude

ASSESEURS : Monsieur le Professeur VANDROUX Jean-Claude
Monsieur le Professeur DENIS François

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS :

ACHARD Jean-Michel	PHYSIOLOGIE
ADENIS Jean-Paul (C.S)	OPHTALMOLOGIE
ALAIN Luc (C.S)	CHIRURGIE INFANTILE
ALDIGIER Jean-Claude	NEPHROLOGIE
ARCHAMBEAUD-MOUVEROUX Françoise (C.S)	MEDECINE INTERNE
ARNAUD Jean-Paul (C.S)	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIE
BARTHE Dominique (C.S)	HISTOLOGIE , EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE CLINIQUE OBSTETRICALE ET GYNECOLOGIE
BEDANE Christophe	DERMATOLOGIE
BENSAID Julien	CLINIQUE MEDICALE CARDIOLOGIQUE
BERTIN Philippe	THERAPEUTIQUE
BESSEDE Jean-Pierre	OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE
BONNAUD François (C.S)	PNEUMOLOGIE
BONNETBLANC Jean-Marie (C.S)	DERMATOLOGIE
BORDESSOULE Dominique (C.S)	HEMATOLOGIE ET TRANSFUSION
BOULESTEIX Jean (C.S)	PEDIATRIE
BOUTROS-TONI Fernand	BIOSTATISTIQUE ET INFORMATIQUE MEDICALE
CATANZANO Gilbert	ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUE
CHARISSOUX Jean-Louis	ORTHOPEDIE
CLAVERE Pierre	RADIOTHERAPIE
COGNE Michel	IMMUNOLOGIE
COLOMBEAU Pierre (C.S)	UROLOGIE

CORNU Elisabeth	CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIO-VASCULAIRE
CUBERTAFOND Pierre (C.S)	CLINIQUE DE CHIRURGIE DIGESTIVE
DARDE Marie-Laure (C.S)	PARASITOLOGIE
DE LUMLEY WOODYEAR Lionel (C.S)	PEDIATRIE
DENIS François (C.S)	BACTERIOLOGIE - VIROLOGIE
DESCOTTES Bernard (C.S)	ANATOMIE
DUDOGNON Pierre (C.S)	REEDUCATION FONCTIONNELLE
DUMAS Jean-Philippe	UROLOGIE
DUMAS Michel (C.S)	NEUROLOGIE
DUMONT Daniel	MEDECINE DU TRAVAIL
DUPUY Jean-Paul (C.S)	RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE
FEISS Pierre (C.S)	ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION CHIRURGICALE
GAINANT Alain	CHIRURGIE DIGESTIVE
GAROUX Roger (C.S)	PEDOPSYCHIATRIE
GASTINNE Hervé (C.S)	REANIMATION MEDICALE
HUGON Jacques (C.S)	HISTOLOGIE , EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE
LABROUSSE Claude	REEDUCATION FONCTIONNELLE
LABROUSSE François (C.S)	ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUE
LASKAR Marc (C.S)	CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIO- VASCULAIRE
LEGER Jean-Marie (C.S)	PSYCHIATRIE D'ADULTES
LEROUX-ROBERT Claude (C.S)	NEPHROLOGIE
MABIT Christian	ANATOMIE , CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE
MAUBON Antoine	RADIOLOGIE
MELLONI Boris	PNEUMOLOGIE
MENIER Robert (C.S)	PHYSIOLOGIE
MERLE Louis	PHARMACOLOGIE
MOREAU Jean-Jacques (C.S)	NEUROCHIRURGIE
MOULIES Dominique	CHIRURGIE INFANTILE
NATHAN-DENIZOT Nathalie	ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION CHIRURGICALE
PERDRISOT Rémy	BIOPHYSIQUE ET TRAITEMENT DE L'IMAGE
PILLEGAND Bernard (C.S)	HEPATO-GASTRO-ENTEROLOGIE
PIVA Claude (C.S)	MEDECINE LEGALE

PRALORAN Vincent (C.S)	HEMATOLOGIE ET TRANSFUSION
RIGAUD Michel (C.S)	BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE
ROUSSEAU Jacques	RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDCALE
SALLE Jean-Yves	MEDECINE PHYSIQUE ET READAPTATION
SAUTEREAU Denis	HEPATO-GASTRO-ENTEROLOGIE
SAUVAGE Jean-Pierre (C.S)	OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE
TREVES Richard (C.S)	RHUMATOLOGIE
TUBIANA-MATHIEU Nicole (C.S)	CANCEROLOGIE
VALLAT Jean-Michel	NEUROLOGIE
VALLEIX Denis	ANATOMIE
VANDROUX Jean-Claude (C.S)	BIOPHYSIQUE ET TRAITEMENT DE L'IMAGE
VERGNENEGRE Alain	EPIDEMIOLOGIE , ECONOMIE DE LA SANTE ET PREVENTION
VIDAL Elisabeth (C.S)	MEDECINE INTERNE
VIROT Patrice (C.S)	CARDIOLOGIE
VIGNON Philippe	REANIMATION MEDICALE
WEINBRECK Pierre (C.S)	MALADIE INFECTIEUSE

MAITRE DE CONFERENCE ASSOCIE A MI-TEMPS

BUCHON Daniel 3^{ème} CYCLE DE MEDECINE GENERALE

SECRETAIRE GENERAL DE LA FACULTE – CHEF DES SERVICES ADMINISTRATIFS

POMMARET Maryse

* C.S = Chef de Service

Remerciements

A mes parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé dans mes études de médecine.

A mon épouse, Delphine, pour son aide, sa patience et sa présence à mes cotés lors de mon travail.

A mes frères et sœur.

A mes beaux-parents, pour leur constante gentillesse.

A mes amis.

Je remercie Monsieur le Docteur CAILLOCE qui a accepté de me confier ce travail et m'a aidé dans sa réalisation.

Je remercie

Monsieur le professeur DUMONT, Professeur des universités de médecine du travail, qui m'a fait l'honneur de présider cette thèse.

Monsieur le Professeur PIVA, Professeur des universités de médecine légale, Chef de Service, Doyen de la faculté de médecine,

Monsieur le Professeur VIGNON, Professeur des universités de réanimation médicale,

Monsieur le Professeur VIROT, Professeur des universités de cardiologie, Chef de Service,

qui ont accepté de juger ce travail.

Je remercie également

Mademoiselle le Docteur CHAPUT

Monsieur le Docteur DUTEILLE

Monsieur le Docteur VIGUE, qui ont conforté mon goût pour la médecine générale et m'ont apporté beaucoup pour la pratique.

Ainsi que le Docteur GRAVELAT, les techniciens d'EDF, la CRAM-CO, l'INSEE, la Direction Générale de la Santé et plusieurs services du CHU de Limoges qui ont contribué à l'élaboration de cette thèse.

PLAN

VOLUME I

I. Introduction

II. L'électricité, son origine

- 1 – Structure de la matière
- 2 – Qu'est ce que l'électricité ?
 - 2.1 – L'électricité statique
 - 2.2 – L'électricité dynamique
- 3 – Les générateurs électriques
- 4 – Le circuit électrique
 - 4.1 – La résistance électrique
 - 4.2 – L'intensité du courant
 - 4.3 – La tension électrique
 - 4.4 – L'impédance
- 5 – L'électrisation – L'arc électrique

III. Histoire de l'électricité : de l'antiquité à nos jours

- 1 – Les origines
 - 1.1 – L'antiquité
 - 1.2 – Une première application
 - 1.3 – Les premières machines
 - 1.4 – Les deux électricités
- 2 – Les premières théories
 - 2.1 – Fluide unique ou deux fluides
 - 2.2 – Les courants électriques
 - 2.3 – La découverte de la pile

3 – L'électromagnétisme

3.1 – D'Oersted à Maxwell

3.2 – Les rayonnements

4 – Les étapes de la prévision

4.1 – La théorie de Lorentz

4.2 – Les travaux de Pierre Curie

4.3 – La production et le transport de l'électricité

IV . Les réseaux électriques

1 – Les centrales électriques

1.1 – Les centrales hydrauliques

1.2 – Les centrales marémotrices

1.3 – Les centrales thermiques

1.4 – Les centrales nucléaires

1.5 – Les centrales éoliennes

1.6 – Les centrales utilisant l'énergie solaire

2 – Architecture des réseaux d'énergie

2.1 – Les choix initiaux

2.2 – Structure des réseaux

2.3 – Classement des installations en fonction des tensions

2.4 – Transport et distribution du courant alternatif

2.4.1 – Transport

2.4.2 – Distribution aux utilisateurs

2.5 – Les principaux matériels

V. Réglementation sur les installations électriques et la protection des travailleurs

1 – Etablissements visés

1.1 – Etablissements soumis au code du travail

1.2 – Etablissements publics de l'état et des collectivités territoriales

- 2 – Protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en oeuvre des courants électriques
 - 2.1 – Décret n°88-1056 du 14 novembre 1988 modifié et circulaire d'application modifiée
 - 2.2 – Arrêté d'application du décret n°88-1056 du 14 novembre 1988 modifié
 - 2.3 – Obligations des chefs d'établissement
 - 2.4 – Obligations des maîtres d'ouvrage
 - 2.5 – Premiers soins à donner aux victimes d'accidents électriques
 - 2.6 – Circuits et installations de sécurité
 - 2.7 – Protection contre la foudre
- 3 – Conception et utilisation des matériels électriques
 - 3.1 – Matériels alimentés en basse tension
 - 3.2 – Construction et utilisation du matériel électrique utilisable en atmosphère explosive
 - 3.3 – Compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électronique
 - 3.4 – Utilisation des lampes portatives dites « baladeuses » et des cordons prolongateurs enroulés sur tambour
 - 3.5 – Comportement au feu des canalisations
 - 3.6 – Ioniseurs d'air
- 4 – Travaux effectués au voisinage d'installations électriques
 - 4.1 – Travaux au voisinage de lignes, canalisations et installations électriques
 - 4.2 – Travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution
- 5 – Dispositions applicables aux ouvrages de production et de distribution publique d'énergie électrique
- 6 – Utilisation des PCB (polychlorobiphényle)
- 7 – Prévention des risques électriques dans les établissements d'enseignement technique et professionnel
- 8 – Textes divers
- 9 – Règlement de sécurité concernant les établissements recevant du public et les immeubles de grande hauteur

10 – Règlement concernant la fabrication et l'utilisation des matériels électriques

10.1 – Perturbations radioélectriques

10.2 – Matériels destinés à être employés dans certaines limites de tension

VI. Epidémiologie

1 – Généralités

2 – Les origines des accidents électriques

2.1 – L'électricité d'origine naturelle

2.1.1 – Les poissons électrogènes

2.1.2 – La foudre

2.2 – L'électricité d'origine industrielle

2.2.1 – Les accidents du travail

2.2.2 – Les accidents domestiques

2.2.3 – Les accidents de loisirs

2.2.4 – Les accidents iatrogéniques

. Les électrisations par macrochocs

. Les électrisations par microchocs

3 – Les circonstances des accidents électriques

3.1 – Les accidents par électrisation

3.2 – Les accidents dûs à un arc électrique

3.3 – Les accidents dûs à un arc électrique associé à une électrisation

3.4 – Les accidents suite à un incendie ou une explosion d'origine électrique

3.5 – Les accidents dus à l'électricité statique

VII. Physiopathologie

1 – Généralités

2 – Les effets du courant électrique sur le corps humain

2.1 – Les effets électro-thermiques et exito-moteurs

2.1.1 – Les secteurs de distribution

2.1.2 – Le rôle de l'intensité

- 2.1.3 – Le rôle de la tension
- 2.1.4 – Le rôle de l'impédance
 - 2.1.4.1 – L'impédance de la peau
 - 2.1.4.2 – L'impédance interne
 - 2.1.4.3 – L'impédance totale du corps humain
- 2.1.5 – Le rôle de la fréquence
- 2.1.6 – Le temps de passage du courant
- 2.1.7 – Le trajet du courant
- 2.1.8 – Les conditions de contact
- 2.1.9 – Le type de courant
- 2.1.10 – Le dégagement de chaleur
- 2.2 – Les lésions par arc électrique

VIII. La clinique des accidents électriques

- 1 – Les accidents en basse tension
 - 1.1 – La simple secousse électrique
 - 1.2 – L'accident préoccupant
 - 1.3 – L'accident grave d'emblée
 - 1.4 – L'accident où les lésions chirurgicales dominant
- 2 – Les accidents en haute tension
- 3 – Les complications
 - 3.1 – Cardio-vasculaires
 - 3.1.1 – Les manifestations fonctionnelles
 - 3.1.2 – Les troubles du rythme
 - 3.1.3 – Les lésions coronariennes
 - 3.1.4 – Les autres manifestations cardiaques
 - 3.1.5 – Les manifestations vasculaires
 - 3.2 – Neurologiques
 - 3.2.1 – Les troubles cérébraux
 - 3.2.2 – Les troubles psycho-névrotiques
 - 3.2.3 – Les atteintes médullaires
 - 3.2.4 – Les atteintes nerveuses périphériques
 - 3.2.5 – Les atteintes sensorielles

3.3 – Rénales

3.4 – Autres complications

3.4.1 – Les atteintes digestives

3.4.2 – Les atteintes pulmonaires

3.4.3 – Les anomalies biologiques

4 – Les séquelles

4.1 – Séquelles trophiques, fonctionnelles et esthétiques des brûlures

4.2 – Neurologiques

4.3 – Cardio-vasculaires

4.4 – Rénales

5 – Electrification au cours d'une grossesse

5.1 – Les paramètres principaux

5.1.1 – Les paramètres physiques

5.1.2 – Les circonstances de l'accident

5.1.3 – Les paramètres liés à la victime

5.2 – Les complications pour la grossesse

5.2.1 – Complications maternelles

5.2.2 – Complications fœtales

IX . Stratégie de prise en charge pré-hospitalière et hospitalière

1 – Sur les lieux de l'accident

1.1 – Le dégagement de la victime

1.2 – L'alerte

1.3 – Prise en charge dans le cas d'un accident en basse tension

1.3.1 – L'accident bénin

1.3.2 – L'accident préoccupant

1.3.3 – L'accident grave

1.3.4 – L'état de mort apparente

1.4 – Prise en charge dans le cas d'un accident en haute tension

1.5 – Les traumatismes associés

1.6 – Prise en charge en cas d'électrification d'une femme enceinte

2 – La prise en charge hospitalière

2.1 – Les examens paracliniques

2.1.1 – Evaluation de l'atteinte myocardique et vasculaire

2.1.2 – Evaluation de l'atteinte musculaire et rénale

2.1.3 – Evaluation de l'atteinte neurologique

2.1.4 – Recherche de traumatismes associés

2.1.5 – Recherche d'une atteinte sensorielle

2.1.6 – Bilan chez la femme enceinte

2.2 – Traitement

2.2.1 – Médical

2.2.2 – Chirurgical

X . Les électrisations et les statistiques

1 – Les accidents domestiques et de loisirs

1.1 – Matériel et méthode

1.1.1 – La population étudiée

1.1.2 – Le recueil des données

1.1.3 – Les objectifs

1.2 – Les résultats

1.2.1 – La population étudiée

1.2.2 – Lieu de l'accident

1.2.3 – Circonstance de l'accident

1.2.4 – Type de lésion et partie lésée

1.2.5 – Traitement et durée d'hospitalisation

1.2.6 – Le CHU de Limoges

1.2.6.1 – La population étudiée

1.2.6.2 – Lieu de l'accident

1.2.6.3 – Circonstance de l'accident

1.2.6.4 – Type de lésion et partie lésée

1.2.6.5 – Traitement et durée d'hospitalisation

1.2.6.6 – Examens complémentaires

1.2.6.7 – Orientation des patients hospitalisés

2 – Les accidents du travail

2.1 – Au niveau national

2.1.1 – L'évolution

2.1.2 – Les variations

2.1.3 – La répartition

2.2 – Au niveau régional (limousin – poitou – charentes)

2.3 – Au CHU de Limoges (entre 1994 et mai 1999)

2.4 – Analyse des causes d'accidents

2.5 – Discussion

XI. Conclusion

Table des matières

Serment d'Hippocrate

VOLUME II

Annexes : les textes réglementaires

INTRODUCTION

I – Introduction

L'électricité constitue une forme d'énergie particulièrement aisée à produire, à transporter et à convertir en une autre forme d'énergie (mécanique, chimique, thermique, lumineuse), toutefois elle n'est pas dépourvue de risques, entraînant parfois des accidents électriques qui peuvent être fatals.

L'électrisation désigne toutes les manifestations physiologiques et physiopathologiques dues à un passage de courant au travers du corps humain. Le terme d'électrocution ne s'emploie que pour les électrisations suivies à plus ou moins long terme de décès.

Cependant, de nombreuses réglementations, aux applications toujours délicates, existent et se multiplient sans cesse, orientées vers la protection des travailleurs et des utilisateurs. D'autre part, la prévention, plutôt négligée, limiterait sans aucun doute les accidents d'origine électrique.

Tout médecin praticien, quel que soit son mode d'exercice peut être amené à examiner, traiter et orienter une victime d'un accident d'origine électrique au cours des premières heures.

Le travail de cette thèse s'intéresse en partie à cette conduite pré-hospitalière et hospitalière, accompagné d'un bref aperçu statistique des électrisations et de généralités consacrées à l'électricité.

**L'ELECTRICITE ,
SON ORIGINE**

II - L'électricité, son origine (11), (22)

1 - Structure de la matière

La matière est constituée de particules infiniment petites et indestructibles : les atomes. Ces derniers, au sein d'un même élément, sont identiques (forme, dimension, masse, charge électrique élémentaire).

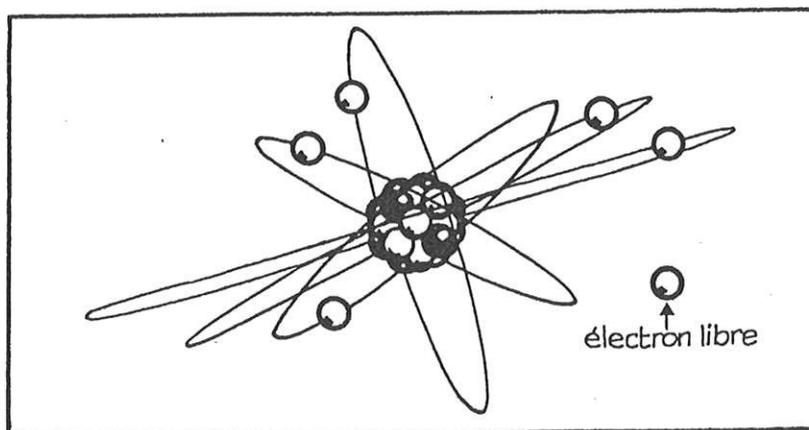
La masse de l'atome correspond à la masse du proton, et cette masse du proton est concentrée dans son noyau qui rassemble les particules positives ou protons et les particules neutres ou neutrons.

Tous les atomes, qu'ils soient issus d'un corps chimique, solide, liquide ou gazeux, sont constitués par des particules électrisées ou charges électriques élémentaires.

Ces particules ou « grains » électriques forment à l'intérieur de l'atome 2 groupes identiques en nombre et en charge électrique mais de polarité opposée.

Les charges électriques positives (ou protons) sont confinées dans le noyau de l'atome et les charges électriques négatives (ou électrons) gravitent autour du noyau, sur des niveaux d'énergie différents (couche électronique).

Ainsi les électrons isolés sur un orbite externe sont très peu liés au noyau et possèdent par conséquent une relative indépendance qui leurs permettent à température ambiante de quitter l'atome (sans qu'il soit nécessaire de leur fournir de l'énergie) : on les appelle les électrons libres.



En clair, cela signifie que la force d'attraction, qui lie les électrons aux noyaux, diminue au fur et à mesure que la distance qui les sépare du noyau augmente et il faut fournir une énergie (thermique, mécanique, électrique) au moins égale à celle qui a été nécessaire pour les assembler, afin de libérer un électron (libre).

Ainsi, *un matériau conducteur* se caractérise par la relative liberté des électrons libres qui circulent entre les ions (atome qui a perdu un ou plusieurs électrons) engendrant un flux d'électrons, c'est à dire un courant électronique.

Parmi les conducteurs électriques, les meilleurs sont tous les métaux,.....

Mais aussi :

le *corps humain* : il contient en suspension dans le sang et dans les tissus musculaires des sels divers, comme par exemple les chlorures de potassium, de sodium, de magnésium, qui sont tous des conducteurs de l'électricité ; aussi le corps peut être assimilé du fait des propriétés de ses composants chimiques à un conducteur électrique.

A l'inverse, *l'isolant électrique* ne possèdent pas d'électrons libres, car la force d'attraction des charges positives du noyau est telle que tous les électrons (y compris les électrons périphériques) restent prisonniers de l'atome.

Donc il n'existe pas de transfert de charges électriques entre les atomes voisins, mais cette qualité d'isolant peut se détériorer sous l'effet de températures élevées, de l'humidité, de produits chimiques ou d'effets mécaniques (torsion, écrasement, cisaillement).

Parmi les isolants les plus connus, citons : l'air, le caoutchouc synthétique, les matières plastiques, la porcelaine, le verre,....

2 - Qu'est-ce que l'électricité ?

Sous l'action d'une force, dont l'origine peut être mécanique (frottement l'un contre l'autre de 2 matériaux différents), sous l'effet d'une réaction chimique, d'une influence magnétique ou électrostatique, il est possible d'extraire d'un atome un ou plusieurs électrons périphériques.

On dit alors que ce corps possède une charge électrique car il a emmagasiné une quantité d'électricité proportionnelle au nombre d'électrons gagnés ou perdus.

On distingue principalement 2 types d'électricités :

- l'électricité statique
- l'électricité dynamique

2.1 – L'électricité statique

Choisissons un exemple d'électrisation d'origine mécanique : le frottement de 2 matières telle qu'un bâton d'ébonite sur de la fourrure. On contraint une partie des électrons contenus dans la fourrure à quitter leurs atomes et à s'accumuler sur l'ébonite, ainsi la fourrure se trouvera chargé positivement (ses atomes auront perdu plusieurs électrons) et l'ébonite négativement (ses atomes auront gagné plusieurs électrons).

Ces charges, tant positives que négatives, demeureront momentanément (quelques secondes, minutes ou jours) à l'endroit où elles ont été formées, c'est à dire sur la surface des corps en présence.

Cette double propriété, permanence et immobilité, conduit à donner à ces charges le nom de charges statiques de surface. Par extension on dira que ces matériaux ont accumulé de l'électricité statique.

2.2 – L'électricité dynamique

Considérons un circuit comportant un générateur qui transforme l'énergie chimique (pile, accumulateur) ou dynamique (dynamo, alternateur) en énergie électrique et un récepteur qui transforme l'énergie électrique en énergie lumineuse (ampoule) ou thermique (radiateur) ou mécanique (moteur)

Dés cet instant, le déplacement des électrons est orienté dans un seul sens, créant à l'intérieur du circuit un flot continu d'électrons libres ou flux électronique, et, par extension, un courant électrique.

D'où la différence fondamentale qui existe entre l'électricité statique, où tous les phénomènes électriques sont figés dans un intervalle de temps plus ou moins long, et l'électricité dynamique qui résulte du déplacement permanent des charges à l'intérieur des conducteurs.

3 - Les générateurs électriques

Le rôle du générateur est de redonner aux charges électriques l'énergie qu'elles ont perdu dans les récepteurs (radiateurs, moteur, ampoule...), cette énergie électrique provenant des centrales électriques (cf le chapitre sur les réseaux) ou d'une réaction chimique (piles, accumulateurs).

On distingue :

- les générateurs alternatifs (ou alternateur) mono- ou triphasés :

Un alternateur délivre un courant passant par des maxima et des minima (d'allure sinusoïdale) s'inversant 100 fois/seconde avec une fréquence de 50 Hertz ; on parle de courant alternatif monophasé.

Si l'induit comporte 3 enroulements (au lieu d'un seul comme précédemment) montés à 120° les uns des autres, le courant sera fourni sous la forme d'une onde triple décalée d'un tiers de période, nommée courant alternatif triphasé.

- les générateurs à courant continu (piles, accumulateurs)

4 - Le circuit électrique

4.1 – La résistance électrique

Cette manifestation se traduit par une opposition au déplacement des charges électriques (ou courant électrique).

Tous les matériaux n'offrent pas la même opposition, certains atomes abandonnant plus facilement leurs électrons alors qu'à l'inverse les isolants les conservent jalousement.

L'unité, qui permet d'évaluer la résistance électrique d'un conducteur ou d'un isolant est l'Ohm.

Cette résistance varie en fonction de :

- . la résistivité du métal
- . la longueur (la résistance électrique est proportionnelle à la longueur)
- . la section (la résistance électrique est inversement proportionnelle à sa section)
- . la température (quand elle augmente la vibration des atomes s'amplifie créant des obstacles au passages des électrons libres)

4.2 – L'intensité du courant

Elle correspond à la quantité d'électricité ou le nombre de charges débitées chaque seconde par le générateur.

On exprime l'intensité en Coulombs/seconde ou Ampères.

Au-delà d'une certaine vitesse, les électrons en mouvement perdent beaucoup d'énergie (par frottement et par heurt) et cette énergie est libérée sous forme de chaleur, exprimée en Joules. Cette quantité de chaleur Q dégagée est définie par la loi de Joule.

La puissance dégagée s'exprimant en Joules/seconde ou Watts.

Il existe une relation entre :

- . la différence de potentiel ou tension U
- . l'intensité du courant I
- . la résistance R

il s'agit de : la Loi d'Ohm : $U = R \cdot I$

avec la puissance P : $P = U \cdot I$ ou $P = R \cdot I^2$

et la loi de Joule : $Q = R \cdot I^2 \cdot t$ ou $Q = U^2 \cdot t / R$

4.3 – La tension électrique

Elle correspond à la différence de potentiel entre 2 points d'un circuit où circule un courant électrique.

- Le générateur électrique élève le potentiel des charges (au niveau électrique considéré) et le récepteur électrique abaisse le potentiel des charges.

L'unité de tension est le Volt.

4.4 – L'impédance

Il s'agit d'une grandeur qui est pour le courant alternatif l'équivalent de la résistance pour le courant continu, et s'exprime en Ohm.

Néanmoins, dans le cadre du corps humain, nous parlerons de résistance pour simplifier.

5 - Electrification – l'arc électrique

L'électrification est l'ensemble des manifestations physiologiques ou physiopathologiques dû au contact électrique accidentel quelles que soient ses conséquences.

L'électrocution est une électrification mortelle ; elle est le plus souvent accidentelle, domestique ou professionnelle. Elle peut être criminelle ou recherchée lors d'exécutions capitales.

L'arc électrique est une décharge électrique produite dans le volume d'air compris entre 2 conducteurs portés à des potentiels différents lors d'une séparation. L'air situé dans cet espace va devenir subitement conducteur et sera rapidement porté à la température de fusion du métal. Ce phénomène s'accompagne de radiations lumineuses avec projection de particules métalliques en fusion et de radiations thermiques (ultra-violets et infra-rouges). Ce processus ira en s'accélégrant et il ne cessera que lorsque les 2 extrémités seront suffisamment éloignées.

**HISTOIRE DE
L'ELECTRICITE :
DE L'ANTIQUITE A NOS JOURS**

III - Histoire de l'électricité: De l'antiquité à nos jours.

La science de l'électricité s'est peu à peu constituée à partir de simples observations des phénomènes de la nature . Ainsi les propriétés électriques des particules et leur influence sur l'environnement furent progressivement mises à jour par les philosophes, les physiciens et les chimistes tout au long de l'histoire de la civilisation .(11), (40)

1 - Les origines

1.1 - L'antiquité

Parmi les premières observations relatives à ce que l'on nommera plus tard *électricité*, il faut citer les éclairs orageux, la foudre (liée à la production de feu), les aurores boréales, l'attraction de certaines substances par d'autres (ambre et pierres d'aimant).

Thalès (VI^{ième} siècle av J-C), le plus ancien des sept sages de la Grèce, et Thréophraste (III^{ième} siècle av J-C) connaissaient la propriété de l'ambre jaune ou succin (en grec *elektron*, d'où *électricité*) d'attirer les corps légers en les frottant, grâce à une « âme vivante » possédée par ces matières.

On sait aujourd'hui que le frottement d'une baguette d'ambre ou de verre sur une étoffe arrache des électrons aux atomes de cette dernière pour les transférer sur la baguette : celle-ci est alors chargée négativement et peut donc exercer une force électrostatique sur son environnement.

Dans l'antiquité, on connaissait aussi les propriétés de la pierre dite d'Héraclée, de Lydie ou de Magnésie (d'où le terme de magnétisme), qui constitue les aimants et que l'on appelle la magnétite (oxyde de fer).

1.2 - Une première application

Au III^{ème} siècle, les asiatiques savaient fabriquer les boussoles : d'abord constituées par des cuillères de magnétite placées sur des plans de marbre (elles étaient destinées à la divination), puis formées d'aiguilles aimantées flottant sur l'eau (au moyen de brin de roseau) ; elles servirent à guider les navigateurs.

C'est au XV^{ème} siècle, que Christophe Colomb (env.1450-env.1506) aurait noté la variation d'un point à l'autre du globe entre les 13 et 17 septembre 1492.

William Gilbert (1544-1603), physicien anglais, publie une première analyse méthodique pour expliquer l'inclinaison et la déclinaison des aiguilles aimantées, et aurait admis le premier que la terre est un aimant. Il serait également le créateur du terme d'électricité.

1.3 - Les premières machines

Otto von Guericke (1602-1686), physicien allemand, crée en 1672 la première machine capable de produire de l'électricité (statique) au moyen d'un globe de soufre que l'on frottait alors qu'il était animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe transversant . Il tira de cet appareil des étincelles qu'il compara aux éclairs du ciel.

Puis Christiaan Huygens (1629-1695) améliora cette machine et l'abbé Jean Picard (1620-1682) poursuivit des recherches dans le même domaine.

Arrivés à cette période du XVII^{ème} siècle, on peut faire le point des observations et des expériences : une seule application a vu le jour, la boussole ; la distinction entre électricité (statique) et magnétisme est déjà établie ; les premiers effets du passage de l'électricité dans des gaz raréfiés (luminescence) se manifestent ; enfin les résultats obtenus ne constituent que des curiosités, pour ne pas dire de simples amusements : on ne cherche pas encore à bâtir des théories.

Avec Stephen Gray (1666-1736), une nouvelle étape est franchie ; ce savant montre que l'on peut transporter la « vertu électrique » par des fils de soie, puis de métal, et ce même à travers le corps humain, à des substances qui ne la possèdent pas. Il parvient même à produire l'électrification sans contact (par influence) et divise les corps en conducteurs et non conducteurs.

1.4 - Les deux électricités

Charles François de Cisternay du Fay (1698-1739) met en évidence les 2 formes de l'électricité :

- . celle que l'on obtient par frottement des corps transparents, comme le verre ou le cristal
- . celle qui provient des corps bitumeux ou résineux, comme l'ambre ou la résine copal

Les uns et les autres repoussent les corps qui ont « contracté » une électricité de même nature que la leur et attirent au contraire ceux dont l'électricité est de nature différente.

Il nomme l'une de ces formes « électricité vitrée », l'autre « électricité résineuse ».

Au milieu du XVIII^{ième} siècle, on admettait donc l'existence d'un fluide électrique, qui se propageait par des conducteurs et que l'on pouvait même accumuler dans des appareils que l'on nomme condensateurs et dont l'invention, vers 1745 fut la bouteille de Leyde mise au point par Von Kleist (env.1700-1748) et à Musschenbroek (1692-1761) .

Le chercheur et diplomate américain Benjamin Franklin (1706-1790) donne une théorie complète de cet appareil et affirme que le fluide ainsi recueilli est de même nature que la foudre . Il réalisa pour sa part une expérience célèbre à la fin du XVIII^{ième} siècle : il recueillit l'électricité atmosphérique responsable de la foudre et des l'éclairs par le biais d'un cerf-volant, prouvant qu'elle était de même nature que les charges électrostatiques de la bouteille de Leyde. C'est ce que réalise aussi Thomas François Dalibard (1703-1779) en France.

2 - Les premières théories

2.1 - Fluide unique ou deux fluides ?

Pour B. Franklin l'électricité est un « fluide » présent dans toute matière, les manifestations électriques étant dues à un manque ou à un excès de celui-ci. La théorie dite du fluide unique se constituait ainsi.

En revanche, les physiciens anglais Robert Symmer (env.1707-1763) et suédois Torbern Olof Bergman (1735-1784) défendaient la théorie dite des 2 fluides : deux fluides préexistent en quantités égales dans tout corps à l'état neutre, et l'approche d'un corps électrisé, attirant l'un des fluides et repoussant l'autre, les sépare ; d'où résultent les phénomènes d'influence.

Les premières mesures sont dues à Henry Cavendish (1731-1810), en Angleterre, et à Charles Augustin Coulomb (1736-1806), en France. Ces 2 savants différaient cependant dans leurs opinions.

Cavendish envisageait la théorie du fluide unique et Coulomb celle des 2 fluides.

Cavendish imaginait un fluide élastique dont les particules constituantes, ainsi que celles de l'« autre » matière, possédaient certaines propriétés de répulsion ou d'attraction mutuelle. Il parle du poids des grains du fluide électrique et suppose que la quantité de cette matière qui peut être recueillie dans un espace donné est limitée.

Les 2 expérimentateurs montrent que le fluide électrique renfermé dans un corps se porte toujours à sa surface. La notion de capacité d'un conducteur est due à Cavendish ainsi que la notion de degré d'électrification (le potentiel).

Simultanément se développait une théorie mathématique de l'électricité. La loi selon laquelle les forces entre les charges électriques varient comme l'inverse du carré de leur distance fut expérimentalement démontrée par le chimiste anglais Joseph Priestley en 1766.

Pour sa part le français C. Coulomb se servit de la balance de torsion pour mesurer avec précision les forces exercées par les charges électriques, confirmant les observations de Priestley et démontrant en outre que la force électrique s'exerçant entre 2 charges est proportionnelle au produit des charges individuelles.

2.2 - Les courants électriques

Cette analyse de l'électricité statique n'avait donné aucun moyen de produire du travail et n'avait pu conduire jusque-là à des applications.

En 1746, Louis Guillaume Le Monnier (1717-1799) obtint un « courant électrique » temporaire dans un long conducteur qu'il avait réuni aux armatures d'une bouteille de Leyde et observa que « la vitesse de la matière électrique parcourant un fil de fer est au moins trente fois plus grande que celle du son ».

Vers 1775, Walsh montra l'identité de l'électricité dégagée par les poissons torpilles avec celle que produit la décharge d'une bouteille de Leyde, et Cavendish construisit un poisson artificiel comportant un très grand nombre de condensateurs, ce qui lui permit d'étudier la résistance électrique de nombreuses solutions de divers sels, réalisant ainsi le premier travail sur « les équivalents chimiques ».

En 1791, Luigi Galvani (1737-1798), observant les contractions des membres d'une grenouille par interposition d'un arc métal entre 2 parties du tronc de l'animal, en conclut que les nerfs et les muscles sont chargés d'électricités contraires comme les armatures d'une bouteille de Leyde, mais il en resta à la conception de « l'électricité animale ».

2.3 - Découverte de la pile

Les mouvements des charges électriques, produisant un courant électrique, fut étudié par les physiciens italiens Luigi Galvani et Alessandro Volta.

Ce dernier remarqua à la suite d'expériences faites par Sulzer en suisse, que, si l'on place la langue entre 2 rondelles constituées par 2 métaux différents reliés par un fil conducteur, on éprouve une sensation acide ou alcaline suivant l'ordre dans lequel sont placés les 2 métaux. Ces expériences le conduisent à une classification des métaux du point de vue électrique.

Vers 1800, A. Volta (1745-1827) inventa un appareil entièrement nouveau : la pile , première source de courant continu, composée de disques de zinc et de cuivre, chaque couple métallique étant séparé du suivant par un carton humide. L'action de cet appareil était celle d'une grande batterie de condensateurs, mais il possédait l'immense avantage de se recharger instantanément. On pouvait produire ainsi à volonté du courant électrique.

La découverte de la pile électrique fut une véritable révolution dans ce domaine de la physique ; l'électricité, jusque-là statique, devient dynamique.

De son côté, Galvani observa la contraction des muscles chez la grenouille, lorsqu'en cours de dissection il leur appliquait un courant électrique : les phénomènes biologiques se révélaient, eux aussi de nature électrochimique.

Grâce à l'invention de Volta, la chimie progresse. Humphry Davy (1778-1829) décompose la soude et la potasse fondues, découvrant ainsi le sodium et le potassium. En 1812, Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) établit une théorie électrochimique de la matière en montrant que toute combinaison chimique est l'union d'un constituant électropositif et d'un constituant électronégatif.

Auguste de la Rive (1801-1873) montre que, dans une décomposition de solution chimique par l'électricité, les 2 constituants cheminent en sens inverse dans le liquide : les constituants électropositifs vers la cathode et les électronégatifs vers l'anode.

3 - L'électromagnétisme

3.1 - D'Oersted à Maxwell

Ayant observé dès le début du XVIII^{ème} siècle l'aimantation du fer par la foudre, on se préoccupa donc logiquement de savoir s'il existait des rapports entre l'électricité et le magnétisme.

Cette similarité entre les champs électriques et magnétiques fut explorée en 1819 par le chercheur danois Hans Christian Oersted (1777-1851), quand il observa qu'une aiguille aimantée (mobile sur pivot), placée parallèlement à un fil métallique et en dessous, quitte la direction du méridien magnétique pour se placer perpendiculairement au fil quand ce dernier est parcouru par un courant électrique : donc tout courant électrique génère dans son entourage un champ magnétique.

Suite à l'étude de ces phénomènes, le physicien français André-Marie Ampère (1775-1836) étudia l'action des courants électriques sur les aimants et élaborait la première théorie mathématique de l'électromagnétisme.

A l'aide des expériences précédentes et en observant l'aimantation du fer par les courants, François Arago (1786-1853) inventa l'électro-aimant.

Découvertes et applications se suivent alors avec une telle rapidité qu'il est difficile de faire un choix suivant leur importance et leur avenir.

Ainsi, Thomas Johann Seebeck (1770-1831) met en évidence les effets thermo-électriques (production de courant) qui se manifestent dans un circuit constitué de 2 métaux dont les 2 soudures se trouvent à des températures différentes. Il devenait donc possible de transformer l'énergie thermique en énergie électrique.

Le physicien allemand Georg Ohm (1789-1854) va établir la loi (en 1827) qui porte son nom en montrant que la différence de potentiel (U) entre 2 points d'un conducteur est proportionnelle à l'intensité (I) du courant, la constante de proportionnalité, nommée la résistance (R), dépendant de la nature du conducteur, de sa longueur et de sa section, supposée constante : $U=R.I$

Ce savant put établir puis généraliser sa loi en remplaçant les piles de Volta par des éléments thermo-électriques (cuivre-bismuth).

Le britannique Michael Faraday (1791-1867) démontra en 1831 qu'un courant circulant dans une bobine pouvait induire un second courant électrique dans une bobine voisine, par l'intermédiaire du champ magnétique : on parle de courant d'induction.

Les applications de cette découverte constitueront toute l'industrie électrique : génératrices de courant continu et alternatif, éclairage, moteurs, transport d'énergie à longue distance, transformateurs

Une nouvelle étape dans la compréhension des phénomènes électromagnétiques fut apportée en 1864 par le britannique James Maxwell (1831-1879) qui proposa une théorie devant relier champ électrique et magnétique et prévoyant de ce fait l'existence d'ondes électromagnétiques.

D'après ses calculs, ces ondes avaient même nature et même vitesse de propagation que les ondes lumineuses : par conséquent la lumière est elle-même un phénomène électromagnétique et il démontra qu'un rayonnement est obtenu par oscillation d'un champ électrique.

3.2 - Rayonnements

Le travail de J. Maxwell ouvrit la voie au physicien allemand Heinrich Hertz, qui produisit des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère en 1886, et à l'ingénieur italien Guglielmo Marconi, qui mit au point en 1896 le premier système de transmission et de réception de ces ondes radioélectrique.

4 - Les étapes de la prévision

4.1 - La théorie de Lorentz

Henrik Lorentz (1853-1928) édifia une théorie des électrons en associant à chacune des charges un champ électrique et un champ magnétique, et ce à une échelle microscopique où peuvent s'appliquer les conceptions de Maxwell.

L'ensemble des travaux qui précèdent devait conduire les physiciens de notre époque à considérer que tout courant électrique consiste en un déplacement d'ensemble de corpuscules électrisés, ces corpuscules pouvant être des ions positifs ou négatifs ou de simples électrons. Dans les métaux, ce sont des électrons dits libres qui sont responsables de ce phénomène, lequel n'entraîne aucun transport de matière. La charge élémentaire de l'électron fut évaluée en 1908 par Robert Millikan (1868-1953).

4.2 - Les travaux de Pierre Curie

Ses travaux ont porté sur des expériences concernant la superposition d'un champ électrique (tronc de cône) et d'un champ magnétique (cylindre tournant) ; mais aussi avec son frère Jacques, ils découvriront la piézo-électricité : phénomène qui consiste dans l'apparition de charges électriques de signes contraires aux extrémités de certains cristaux à la suite de pression que l'on exerce sur des faces particulières.

Les applications de ce phénomène conduiront, plus tard, Paul Langevin à utiliser les « quartz piézo-électriques » des Curie pour produire des ultrasons.

4.3 - Production et transport de l'électricité

Au XIX^{ième} siècle, on était bien loin des premières machines de Guericke. En 1869, Zénobe Gramme (1826-1901) invente la dynamo, appareil qui est rapidement perfectionné. En 1882, Marcel Deprez (1843-1918) réalise le premier transport d'énergie électrique en courant continu. Puis, à la même époque, l'invention du transformateur permet l'utilisation pratique du courant alternatif. En 1891, Nikola Tesla (1856-1943) obtient la transmission d'énergie électrique à grande distance, par fil (courant triphasé) avec ses compatriotes américains Thomas Edison et Charles Steinmetz.

Au XX^{ième} siècle, les réseaux électriques se constituent assurant la production (centrales thermiques, hydrauliques, marémotrices, nucléaires) , le transport et la distribution de l'énergie électrique.

LES RESEAUX ELECTRIQUES

IV - Les réseaux électriques (11), (5)

La production, le transport et la distribution de l'énergie électrique sont réalisés par un réseau, un ensemble complexe de sources d'énergie, les centrales et les lignes.

Les centrales électriques sont les usines où s'effectuent la transformation d'une source d'énergie « primaire » en énergie électrique.

On qualifie de primaires les sources d'énergie naturelle telles que le charbon, le pétrole, le gaz naturel, les chutes d'eau, la marée, le vent, le rayonnement solaire et l'uranium.

Selon la source d'énergie primaire employée, on distingue :

- les centrales thermiques (charbon, pétrole, gaz naturel)
- les centrales hydrauliques (chute d'eau)
- les centrales marémotrices (marée)
- les centrales nucléaires (uranium)
- les centrales éoliennes (vent)
- les centrales utilisant l'énergie solaire

Il est donc nécessaire d'utiliser comme intermédiaire une forme d'énergie aisée à produire et facilement transformable en énergie électrique : c'est l'énergie mécanique délivrée par une machine motrice rotative, la turbine, qui est universellement adoptée, la conversion finale en énergie électrique étant assurée par une machine réceptrice, également rotative, l'alternateur.

L'accouplement mécanique d'une turbine et d'un alternateur constitue ainsi l'unité de conversion fondamentale de toute centrale.

Lorsque l'énergie potentielle de la source primaire est de nature mécanique (chute d'eau, marée) la turbine assure directement la transformation en énergie mécanique de rotation avec un rendement qui peut être excellent (>80 %).

Par contre si l'énergie potentielle est de nature chimique ou nucléaire (uranium, pétrole, gaz, charbon) on ne sait jusqu'à présent que la dégrader sous forme de chaleur, qui est ensuite cédée à un fluide intermédiaire (vapeur d'eau, gaz) lequel entraîne finalement la turbine. Le rendement est alors limité par celui de la première transformation et ne dépasse guère 40 % .

Les réseaux électriques transportent l'énergie produite dans des centrales électriques implantées dans des lieux favorables, jusque chez l'utilisateur industriel (moyenne tension) et domestiques (basse tension).

Ils sont constitués de lignes aériennes ou souterraines et de postes organisés autour de 2 types d'appareils : les jeux de barres et les transformateurs.

On assigne à ces réseaux des rôles de distribution ou de transport.

1 - Les centrales électriques

1.1 - Les centrales hydrauliques

Utilisant l'énergie des chutes d'eau, ce type de centrale fut les premières usines à produire industriellement de l'énergie électrique au début du XX^e siècle.

Elles représentent 15 % de la production électrique en France.

Les principales caractéristiques d'une centrale hydraulique et du matériel qui l'équipe dépendent étroitement du site où elle est implantée :

- . hauteur de la chute (impose un certain type de turbines)
- . volume des précipitations annuelles
- . existence ou absence d'un réservoir en amont
- . capacité utile de ce réservoir

Lorsque aucune possibilité appréciable de stockage n'existe à l'amont de la centrale, celle-ci est dite au fil de l'eau et la puissance disponible suit l'évolution du débit de la rivière. Les centrales de cette catégorie sont en général implantées sur les cours d'eau importants (le Rhin, le Rhône...) et l'énergie qu'elles produisent sert à satisfaire les besoins minimaux du réseau puisque ces centrales ne disposent d'aucune marge pour moduler la puissance qu'elles délivrent.

Le mode d'exploitation est tout à fait différent s'il existe une retenue par un barrage, le principe étant d'accumuler l'eau en période de faible demande et de fournir aux usagers la puissance nécessaire en période de pointe (quelques heures par jour à quelques semaines ou mois par an). On rencontre de telles centrales principalement dans les régions montagneuses où l'établissement de barrages est aisé.

Les centrales sont maintenant incorporées à de véritables complexes hydro-électriques avec des canaux, galeries souterraines, barrages et centrales disposés en cascade de la source à l'embouchure.

En plus de l'utilisation de ce capital en houille blanche, ce type de complexe contribue à la régularisation des débits évitant les effets dévastateurs de certaines crues.

De plus des ouvrages destinés à l'irrigation ou à la navigation sont souvent incorporés à ces complexes.

Afin d'accroître les réserves d'eau disponibles aux heures de pointe, il est apparu rentable de créer, dans certains sites favorables, des stations de pompage, qui remontent dans une retenue en amont l'eau d'une retenue située plus en aval (aux heures creuses) lorsque le coût de production de l'énergie est au plus bas.

Dans la plupart des pays industrialisés la prépondérance de la production électrique est assurée par les centrales thermiques et nucléaires, les centrales hydrauliques constituant une solution intéressante dans les pays en cours de développement disposant de ressources inexploitées.

1.2 - Les centrales marémotrices

Il s'agit de centrales hydrauliques, alimentées en eau de mer, qui exploitent la dénivellation créée par les marées. Schématiquement, un estuaire ou une baie est fermé par un barrage muni de vannes, ces dernières sont ouvertes à marée montante et refermées lorsque le niveau de l'eau a atteint sa cote maximale.

La marée descendante crée une dénivellation croissante entre le plan d'eau de la retenue et le large, à partir de là l'eau de la retenue est conduite vers des turbines et retourne à la mer.

Ce cycle élémentaire est tributaire de l'heure des marées et ne permet aucune adaptation aux besoins essentiellement variables du réseau, ainsi il peut être assoupli par l'utilisation de turbines capables de fonctionner quel que soit le sens de la dénivellation en étant utilisées comme pompes de manière à accroître la réserve d'eau lors de faible marée.

En France, l'usine marémotrice construite sur l'estuaire de la Rance a permis la mise au point du groupe « bulbe », ensemble turbine-alternateur monobloc, compact, dont 24

exemplaires équipent cet ouvrages. De nombreux problèmes créés par l'agressivité corrosive de l'eau vis-à-vis des matériaux ont dû être résolus.

L'implantation d'une centrale marémotrice ne peut être envisagée que sur un site jouissant de marées de forte amplitude et permettant la création d'une retenue dans de bonnes conditions ; de tels sites sont peu nombreux dans le monde et des projets au Canada (baie de Fundy) et en Angleterre (estuaire de la Severn) n'ont pas abouti.

L'avènement de l'énergie nucléaire rend l'avenir des centrales marémotrices très incertain.

1.3 - Les centrales thermiques

Dans ces usines, l'énergie mécanique nécessaire à l'entraînement des alternateurs est fournie par la vapeur d'eau surchauffée dans les chaudières grâce à l'énergie thermique provenant de la combustion de charbon, lignite, fuel-oil ou gaz naturel suivant les cas.

L'importance des débits mis en jeu et l'obligation d'utiliser une eau très pure impose l'emploi d'un cycle fermé : l'eau condensée après sa détente en phase gazeuse dans la turbine est réintroduite dans la chaudière au moyen de pompes. L'apport extérieur d'eau pure est ainsi limité à la seule compensation des quelques pertes créées par des fuites inévitables.

Depuis 1945, ce type de centrale comporte un groupe turbo-alternateur alimenté par une seule chaudière; l'ensemble constitue une unité de production autonome, la tranche.

La puissance des unités de production atteint plusieurs centaines de mégawatts.

La consommation journalière de combustible d'une centrale thermique moderne s'élève à plusieurs milliers de tonnes de charbon ou de fuel-oil amenés par voie ferrée

ou fluviale si la centrale est éloignée des centres d'approvisionnement (mines, raffineries).

Le refroidissement des condensateurs des turbines nécessite un débit d'eau de plusieurs mètres cubes / seconde , prélevée et restituée à la rivière (refroidissement en circuit ouvert) plutôt que de construire des aéroréfrigérants coûteux (circuit fermé).

Le mode d'exploitation d'une centrale thermique varie au cours de son existence selon son coût de production, les périodes, son ancienneté et la demande.

Suite au premier choc pétrolier et la construction de centrales nucléaires ont donné un coup d'arrêt aux centrales thermiques expliquant leur déclassement et, en 1988, elles n'assuraient plus que 9 % de la production en France.

1.4 - Les centrales nucléaires

Héritières pacifiques d'efforts militaires, les premières firent leur apparition vers 1950. Leur principe est peu différent de celui des centrales thermiques conventionnelles, en ce sens qu'elles sont équipées de chaudières qui alimentent en vapeur des groupes turbo-alternateurs.

Toute la différence réside dans la constitution de ces chaudières.

L'énergie dégagée par la fission des atomes se transforme en chaleur au sein des barres d'uranium d'un réacteur. Cette énergie thermique est transportée par un fluide caloporteur (véhicule de la chaleur), qui peut être un gaz ou un liquide, des barreaux d'uranium à des échangeurs de chaleur où s'effectue son transfert à de l'eau, qui, transformée en vapeur, alimente les turbines.

La masse de combustible que requiert le fonctionnement d'une centrale nucléaire est faible par rapport à celui d'une centrale thermique conventionnelle : quelques centaines de tonnes / an au lieu de quelques milliers de tonnes / jour.

De plus, la proximité d'une rivière ou voie ferrée n'est pas impérative ainsi l'implantation de ce type de centrales s'en trouve facilitée.

La France est le premier utilisateur mondial d'énergie nucléaire qui représente environ 75 % de sa production.

1.5 - Les centrales éoliennes (ou fermes éoliennes)

Les éoliennes sont des machines destinées à convertir l'énergie du vent en énergie utile, mécanique ou électrique.

Cette énergie résulte de la force exercée par le vent sur les pales d'une hélice, elle-même montée sur un arbre rotatif relié :

- . soit à des systèmes mécaniques (qui servait à moudre le grain ou à pomper l'eau)
- . soit à un aérogénérateur ou turbine éolienne qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

Les premières roues éoliennes étaient des moulins à vent (utilisées par les perses au VII^{ième} siècle après J-C) et servaient à l'irrigation et au meulage. ils apparurent en France au XII^{ième} siècle et comportaient un arbre horizontal sur lequel des ailes composées de 4 à 8 aubes étaient relié à un système d'engrenage.

L'utilisation de turbines éoliennes pour produire de l'électricité débuta à la fin du XIX^{ième} siècle. De petit générateurs à turbine éolienne continuèrent de fournir l'électricité aux petites communautés rurales jusque dans les année 1930, bien que les lignes électriques commençaient à sillonner le pays.

Les aérogénérateurs actuels commencent en général à tourner lorsque la vitesse du vent atteint 19 km/h, atteignent leur puissance de croisière pour des vitesses entre 40 et 50 km/h et s'arrêtent pour des vents soufflant à environ 100 km/h.

Les aérogénérateurs les plus rentables pour une production électrique à grande échelle sont de taille moyenne avec des rotors de 15 à 30 m de diamètre et des puissances comprises entre 100 et 400 kw.

L'énergie éolienne, qui n'émet aucun gaz à effet de serre, est une solution intéressante pour remplacer les combustibles tels que le pétrole mais la France accuse un sérieux retard dans le développement de programme en matière d'énergie éolienne par rapport aux autres pays européens.

1.6 - Les centrales utilisant l'énergie solaire

L'absorption directe d'énergie solaire implique l'utilisation de dispositifs artificiels, appelés capteurs solaires, conçus pour capter l'énergie, parfois après concentration préalable des rayons du soleil.

Une fois captée, l'énergie est utilisée au sein d'un procédé thermique ou photoélectrique :

. dans les procédés thermiques, l'énergie solaire est utilisée pour chauffer un gaz ou un liquide, qui est ensuite stocké ou réparti.

. dans les procédés photoélectriques ou photovoltaïques, l'énergie solaire est directement convertie en énergie électrique sans mécanisme intermédiaire.

Il existe 2 principaux types de capteurs solaires :

- les capteurs plans, utilisés dans les procédés thermiques, interceptent le rayonnement solaire au moyen d'une plaque absorbante qui chauffe un fluide caloporteur (liquide ou air) jusqu'à 82 °C avec un rendement variant entre 40 et 80 %.

Ils sont employés de manière efficace pour l'eau chaude et le chauffage domestique, et le stockage thermique s'effectue généralement dans un accumulateur à pierres ou un réservoir d'eau bien isolé.

- les capteurs par concentration réfléchissent et focalisent optiquement l'énergie solaire incidente sur une petite surface captrice. Cette concentration entraîne une augmentation de l'intensité, et les températures obtenues sur le récepteur (cible) peuvent atteindre plusieurs centaines ou milliers de degré Celsius. Pour être efficaces, les concentrateurs ou réflecteurs doivent se déplacer pour suivre la course apparente du soleil, et les appareils utilisés à cet effet sont des héliostats.

L'une des applications principales des concentrateurs à haute température est celle des fours solaires.

2 - Architecture des réseaux d'énergie

2.1 - Les choix initiaux

Au XIX^e siècle, en France, les premiers réseaux construits pour la distribution en basse tension imposaient le courant continu.

Ce courant provenait de dynamos, (mises au point par Gramme vers 1870), installées dans une centrale au cœur de la ville.

Dès 1883, après l'invention du transformateur par Gaulard et Gibbs et de l'alternateur triphasé par Tesla, le courant alternatif à faible fréquence (16 ou 25 périodes) a concurrencé le courant continu, difficilement dans les villes, où ce type de distribution existait déjà, plus facilement entre les villes pour le transport de l'énergie électrique, la possibilité de passage entre des installations à tensions différentes étant plus facile.

C'est seulement vers les années 1950 que les derniers réseaux de distribution à courant continu ont disparu, le système alternatif triphasé est aujourd'hui universellement adopté ; mais l'accord mondial sur la fréquence n'a pas pu se faire à temps, l'Europe adoptant 50 Hz, les Etats-Unis et le Canada 60 Hz.

L'utilisation de la même fréquence a permis aux réseaux voisins de fusionner à des échelles de plus en plus vastes et donc à des niveaux de tension plus élevés ; cette interconnexion permet d'accroître la sécurité d'alimentation, tout en réduisant les puissances en réserve, dans le but d'assurer des secours aux sources défaillantes.

De nos jours, la technique actuelle du courant continu présente des avantages économiques pour le transport d'énergie à très haute tension (mais non pour la distribution) sur des distances de plus de 600 kilomètres ou pour la traversée d'un bras de mer (ex : connexion du réseau électrique français et anglais, suédois et danois...).

2.2 - Structure des réseaux

L'ensemble du réseau utilise du courant triphasé (courant d'intensité égale dans les 3 fils de phase, mais décalé d'une période), la seule exception concerne les réseaux à basse tension, car des usagers utilisant le courant monophasé y sont raccordés.

Les cartes de réseaux se présentent sous l'aspect d'une toile d'araignée pouvant former 2 structures : radiale ou maillée

- la structure maillée : les tronçons de lignes interconnectés forment des mailles comme celles d'un filet ; de ce fait, l'énergie peut trouver plusieurs chemins pour aller de la source (centrale ou poste d'alimentation) à l'utilisateur, ce qui assure une grande sécurité mais la protection en cas d'avarie est plus compliquée. Ce type de réseau est utilisé dans le cas où la sécurité d'alimentation est primordiale pour la distribution à basse tension des grandes métropoles et pour le transport à très haute tension.

- la structure radiale : le réseau s'organise comme un arbre, l'énergie canalisée d'abord dans le tronc, appelé artère ou feeder, s'écoule ensuite dans les branches ou dérivations : il n'y a qu'un seul chemin entre la source et un utilisateur donné, mais la sécurité moindre par rapport à l'autre réseau est compensée par une facilité de protection et donc d'automatisation. Les réseaux de répartition et de distribution à moyenne tension sont habituellement de structure radiale.

2.3 - Classement des installations en fonction des tensions

Les installations électriques de toute nature sont réparties en 5 domaines en fonction de la plus grande des tensions nominales existant aussi bien entre 2 conducteurs qu'entre l'un d'eux et la terre (décret du 14 novembre 1988).

Domaine	Abréviation	Tension alternative en volts	Tension continue lisse en volts
Très basse tension...	TBT	≤ 50	≤ 120
Basse tension A	BTA	> 50 ≤ 500	> 120 ≤ 750
Basse tension B.	BTB	> 500 ≤ 1000	< 750 ≤ 1500
Haute tension A	HTA	> 1000 ≤ 50000	> 1500 ≤ 75000
Haute tension B	HTB	> 50000	> 75000

2.4 - Transport et distribution du courant alternatif

Le réseau électrique est divisé en 2 grandes parties suivant les tensions :

- les tensions supérieures à 50 kilovolts (Haute Tension B) sont placées sous le contrôle du Service Production Transport d'EDF.
- les tensions plus faibles (Haute Tension A , Basse Tension B et A) sont distribuées à l'utilisateur par Electricité Gaz Service Distribution (EGS Distribution) , service d'EDF.

2.4.1 - Transport

Au niveau des centrales de production EDF (nucléaires, hydrauliques,...) de puissants alternateurs produisent un courant alternatif triphasé de 50 Hertz sous une tension de 20 kilovolts.

Le transport de cette électricité à longue distance ne peut être effectué économiquement que si l'on élève la tension en ligne. Aussi, la centrale de production comporte un transformateur élevant la tension de 20 à 380 kilovolts.

Le développement moderne des redresseurs semi-conducteurs haute tension permet la conversion économique de courant alternatif haute tension en courant continu haute tension qui est la forme sous laquelle l'électricité est transportée, évitant ainsi des pertes de transmission capacitatives et inductives.

Le transport est ainsi effectué jusqu'à des stations d'interconnexion et de transformation (où le courant est converti sous forme alternatif) par l'intermédiaire de câbles.

Le but de ces stations est double :

- recevoir des lignes provenant d'autres centrales et palier une éventuelle anomalie de production de l'une d'entre elles.

- abaisser la tension de 380 à 225 Kv voire 90 Kv.

L'électricité est ensuite acheminée jusqu'à des transformateurs dits « Poste Source », dernier élément du réseau de transport à proprement parler, qui abaisseront la tension en ligne à 20 Kv.

Ces postes sources seront placés à proximité des zones d'utilisation de l'électricité.

L'ensemble constitue un réseau maillé.

2.4.2 – Distribution aux utilisateurs

Selon la puissance électrique demandée par l'utilisateur, la distribution sera assurée par :

- un poste d'abonné HT /BT (centres de recherche, entreprises industrielles...)

- un poste de distribution publique, où le réseau d'alimentation HTA est transformé en un réseau de distribution publique qui permettra de fournir un courant triphasé de 240 V ou 380 V, ou un courant monophasé de 240 V.

2.5 – Les principaux matériels

Les lignes électriques sont composées de câbles et de leurs supports. Le courant étant alternatif triphasé, le circuit est composé de 3 câbles correspondant aux 3 phases.

L'isolement d'un matériel est très onéreux ; aussi l'air réalise un isolement simple à condition de placer les conducteurs à une hauteur et à une distance des supports d'autant plus grandes que la tension de la ligne est plus élevée.

On les suspend à ces supports :

. il s'agit des poteaux en bois ou en béton pour les lignes moyenne ou basse tension.

. les pylônes sont en métal pour les lignes haute ou très haute tension

Par souci d'esthétique, on cherche à cacher les lignes aériennes dans la mesure du possible en limitant les pylônes et en regroupant 2 circuits sur un même pylône.

Les lignes sont suspendues aux pylônes par des chaînes d'isolateurs en porcelaine.

Aux alentours des grandes agglomérations, on les rassemble dans des couloirs étroits figurant dans les plans d'urbanisme et comme les lignes aériennes présentent un risque, la distribution se fait par câbles souterrains (dont le coût est 15 à 20 fois supérieur).

Par sécurité, l'exploitation des réseaux nécessite l'emploi de nombreux appareils de coupure (ou coupe-circuit) que l'on classe en 4 catégories :

- les sélectionneurs
- les interrupteurs
- les disjoncteurs
- les fusibles (pour les installations domestiques).

LA REGLEMENTATION

V - Réglementation sur les installations électriques et la protection des travailleurs

Depuis l'origine de son industrialisation, l'électricité est sans doute l'agent physique qui bénéficie du plus grand foisonnement de textes réglementaires et normatifs.

Ces publications sont le fruit de travaux nationaux (Ministères du Travail et de l'Industrie, de l'Agriculture, de la Santé, Association Française de Normalisation [AFNOR], l'Union Technique de l'Electricité [UTE]), Européens [CENELEC] et Internationaux [ISO]. Elles ont pour objectif d'assurer la prévention humaine et matérielle des accidents.

Au cours de ce chapitre , il a été effectué une classification des principales réglementations afin de simplifier toutes recherches ; ainsi il suffira de se rapporter à l'annexe qui comporte l'intégralité des textes . (7), (15), (23)

1 - Etablissements visés

1.1 - Etablissements soumis au code du travail

Sont concernés les établissements appartenant au chapitre I (dispositions générales), titre III (hygiène, sécurité et conditions de travail), livre II (réglementation du travail) et Art.L.231-1 et L.231-1-1 du code du travail.

1.2 - Etablissements publics de l'état et des collectivités territoriales

Sont concernés les établissements répondant aux :

- *Décret* n°82-453 du 28 mai 1982 modifié par décret n°84-1029 du 23 novembre 1984 et par décret n°95-680 du 9 mai 1995, relatif à l'hygiène et à la sécurité du travail ainsi qu'à la prévention médicale dans la fonction publique
- *Circulaire* FP/4 n°1871 du 24 janvier 1996 concernant l'application du décret n°82-453 du 28 mai 1982 modifié par décret n°95-680 du 9 mai 1995
- *Décret* n°85-603 du 10 juin 1985 modifié par décret n°85-1230 du 23 novembre 1985 et décret n°88-544 du 6 mai 1988, relatif à l'hygiène et à la sécurité du travail ainsi qu'à la médecine professionnelle et préventive dans la fonction publique territoriale

2 - Protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques

2.1 - Décret n°88-1056 du 14 novembre 1988 modifié et circulaire d'application modifiée

Ce chapitre concerne . le *décret* n°88-1056 du 14 novembre 1988 modifié par décret n°95-608 du 6 mai 1995

. la *Circulaire d'application* DRT 89-2 du 6 février 1989 modifié le 29 juillet 1994 (ministère du Travail et de l'Agriculture)

Ce décret remplace, depuis le 1^o janvier 1989, le décret n°62-1454 du 14 novembre 1962 dont certaines dispositions restent toutefois applicables aux installations électriques.

Afin de faciliter l'utilisation de ce décret, voici le sommaire article par article :

Section I : Généralités

art. 1 champs d'application

__ 2 définitions

__ 3 classement des installations en fonction des tensions

Section II : Conditions générales auxquelles doivent satisfaire les installations

art. 4 normes de sécurité obligatoires

__ 5 dispositions générales

__ 6 identification des circuits, des appareils et des conducteurs

__ 7 installations à très basse tension

__ 8 limitation des domaines de tension pour certains appareils récepteurs et

dispositions particulières applicables à certains matériels d'utilisation

__ 9 séparation des sources d'énergie

__ 10 coupure d'urgence

__ 11 interdiction d'utiliser la terre ou les masses comme partie d'un circuit actif

__ 12 prises de terre et conducteurs de protection

__ 13 section des conducteurs de terre et des liaisons équipotentielles

__ 14 résistances de terre, conducteurs de terre

__ 15 installation de sécurité

Section III : Protection des travailleurs contre les risques de contact avec des conducteurs actifs ou des pièces conductrices habituellement sous tension (contact direct)

art.16 mise hors de portée des conducteurs actifs et des pièces conductrices sous tension

- __ 17 mise hors de portée par éloignement
- __ 18 mise hors de portée au moyen d'obstacles
- __ 19 mise hors de portée par isolation
- __ 20 culots et douilles, prises de courant, prolongateurs et connecteurs
- __ 21 lignes de contact
- __ 22 à 27 locaux et emplacements de travail à risque particuliers de choc électrique
- __ 28 installations mobiles à risques particuliers de choc électrique

Section IV : Protection des travailleurs contre les risques de contact avec des masses mises accidentellement sous tension (contact indirect)

art. 29 dispositions générales

Sous-section I

__ 30 installation à courant alternatif. Types de mesures de protection

A. Protection contre les contacts indirects par mise à la terre des masses et par coupure automatique de l'alimentation

- __ 31 généralités
- __ 32 installations électriques réalisées suivant le schéma TN (mise au neutre)
- __ 33 installations réalisées suivant le schéma TT (neutre directement relié à la terre)
- __ 34 installations électriques réalisées suivant le schéma IT (neutre isolé ou neutre relié à la terre par une impédance limitant le courant de défaut)

__ 35 liaison équipotentielle supplémentaire

B. Protection contre les courants indirects sans mise à la terre et sans coupure de l'alimentation

__ 36 double isolation ou isolation renforcée

__ 37 impédance de protection

__ 38 protection complémentaire

__ 39 protection par séparation des circuits

Sous-section II

__ 40 installation à courant autre qu'alternatif. Types de mesures de protection

Section V : Prévention des brûlures, incendies et explosions d'origine électrique

Art. 41 réalisation des installations

__ 42 interrupteurs, coupe-circuit, disjoncteurs, matériel contenant un diélectrique

liquide inflammable

__ 43 locaux ou emplacements présentant des dangers d'incendie

__ 44 zone présentant des risques d'explosion

Section VI : Utilisation, surveillance, entretien et vérification des installations

électriques

art. 45 généralités

__ 46 prescriptions au personnel

__ 47 surveillance des installations

__ 48 généralités sur les travaux, sur les installations ou à proximité d'installations

électriques

__ 49 travaux effectués hors tension

- ___ 50 travaux effectués sous tension
- ___ 51 travaux exécutés au voisinage des pièces sous tension
- ___ 52 dispositions à prendre après un incident
- ___ 53 vérifications initiales et périodiques
- ___ 54 vérification sur mise en demeure
- ___ 55 dossier tenu à la disposition de l'inspecteur du travail

Section VII : Mesures diverses

Art. 56 formation requise pour administrer les premiers soins

- ___ 57 dérogations
- ___ 58 arrêtés d'application
- ___ 59 entrée en vigueur
- ___ 60 dispositions applicables lors de travaux de renouvellement ou en cas de reconstruction
- ___ 61 dispositions applicables aux autres installations existantes

2.2 - Arrêtés d'application du décret n°88-1056 du 14 novembre 1988

modifié (ministère du Travail et de l'Agriculture)

- *Arrêté* du 7 décembre 1988 relatif aux modes d'alimentation des matériels électriques portatifs à main à l'intérieur des enceintes conductrices exigües
- *Arrêté* du 8 décembre 1988 relatif aux dispositions assurant la mise hors de portée des parties actives au moyen d'obstacles dans les locaux et emplacements de travail autres que ceux à risques particuliers de choc électrique
- *Arrêté* du 9 décembre 1988 fixant les dispositions particulières applicables à certains

locaux ou emplacements de travail réservés à la production, la conversion ou la distribution de l'électricité

- *Arrêté* du 12 décembre 1988 fixant les dispositions particulières applicables aux installations de galvanoplastie et d'électrophorèse, aux cellules d'électrolyse et aux fours électriques à arc
- *Arrêté* du 13 décembre 1988 fixant les dispositions particulières applicables à certains laboratoires, plates-formes d'essais et ateliers pilotes
- *Arrêté* du 14 décembre 1988 relatif aux circuits électriques mis en œuvre dans le soudage électrique à l'arc et par résistance et dans les techniques connexes
- *Arrêté* du 15 décembre 1988 fixant les modalités pratiques de réalisation de mesures de protection contre les contacts indirects
- *Arrêté* du 8 janvier 1992 fixant les modalités pratiques de réalisation des mesures de protection contre les contacts indirects dans les installations électriques du domaine BT entrant dans le champ d'application de la norme NF C 15-100 homologuée par décision du 13 mai 1991
- *Arrêté* du 16 décembre 1988 fixant les modalités pratiques de mise en œuvre des mesures de protection contre les effets thermiques en service normal et en cas de surintensités
- *Arrêté* du 9 janvier 1992 fixant les modalités pratiques de mise en œuvre des mesures de protection contre les effets thermiques en service normal et en cas de surintensités dans les installations électriques du domaine BT entrant dans le champ d'application de la norme NF C15-100 homologuée par décision du 13 mai 1991
- *Arrêté* du 19 décembre 1988 relatif aux conditions d'installation des matériels électriques sur les emplacements présentant des risques d'explosion

- *Arrêté* du 20 décembre 1988 modifié par arrêté du 10 janvier 1992 fixant la périodicité l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports relatifs aux dites vérifications
- *Arrêté* du 21 décembre 1988 modifié par arrêté du 23 décembre 1992 et arrêté du 20 mars 1996 relatif aux conditions et modalités d'agrément des personnes ou organismes pour la vérification des installations électriques
- *Arrêté* du 17 janvier 1989 fixant les mesures de prévention des risques d'incendie présentés par l'épandage et l'inflammation des diélectriques liquides inflammables utilisés dans les matériels électriques
- *Arrêté* du 2 février 1989 portant dérogation aux prescriptions des articles 11 et 16 du décret du 14 novembre 1988 pour l'utilisation des installations de pêche à l'électricité
- *Arrêté* du 26 février 1993 relatif à l'anesthésie électrique ou à l'électrocution des animaux d'élevage

2.3 - Obligations des chefs d'établissement

Sont comprises dans :

- *code du travail* : . le chapitre II (hygiène, aménagement des lieux de travail, prévention des incendies)
 - . section IV (prévention des incendies-évacuation)
 - . articles R.232-12-7, R.232-12-13 à R.232-12-15
- *Arrêté* du 4 novembre 1993 relatif à la signalisation de sécurité et de santé du travail (ministère du Travail)

- *Décret* n°72-1120 du 14 décembre 1972 relatif au contrôle et à l'attestation de la conformité des installations électriques intérieures aux règlements et normes de sécurité en vigueur (ministère du Développement Industriel et Scientifique)

2.4 - Obligations des maîtres d'ouvrage

Sont retrouvées dans :

- *code du travail* : article R.235-3-5
- *Arrêté* du 4 août 1992 fixant les dispositions à prendre pour la prise de terre des masses lors de la construction de nouveaux bâtiments ou de l'extension de bâtiments destinés à abriter des lieux de travail (ministères de l'Équipement, du Travail et de l'Agriculture)

2.5 - Premiers soins à donner aux victimes d'accidents électriques

Sont contenus dans :

- *Décret* n°78-72 du 20 janvier 1978 modifié par le décret n°92-141 du 14 février 1992 (ministères de l'Intérieur, de l'Agriculture, de l'Industrie, du Travail, de la Santé et l'Équipement)
- *Arrêté* du 14 février 1992 fixant les consignes relatives aux premiers soins à donner aux victimes d'accidents électriques (ministères de l'Intérieur, de l'Agriculture, de l'Industrie, du Travail et de la Santé)

2.6 - Circuits et installations de sécurité

Sont régis par :

- *Arrêté* du 10 novembre 1976 modifié par arrêté du 7 juillet 1980
- *Circulaire* RT n°7/77 du 27 juin 1997 concernant l'application de l'arrêté du 10 novembre 1976
- *Note technique* SEC/EL n°1 du 28 septembre 1979 relative aux solutions techniques pouvant être mise en œuvre en vue de l'application de l'arrêté du 10 novembre 1976 sur les circuits et installations de sécurité (ministère du Travail)

2.7 - Protection contre la foudre

Est concernée par :

- *Arrêté* du 28 janvier 1993 concernant la protection contre la foudre de certaines installations classées (ministère de l'Environnement)
- *Circulaire* n°93-17 du 28 janvier 1993 relative à la protection de certaines installations classées contre les effets de la foudre (ministère de l'Environnement)

3 - Conception et utilisation des matériels électriques

3.1 - Matériels alimentés en basse tension

Sont compris dans :

- *Décret* n°95-1081 du 3 octobre 1995 relatif à la sécurité des personnes, des animaux et des biens lors de l'emploi des matériels électriques destinés à être employés dans certaines limites de tension (ministère de l'Industrie)
- 2 *Avis* relatifs à l'application du décret n° 95-1081 du 3 octobre 1995 (conformité des matériels et organismes de contrôle)

3.2 - Construction et utilisation du matériel électrique utilisable en atmosphère explosive

Sont retrouvés dans :

- *Décret* n°96-1010 du 19 novembre 1996 relatif aux appareils et aux systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosive (ministère de l'Industrie)
- *Arrêté* du 20 décembre 1996 portant habilitation d'organismes pour la mise en œuvre des procédures d'évaluation de la conformité des matériels et des systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosive (ministère de l'Industrie)
- *Arrêté* du 3 mars 1997 définissant un modèle de déclaration CE de conformité et le contenu de l'attestation écrite de conformité d'un composant pour l'application du décret n°96-1010 du 19 novembre 1996 (ministère de l'Industrie)

- *Décret* n°78-779 du 17 juillet 1978 modifié par décrets n°81-440 du 5 mai 1981 et n°89-817 du 2 novembre 1989 portant règlement de la construction du matériel électrique utilisable en atmosphère explosive (en vigueur jusqu'au 30 juin 2003)
(ministère de l'Industrie)
- *Arrêté* du 5 mai 1994 modifié par arrêtés du 17 janvier 1995 et du 22 décembre 1997 portant dispositions relatives à la certification du matériel utilisable en atmosphère explosive dans les lieux autres que les mines grisouteuses
(ministère de l'Industrie)
- *Arrêté* du 31 mars 1980 portant réglementation des installations électriques des établissements réglementés au titre de la législation sur les installations classées et susceptibles de présenter des risques d'explosion (ministère de l'Environnement)

3.3 - Compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électroniques

Est contenue dans :

- *Décret* n°92-587 du 26 juin 1992 modifié par décrets n°95-283 du 13 mars 1995 et n°96-215 du 14 mars 1996 (ministères de la Justice, de l'Economie, du Budget, de l'Industrie, des Postes et Télécommunications)

3.4 - Utilisation des lampes portatives dites « baladeuses » et des cordons prolongateurs enroulés sur tambour

Dépend de :

- *Lettre-Circulaire* NG/RM n°1917 du 15 décembre 1987 (ministère du Travail)

3.5 - Comportement au feu des canalisations

Est retrouvé dans :

- Arrêté du 21 juillet 1994 portant classification et attestation de conformité du comportement au feu des conducteurs et câbles électriques, et agrément des laboratoires d'essais (ministère de l'Intérieur)

3.6 - Ioniseurs d'air

- *Avis* du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (section évaluation des risques de l'environnement sur la santé) du 25 novembre 1992 relatifs aux appareils dits épurateurs autonomes et aéro-ioniseurs

4 - Travaux effectués au voisinage d'installations électrique

4.1 - Travaux au voisinage de lignes, canalisations et installations électriques

Sont compris dans :

- *Décret* n°65-48 du 8 janvier 1965 modifié concernant les mesures particulières de protection et de salubrité applicables aux établissements dont le personnel exécute des travaux du bâtiment, des travaux publics et tous autres travaux concernant les immeubles (titre XII, ministère du Travail)
- *Circulaire* du 29 mars 1965 relative à l'application du décret n°65-48 du 8 janvier 1965 (ministère du Travail)
- *Arrêté* du 3 mars 1965 fixant le modèle de l'attestation de mise hors tension et d'avis de cessation de travail (ministère du Travail)

4.2 - Travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution

Sont rassemblés dans :

- *Décret* n°91-1147 du 14 octobre 1991 relatif à l'exécution de ce type de travaux (décret interministériel)
- *Arrêté* du 16 novembre 1994 pris en application des articles 3, 4, 7 et 8 du décret n°91-1147 du 14 octobre 1991 (arrêté interministériel)

5 - Dispositions applicables aux ouvrages de production et de distribution publique d'énergie électrique

Sont contenues dans :

- *Décret* n°82-167 du 16 février 1982 relatif aux mesures particulières destinées à assurer la sécurité des travailleurs contre les dangers d'origine électrique lors des travaux de construction, d'exploitation et d'entretien des ouvrages de distribution d'énergie électrique
- *Circulaire* du 11 mai 1982 relative aux mêmes mesures que le décret précédent
- *Arrêté* du 17 janvier 1989 portant approbation d'un recueil d'instructions générales de sécurité d'ordre électrique (ministère du Travail et de l'Industrie)
- *Arrêté* du 2 avril 1991 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique (ministère de l'Industrie, de l'Équipement, des Télécommunications et de l'Environnement)

6 - Utilisation des PCB (polychlorobiphényle)

- *Décret* n°87-59 du 2 février 1987 modifié par décrets n°92-1014 du 2 octobre 1992 et n°97-503 du 21 mai 1997 relatif à la mise sur le marché, à l'utilisation et à l'élimination des polychlorobi- et -terphényles (ministères de l'Équipement, de l'Industrie, des Finances et du Travail)
- *Arrêté* du 9 septembre 1987 relatif à l'utilisation des PCB et PCT (ministères des Finances, de l'Intérieur, de l'Industrie, des P. et T, de l'Environnement et de la Santé)

- *Lettre-Circulaire* DRT n°86-4 du 14 mars 1986 relative aux risques présentés par le pyralène et par ses produits de décomposition (ministère du Travail)
- *Arrêté* type n°355-A joint à la circulaire du 11 mars 1986 relative aux PCB et PCT (ministère de l'Environnement)
- *Circulaire* du 30 septembre 1985 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement : installations utilisant ou mettant en œuvre des PCB (ministère de l'Environnement)

7 - Prévention des risques électriques dans les établissements d'enseignement technique et professionnel

- *Note* de service n°97-018 du 15 janvier 1997 sur la formation à la prévention des risques électriques (ministère de l'Education nationale)
- *Circulaire* n°98-031 du 23 février 1998 sur la prévention des risques d'origine électrique dans le cadre des formations dispensées par les établissements scolaires (ministère de l'Education Nationale)

8 - Textes divers

- *Circulaire* n°86-92 du 23 décembre 1986 relative aux conditions d'utilisation des canalisations de distribution d'eau pour la mise à la terre des installations électriques dans les immeubles existants (ministère de la Santé)
- *Circulaire* Tr.22/49 du 15 novembre 1949 relative à la prévention des dangers de l'électricité statique (ministère de la Santé)

9 – Règlement de sécurité concernant les établissements recevant du public et les immeubles de grande hauteur

Est compris dans :

- *Arrêté* du 18 octobre 1977 portant règlement de sécurité pour la construction des immeubles de grande hauteur et leur protection contre les risques d'incendie et de panique
- *Arrêté* du 2 octobre 1978 relatif aux blocs autonomes d'éclairage de sécurité dans les établissements recevant du public
- *Arrêté* du 25 juin 1980, modifié, portant approbation des dispositions générales du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (extraits)

10 – Règlement concernant la fabrication et l'utilisation des matériels électriques

10.1 – Perturbations radioélectriques

- *Arrêté* du 16 mars 1962 fixant la liste et les caractéristiques des installations électriques dont la mise en exploitation sur l'ensemble du territoire national est soumise à autorisation préalable
- *Circulaire* du 16 mars 1962 relative à l'application de l'arrêté du 21 août 1953 modifiée par l'arrêté du 16 mars 1962, établissant la liste et les caractéristiques du matériel électrique dont la mise en service, la modification ou la transformation sont soumises à autorisation préalable

dans les zones de garde radioélectriques et de l'arrêté du 16 mars 1962 établissant la liste et les caractéristiques des installations électriques dont la mise en application sur l'ensemble du territoire national est soumise à autorisation préalable

- *Décret* n°92-587 du 26 juin 1992 relatif à la compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électroniques (cf paragraphe 3.3)
- *Arrêté* du 15 septembre 1992 portant mise en application du décret n°92-587 du 26 juin 1992 modifié relatif à la compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électroniques
- *Avis* du 11 mai 1996 relatif à l'application du décret n°92-587 du 26 juin 1992 modifié relatif à la compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électroniques
- *Avis* du 22 juin 1996 relatif à l'application du décret n°92-587 du 26 juin 1992 modifié relatif à la compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électroniques, modifié par le décret n°95-283 du 13 mars 1995
- *Avis* du 17 avril 1997 relatif à l'application du décret n°92-587 du 26 juin 1992 modifié relatif à la compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électroniques

10.2 – Matériels destinés à être employés dans certaines limites de tension

- *Arrêté* du 6 février 1976 relatif à la sécurité de l'emploi de matériels électriques dans certaines limites de tension
- *Décret* n°81-1238 du 30 décembre 1981 relatif à la sécurité des prises de courant électrique
- *Décret* n°95-1081 du 3 octobre 1995 relatif à la sécurité des personnes, des animaux et des biens lors de l'emploi des matériels électriques destinés à être employés dans certaines limites de tension (cf paragraphes 3.1)

EPIDEMIOLOGIE

VI – Epidémiologie

1 – Généralités (33)

Grâce à ses multiples applications, notamment médicales, l'électricité contribue chaque jour à la sauvegarde de milliers de vies. Malheureusement, des électrisations sont encore à déplorer, fait d'autant plus regrettable que des moyens de prévention efficaces, simples et peu coûteux permettent de les éviter.

Il est difficile de connaître avec précision le nombre total d'électrisations survenant en France, surtout ceux se produisant en milieu domestique.

Ces accidents provoquent fréquemment des brûlures (mais leur absence n'est pas synonyme de bénignité) associées à d'autres lésions (cf chapitre VIII).

L'accident en basse tension concerne les 220 volts monophasés de distribution domestique et les 380 volts triphasés de distribution pour ateliers. Il s'agit le plus souvent d'un accident domestique dont les principales victimes sont les enfants et les bricoleurs imprudents, mais aussi de manipulations d'appareils électriques défectueux en particulier dans la salle de bain.

Les conducteurs à haute tension sont situés hors de portée de la population, aussi les accidents avec ce type de conducteurs concernent les monteurs EDF sur les réseaux aériens de distribution et les ouvriers travaillant dans les centrales, les transformateurs et les centres de répartitions.

Cependant, certaines personnes peuvent entrer en contact accidentellement ou par imprudence avec une ligne haute tension lors de jeux d'enfants ou d'adolescent escaladant les pylones EDF, de contact avec une caténaire du réseau ferroviaire ou un

conducteur aérien par l'intermédiaire d'une tige métallique, d'une chute de deltaplane sur une ligne haute tension

Les seules données statistiques précises concernent les accidents électriques mortels. L'incidence annuelle des décès d'origine électrique, en France, est de 0,24 pour 100.000 habitants.

Durant la période 1980-1993, il a été recensé une moyenne annuelle de 138 morts. Les hommes étant nettement plus exposés que les femmes (cf statistique chap.X).

2 – Origines des accidents électriques

2.1 – Electricité naturelle

2.1.1 – Poissons électrogènes (15), (33)

Certains animaux possèdent des fonctions électrogènes dues aux électroplaques dérivées des muscles. Le plus connu est le gymnote, silure sud américain, poisson osseux dont le corps se comporte comme un générateur électrique avec un pôle céphalique positif et un pôle caudal négatif. Les décharges délivrées par ce poisson atteignent 550 volts et peuvent paralyser de gros animaux ; chez l'homme, elles déclenchent des douleurs vives, voire syncopales à l'origine de noyade secondaire d'un baigneur.

En France, seule la raie torpille provoque des incidents. La tension atteint 200 volts, mais la décharge, trop brève, n'engendre qu'une parésie très désagréable du membre soumis à cette onde amortie.

2.1.2 – La foudre (19), (33), (34), (41)

Il s'agit de la forme d'électricité naturelle la plus dangereuse.

La foudre est un courant atmosphérique complexe, sous forme d'un éclair résultant de la jonction entre un traceur descendant négatif (né d'un volumineux nuage orageux) et une prédécharge ascendante positive (née d'une aspérité au sol, tel un arbre ou une personne). Cette décharge atteint en quelques microsecondes un pic de 25.000 ampères (en moyenne) qui décroît rapidement pour devenir un courant persistant de l'ordre de 100 ampères. La tension aux bornes du corps atteint 300000 volts ; la résistance du corps ne dépassant guère 300 ohms, un courant de 1000 ampères traverse le corps pendant quelques microsecondes. Du fait d'une différence de potentiel élevée entre les points d'entrée et de sortie, l'amorçage d'un arc de contournement, à l'extérieur du corps, est rendu possible dans la plupart des cas. Cela explique que l'intensité du courant traversant le corps chute subitement de 1000 à 10 ampères (en moyenne 4) tout comme la différence de potentiel qui passe à 3000 volts ($U = R.I$).

La majeure partie du courant chemine donc à la surface du corps et l'extrême brièveté de la décharge (4 ampères pendant 15 millièmes de secondes en moyenne) explique que les brûlures profondes soient tout à fait exceptionnelles.

L'échauffement brutal de l'air, à 30000°C, sur le trajet de la foudre entraîne une explosion à l'origine d'un phénomène de blast qui, associé aux effets de l'électrisation et à des traumatismes multiples, expliquent le polymorphisme et la complexité de la kéraunopathologie.

Les mécanismes de décès par foudroiement sont la fibrillation ventriculaire par passage transthoracique du courant ainsi que l'inhibition des centres respiratoires centraux (le trajet tête-pieds est le plus fréquent). Sont également à noter les lésions

cérébrales graves provoquées par le blast ou les chutes secondaires. Le traitement immédiat d'un foudroyé en état de mort apparente est le même que pour un électrisé.

Cliniquement plusieurs manifestations sont observées :

- . les manifestations neurologiques peuvent être des troubles de la conscience (de la perte de connaissance au coma profond), des troubles mnésiques (amnésie rétrograde) et les kéraunoparalysies (troubles sensitifs et moteurs transitoires associés à des douleurs intolérables rebelles au traitement pendant plusieurs jours).

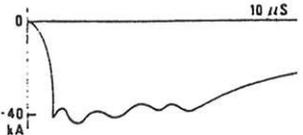
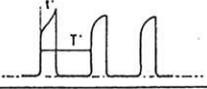
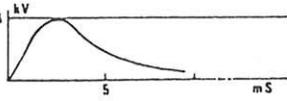
- . les atteintes encéphaliques et médullaires dues au seul effet de passage du courant (hématomes cérébraux et médullaires, œdème cérébral) sont responsables de séquelles graves.

Les atteintes périphériques n'ont que peu de récupération avec des séquelles invalidantes.

- . les troubles psychiques se manifestent par un syndrome de stress post-traumatique (« fear of storm » pour les anglo-saxons) ; Exemple rapporté par Dollinger, au sujet de 38 enfants victimes de la foudre lors d'un match de football et qui ont présenté des troubles du sommeil avec énurésie, une anxiété lors de chaque orage et un état dépressif. (8)

- . les manifestations cardiovasculaires se traduisent par des troubles du rythme cardiaque (tachycardie, fibrillation ventriculaire et auriculaire), de conduction (bloc de branche) et des infarctus.

- . les brûlures électrothermiques sont en général peu profondes du fait de l'arc externe de contournement, parfois absentes ou à la limite de la visibilité. Ailleurs elles ressemblent à des traces arborescentes ou en forme de feuille de fougère sur fond érythémateux (les figures de Lichtenberg) pathognomoniques de la foudre.

	Origine du signal	Fréquence/durée d'onde	Forme d'onde
ÉLECTRICITÉ D'ORIGINE NATURELLE	<ul style="list-style-type: none"> Poissons électrogènes : <ul style="list-style-type: none"> mormyridés raies diverses torpille 	Quelques centaines de hertz et quelques μ s.	Complexe
	<ul style="list-style-type: none"> Foudre (cumulo-nimbus) 	<ul style="list-style-type: none"> Impulsion unipolaire : <ul style="list-style-type: none"> front d'onde : 10 à 50 μs. durée totale : 0,2 à 1 seconde 	
ÉLECTRICITÉ D'ORIGINE INDUSTRIELLE	<ul style="list-style-type: none"> Réseaux de transport (H.T.) 	50 Hz	Sinusoïdale ~
	<ul style="list-style-type: none"> Réseaux de distributions publiques <ul style="list-style-type: none"> Distribution (H.T.) Domestique (B.T.) Agricole (B.T.) Artisanale (B.T.) 	50 Hz 50 Hz 50 Hz 50 Hz	Sinusoïdale ~ Sinusoïdale ~ Sinusoïdale ~ Sinusoïdale ~
	<ul style="list-style-type: none"> Mines (B.T.) 	50 Hz	Sinusoïdale ~
	<ul style="list-style-type: none"> Electricité des moyens de transports <ul style="list-style-type: none"> Réseaux ferroviaires SNCF 	50 Hz 50 Hz 50 Hz 50 Hz	Continue ---- Continue ---- Continue ---- Sinusoïdale (notamment T.G.V.)
	<ul style="list-style-type: none"> Réseaux métropolitains (R.A.T.P.) 	50 Hz	Continue ----
	<ul style="list-style-type: none"> Réseaux express-régionaux 	50 Hz	Continue ----
	<ul style="list-style-type: none"> Aéronautique (civile) 	<ul style="list-style-type: none"> Circuit principal 400 Hz 	Sinusoïdale ~ (pour la génération alternative)
	<ul style="list-style-type: none"> Marine en mer (marine marchande) Marine à qual 	60 Hz 50 Hz	Sinusoïdale ~ Sinusoïdale ~
	<ul style="list-style-type: none"> Electricité médicale <ul style="list-style-type: none"> Bistouri électrique : <ul style="list-style-type: none"> coupe coagulation 	500 kHz à 1 MHz 500 kHz à 1 MHz	Sinusoïdale ~~~~~ Sinusoïdale amortie ~~~~~
	<ul style="list-style-type: none"> Electro-anesthésie 	100 à 170 kHz	Trains d'impulsions codifiés 
	<ul style="list-style-type: none"> Electrothérapie <ul style="list-style-type: none"> Courant galvanique 	<ul style="list-style-type: none"> Interrompu périodiquement <ol style="list-style-type: none"> 0 à 800 Hz : basse fréquence 800 à 50 kHz : moyenne fréquence 100 kHz : haute fréquence Hautes fréquences Ondes courtes : de 3 à 30 mètres : 10 MHz et 100 MHz et surtout : 7,33 m/40,92 MHz/11,06 m/27,125 MHz/22,12 m/13,56 MHz Ondes centimétriques : 1 à 30 cm/1 à 30 GHz surtout 12 cm 25 GHz pour électrothérapie 	<ul style="list-style-type: none"> 3 grandes familles : <ul style="list-style-type: none"> continu strict ---- polarisé mono/biphasé alternatif Exemples de signaux polarisés : <ul style="list-style-type: none"> rectangulaire (Leduc)  ondulatoire (D'Arsonval)  diadynamique 
	<ul style="list-style-type: none"> Sismothérapie (électrochoc ou électroconvulsion) 		Sinusoïdale ~
	<ul style="list-style-type: none"> Défibrillateur ou choc cardlogénique ou cardioversion 	<ul style="list-style-type: none"> Décharge de condensateur : <ul style="list-style-type: none"> 10 milli-secondes ; 0,04 à 0,15 seconde suivant le type 	

Les objets métalliques et bijoux provoquent des brûlures par contact, très évocatrices et pouvant être profondes. Souvent les vêtements sont déchiquetés, ce qui ne préjuge en rien de la gravité des brûlures sous-jacentes.

- . les lésions traumatiques par chute et effet de souffle le long du canal ionisé de l'éclair, avec atteintes viscérales, sont toujours possibles après foudroiement.

- . les atteintes sensorielles se résument au niveau oculaire (par des cataractes, lésions maculaires, atteinte de l'épithélium pigmentaire visible à l'angiographie à la fluoroscéine et ulcérations cornéennes) et au niveau auditif (par des barotraumatismes avec rupture tympanique et surdité mixte). (3), (30)

La mortalité des foudroyés est de 20 à 30 % (20 % des survivants sont porteurs de séquelles) touchant surtout les sujets masculins, adolescents et adultes jeunes. Les accidents collectifs sont assez fréquents lors d'activités sportives ou de loisirs. Ils peuvent être d'ordre professionnel, touchant surtout les agriculteurs et les personnels du bâtiment. En France, il y aurait 10 à 20 morts par an.

Certains cas de foudroiements ont été décrit chez les utilisateurs de téléphone par temps d'orage.

2.2 – Electricité d'origine industrielle

2.2.1 – Accidents de travail (14), (15)

Ils surviennent avec toutes les catégories d'électricité, quelques soient la tension, la fréquence et la forme de l'onde.

A chaque branche industrielle correspond des spécificités pouvant être à l'origine d'accidents particuliers, dont les plus fréquents se rencontrent :

- . dans le secteur du bâtiment et des travaux publics (BTP), du fait des dures conditions d'exploitation et de l'insuffisance de formation technique d'une main d'œuvre mouvante, les accidents surviennent lors de percement de câbles enterrés, le non respect des distances de garde par rapport aux ouvrages électriques.....

- . en milieu rural, les secteurs de l'agriculture, de l'élevage et des travaux forestiers sont exposés aux risques électriques, expliqués par des conditions d'exploitations difficiles, des installations électriques défectueuses (tout comme l'âge des fermes françaises et la tranche d'âge des exploitants) à l'origine d'incendie, l'hybridation des locaux à caractère domestique, artisanal et industriel, la présence d'une main d'œuvre saisonnière inexpérimentée, la manipulation de matériel métallique pouvant entrer en contact de lignes aériennes reliant entre eux plusieurs bâtiments....

- . les ouvriers travaillant sur les sites à haute tension, ne sont pas, malgré leur qualification, épargnés par les accidents électriques souvent mortels ou à l'origine de lourdes séquelles (amputations). (39)

2.2.2 – Accidents domestiques (15)

Ils surviennent essentiellement en basse tension A ($50 < U < 1000$ et 50 Hz), les sujets principalement touchés sont les enfants lors d'activités ludiques, ils peuvent ainsi être victimes d'électrocution ou d'électrisation (avec graves brûlures des doigts en général et parfois des séquelles fonctionnelles et inesthétiques).

Les causes d'électrisation des enfants sont surtout matérielles et justifient le changement ou la rénovation des installations électriques comme les prises fixes sans éclipse, les prises mobiles sans jupe, les fiches plates dont les broches sont extrêmement conductrices, les olives d'interrupteurs démontables sans outil,...

Le plus grand nombre d'électrisation survient chez les enfants de moins de 5 ans, suite à l'introduction d'un objet dans une prise, le mordillement d'un fil électrique ou la manipulation d'un appareil électrique d'intérieur.(42)

A ceci s'ajoute, les fautes de comportement résumées sous les « trois I » :

- . Insouciance : les paris stupides comme l'escalade des pylônes (« le premier arrivé est le premier électrocuté »)

- . Imprudence : lors de l'utilisation d'appareils électriques dans les salles de bain ou le bricolage sans débranchement préalable

- . Ignorance des normes et des spécificités d'utilisation des appareils électriques

Cette trilogie est aggravée par le caractère original du fluide électrique qui ne se voit pas, ne s'entend pas et n'a pas d'odeur.

2.2.3 – Accidents de loisirs (15), (39)

Ils se rencontrent fréquemment en BTA et HTA ; ils surviennent surtout lors de contacts directs ou d'amorçages à distance avec des lignes aériennes (chute de parapente), par l'intermédiaire de cannes en fibre de carbone, d'antennes de toute sorte, de mâts de bateau lors de leur acheminement vers un plan d'eau, etc... ou dans le milieu du travail suite à un contact par l'intermédiaire d'une grue, benne, élévateur, échelle, échafaudage, etc....

Ces accidents se rencontrent aussi avec des outils électroportatifs de jardinage comme la tondeuse à gazon, le taille haie, etc..... lorsque les utilisateurs sectionnent le câble d'alimentation, mais aussi lors de l'usage de ces outils pendant des intempéries.

2.2.4 – Accidents iatrogènes (6), (15), (16), (31)

En milieu hospitalier, plusieurs types d'appareils électro-médicaux ont été incriminés dans les électrisations du personnel médical ou des patients.

On distingue classiquement les accidents électriques liés aux macrochocs de ceux résultant des microchocs :

. électrisation par macrochocs

Il s'agit d'un choc électrique d'un sujet se comportant comme une impédance incluse dans un circuit lors d'un contact direct ou indirect.

Les courants alternatifs sont le plus souvent en cause, mais la possibilité d'électrisation par un courant continu n'est pas exclue (défibrillateur externe) :

. le défibrillateur présente un risque d'électrisation du médecin si celui-ci est en contact avec le patient directement ou indirectement (par l'intermédiaire d'une partie conductrice comme le lit métallique). Par ailleurs, un pont de pâte conductrice mettant en contact les 2 électrodes peut provoquer un arc électrique si le gel est mal réparti ou fait défaut, avec possible brûlures aux points d'application des palettes (ou si les palettes n'ont pas une surface de contact suffisante(16)). De plus, un choc électrique externe perturbe le fonctionnement d'un stimulateur cardiaque dans 50 % des cas (inhibition de stimulation, dysfonctionnement).

. l'électrothérapie mal dosée ou mal appliquée peut être à l'origine de brûlures.

. les bistouris électriques utilisent l'effet thermique (diathermie) des courants alternatifs de haute fréquence (> 300000 Hz) entraînant un échauffement des tissus en

fonction de leur impédance, de l'intensité et du temps d'application (mode coagulation ou section) et se composent d'une électrode active et d'une électrode neutre appelée communément, plaque.

Les accidents rencontrés peuvent être des :

- brûlures internes ou externes, en cas d'inattention du chirurgien, de problème d'isolation du matériel ou de jaillissement d'étincelles se traduisant par des douleurs 3 à 7 jours après l'intervention sous coelioscopie ou si l'électrode neutre est mal fixée à la peau, mal située ou de taille inadaptée.(31)

- perturbations de l'activité cardiaque suite à l'induction de courant de fuite au niveau de conducteurs en contact direct avec le myocarde (microchoc).

- perturbations des appareils environnants suite aux interférences électromagnétiques qui s'exercent à distance pouvant entraîner l'arrêt d'un appareil, fausser les mesures d'un capteur, modifier les paramètres de fonctionnement et d'alarme, rendre ininterprétable un ECG, etc... Actuellement, certains appareils sont normalement protégés par des filtres.

- risques d'explosion et d'incendie.

- perturbations, liées à l'interférence électromagnétique, chez les patients porteurs d'un stimulateur cardiaque par atteinte de :

- la fonction de recueil du pace-maker qui entraîne selon le mode de fonctionnement :

- . « sentinelle », une inhibition du pace-maker le temps d'un cycle cardiaque, une bradycardie ou une inefficacité circulatoire en cas d'utilisation répétée du bistouri.

- . « déclenchée », le stimulateur délivre à tort un spike inapproprié pouvant être à l'origine de tachycardie ou de FV s'il tombe au cours d'une période ventriculaire vulnérable.

En revanche, le fonctionnement et la programmation du pace-maker ne sont pas altérés par ces interférences.

-- la fonction de stimulation : une partie du courant provenant de l'électrode active peut être captée par l'électrode de stimulation du pace-maker et conduite à l'endocarde provoquant des troubles du rythme ventriculaire ou une brûlure myocardique en regard (la zone brûlée conduira mal le courant donc le seuil de stimulation s'élèvera et le pace-maker deviendra inefficace).

-- interférence avec la batterie du pace-maker : le courant émis par le bistouri peut entraîner une fuite de courant dans le circuit électronique du pace-maker et diminuer le voltage de la batterie.

-- reprogrammation du stimulateur par le courant du bistouri électrique est une éventualité rare mais qui demeure redoutable (les instructions étant stockées dans une mémoire normalement protégée des interférences électromagnétiques).

- erreur de détection de la part d'un défibrillateur automatique implantable peut conduire à un choc inapproprié lors de l'utilisation d'un bistouri électrique.

L'utilisation d'un bistouri électrique bipolaire réduit ce risque. (6), (31)

. électrisation par microchocs (6), (17), (33)

Ils font intervenir essentiellement les courants capacitifs de fuite et leur transmission au myocarde ou par l'intermédiaire de sondes intra-cardiaques ou de cathéters (contenant un soluté électrolytique conducteur).

Le seuil de fibrillation est bas, de l'ordre de 2 à 10 μA (17) lorsque le contact se réalise directement sur le cœur ; à l'inverse, pour un macrochoc une intensité de 50 à 100 mA est nécessaire pour déclencher un FV car le contact s'effectue au niveau de la peau ou d'un organe situé à distance du cœur.

En conséquence, pour éviter tout risque de survenue d'une FV, l'intensité maximale normalement admissible d'un courant au niveau d'une sonde intra-cardiaque est fixée à 10 μA .

Malgré toutes les précautions, des accidents peuvent survenir avec le pousse-seringue électrique, connecté à un cathéter central, qui peut être à l'origine d'une électrocution iatrogène directement au niveau myocardique (rare) ; tout comme le déclenchement de FV lors de manœuvres exploratrices ou thérapeutiques portant sur la conduction cardiaque.

3 – Circonstances des accidents électriques (5), (18), (20)

3.1 – Accidents par électrisation

Pour qu'un sujet soit électrisé, il faut que 2 points de son corps soient soumis à une différence de potentiel.

Il existe 2 types de contacts électriques à l'origine d'accidents :

- le contact direct est celui ayant lieu avec des parties ou conducteurs actifs. Par conducteur actif, on entend « tout conducteur normalement affecté à la transmission de l'énergie électrique ».

. le contact indirect s'effectue par l'intermédiaire d'une masse. Par masse, on entend « toute pièce métallique normalement isolée des parties sous tension, mais susceptible d'être accidentellement mise en liaison électrique avec une de ses parties actives, en cas de défaillance des mesures prises pour les isoler ».

En ce qui concerne les modalités de contacts, on peut distinguer le contact unipolaire et le contact bipolaire. Ces 2 notions polaires sont uniquement étiologiques, permettent de supposer le trajet suivi par le courant dans l'organisme et sont importantes à connaître pour l'éducation du public et des travailleurs électriciens.

→ l'accident par contact unipolaire : 2 possibilités (schémas 1 et 2)

- contact simultané avec un conducteur sous tension d'une part (contact direct) et la terre (ou masse reliée à la terre) d'autre part . C'est le type de contact « phase-terre » . Cas fréquent.

- contact simultané entre une masse accidentellement sous tension d'une part (contact indirect) et la terre (ou masse reliée à la terre) d'autre part. Cas très fréquent en milieu domestique.

→ l'accident par contact bipolaire : 3 possibilités (schémas 3, 4 et 5)

- contact simultané avec un conducteur sous tension d'une part (contact direct) et un autre conducteur sous tension d'autre part (contact direct). C'est le type de contact « phase-phase » . Cas relativement fréquent.

- contact simultané avec un conducteur sous tension d'une part (contact direct) et une masse accidentellement sous tension d'autre part (contact indirect). Cas rare.

- contact simultané avec 2 masses accidentellement sous tension (contact indirect dans les 2 cas). Cas très rare.

3.2 – Accidents dus à un arc électrique (schéma 6)

Il se produit lors d'un court circuit entre 2 conducteurs sous tension à l'origine d'un éclair (flash) sans électrisation du sujet exposé.

Cet arc est responsable de brûlures et de lésions oculaires dues aux énergies thermiques et lumineuses d'origine électrique.

Ce type d'accident est très fréquent en milieu professionnel.

3.3 – Accidents dus à un arc électrique associé à une électrisation (schéma 6)

Il se produit un amorçage entre un conducteur sous tension et un sujet n'ayant pas respecté les distances de gardes.

Il survient alors un arc électrique et une électrisation avec passage de courant à travers le corps du sujet exposé.

Ce mécanisme d'accident est assez fréquent en haute tension où le respect des distances d'approche est capital :

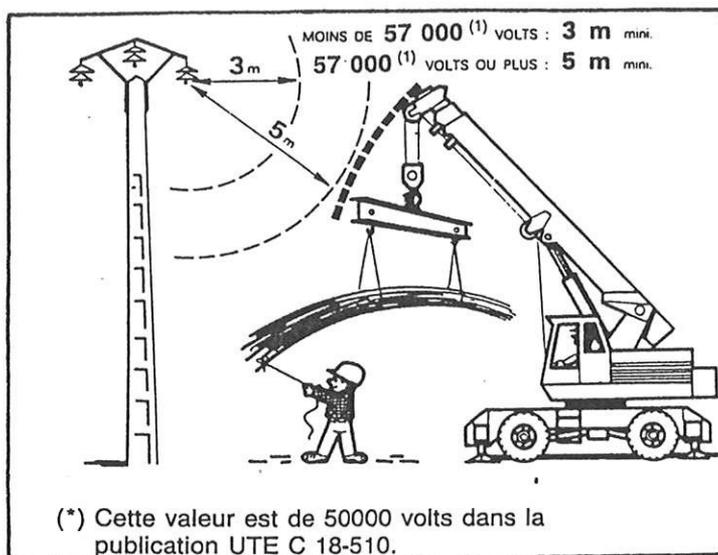
- . 3 mètres si la tension est inférieure à 57.000 volts
- . 5 mètres si la tension des ouvrages est égale ou supérieure à 57.000 volts.

LES SIX FAÇONS DE S'ÉLECTRISER

	Modalités	Schéma	Exemples	Fréquence
C o n t a c t U n i p o l a i r e	Contact conducteur actif (direct) + terre (sol conducteur ou élément conducteur en liaison électrique avec la terre)		Enfant, genoux à terre, introduisant un corps étranger métallique (clou, clef de boîte de sardines...) dans un alvéole de socle de prise de courant non muni d'éclipses.	+++
	Contact masse au potentiel (indirect) + terre (sol conducteur ou élément conducteur en liaison électrique avec la terre)		Sujet pieds nus touchant la carcasse métallique, non reliée à la terre, d'une machine présentant un défaut interne.	++++
C o n t a c t B i p o l a i r e	Contact conducteur actif (direct) + contact conducteur actif (direct)		Enfant portant à la bouche une prise mobile de prolongateur (A). Ouvrier travaillant en nacelle isolante et se trouvant en contact simultané avec les deux tronçons d'un conducteur interrompu (dépointage en série dans le réseau) (B).	+++
	Contact conducteur actif (direct) + masse au potentiel (indirect)		Ouvrier manipulant un outil électro-portatif en mauvais état au-dessus d'une machine-outil.	+
	Contact masse au potentiel (indirect) + masse au potentiel différent (indirect)		Malade sous surveillance électronique dont les sondes captatrices propagent des courants de fuite ou de défaut	très rare
A m o r ç a g e é c l a i r (arc)	A) : Court-circuit B) : Passage trop près d'un conducteur ou contact avec un conducteur non relié à une source mais siège d'une tension induite (assimilable au cas 1)		Cas A : ouvrier lui-même isolé par rapport à la terre dont l'outil dérape et touche deux bornes sous tension = éclair (flash) : effets thermiques dus à l'électricité et visuel dû à l'éclair mais pas d'électrisation au sens strict. Cas B : amorçage, ouvrier n'ayant pas respecté les distances de garde ; il s'agit d'une véritable électrisation avec passage de courant. On peut en rapprocher l'électrisation par contact avec un conducteur siège d'une tension induite.	++

Ces distances d'approche doivent tenir compte :

- du balancement ou fouettement des pièces nues sous tension
- des mouvements, déplacements, balancements des conducteurs manipulés ou déplacés au moyen d'appareils de levage ou de manutention
- des chutes ou renversements possibles de ces appareils



3.4 – Accident suite à un incendie ou une explosion

d'origine électrique

Ce type d'accident peut survenir à l'occasion de tout incident électrique en rapport ou non avec une imprudence d'origine humaine notamment dans les atmosphères explosives.

Dans les zones présentant des risques d'explosion, les installations doivent répondre à un certain nombre de critères :

- elles doivent être réduites à ce qui est strictement nécessaire à l'exploitation de la zone

- les canalisations ne doivent pas pouvoir être la cause d'une inflammation de l'atmosphère explosive ou de la propagation de la flamme
- le matériel doit être choisi en fonction du risque : il est soit du type utilisable en atmosphère explosive, soit étanche aux poussières

En ce qui concerne le matériel utilisable en atmosphère explosive, celui-ci est régi par le décret 78-779 du 17 juillet 1978, l'arrêté du 9 août 1978 et par les normes NF C 23-514 à 23-520 et NF C 23-528.

Il est prévu 7 modes de protection : . immersion dans l'huile (o)

. surpression interne (p)

. remplissage pulvérulent (q)

. enveloppe antidéflagrante (d)

. sécurité augmentée (e)

. sécurité intrinsèque (i)

. encapsulage (m)

auxquels on peut ajouter la dilution continu ou l'aspiration.

3.5 – Accidents dus à l'électricité statique (5), (20)

L'électricité statique provient de la rupture de contact qui fait suite au frottement de 2 corps (ainsi chargés électriquement mais avec des charges de signes opposées).

Mais aussi dans un autre cas, si un corps chargé est approché d'un autre corps conducteur isolé, des charges de signes opposées prennent naissance sur une partie de ce dernier : c'est l'électrisation par influence.

Une personne peut se charger par frottement (en marchant par exemple) si elle est suffisamment isolé du sol ; lorsqu'elle s'approchera d'un élément conducteur relié au potentiel de la terre, elle pourra ressentir une décharge électrostatique.

Cette décharge n'est pas dangereuse, bien qu'on ait rapporté un cas de contraction des muscles thoraciques, mais peut provoquer des mouvements réflexes à l'origine de chutes ou d'accidents.

D'autre part, l'apparition d'une étincelle de décharge peut enflammer un mélange air-gaz ou air-poussières et une explosion peut alors s'en suivre avec toute ses conséquences dramatiques.

La formation des charges électrostatiques par frottement entre 2 corps peut être théoriquement éliminée et la prévention consistera essentiellement à éviter l'accumulation de ces charges par :

- utilisation de matériaux conducteurs ou semi-conducteurs
- pulvérisation d'aérosols conducteurs
- humidification de l'air
- mises à la terre
- ionisation de l'air par induction, par haute tension ou par radioactivité

Ce type d'accident se rencontre souvent dans le milieu du travail : exemple

Dans une fabrique de peinture, lors du transvasement d'un solvant de nettoyage dans un broyeur à boules (revêtement intérieur et boules en stéatite) une violente explosion se produit ; l'ouvrier qui procède à cette opération est fortement commotionné et gravement brûlé.

Commentaire : les opérations ci-dessus ont donné naissance, par frottements, à des charges d'électricité statique qui se sont accumulées au niveau de certains éléments de l'installation.

En s'accumulant, le potentiel de ces charges a augmenté jusqu'à atteindre plusieurs dizaines de milliers de volts.

Quand la différence de potentiel entre éléments chargés (broyeurs) et éléments non chargés (châssis, bâtis) a été suffisamment élevée, il y a eu amorçage avec apparition d'étincelles d'énergie suffisamment élevée pour entraîner l'inflammation du mélange air-vapeur de solvant et provoquer cet accident.

L'énergie mise en jeu dans le phénomène est trop faible pour présenter un risque d'électrocution, mais peut être suffisante pour provoquer une explosion en présence d'un mélange explosif.

PHYSIOPATHOLOGIE

VII – Physiopathologie

1 – Généralités

Nous savons que les effets du courant électrique résultent d'une différence de potentiel entre 2 points du corps et nécessitent une voie de pénétration et d'élimination simultanée réalisant un circuit.

Il s'établira un trajet entre ces 2 points, tout au long duquel sera libéré une plus ou moins grande quantité d'énergie (loi de Joule et d'Ohm).

Les effets physiopathologiques du courant électrique sur l'homme sont principalement :

- . des effets thermiques responsables de brûlures
- . des effets excito-moteurs
- . des effets de lyse cellulaire par électroporation (26)

Les réactions physiopathologiques engendrées par le courant électrique vont varier en fonction de nombreux paramètres fortement interdépendants :

- l'intensité
- la tension
- l'impédance du corps humain
- le temps de contact
- le trajet du courant
- la fréquence du courant
- les conditions de contact : pression, surface, localisation des points de contact
- le type de courant : continu ou alternatif

2 – Effets du courant électrique sur le corps humain

2.1 – Effets électro-thermiques et excito-moteurs (13), (15)

Lors d'une électrisation, il se produit un dégagement de chaleur le long du trajet du courant électrique à travers le corps provoquant des brûlures dont l'aspect extérieur initialement trompeur ne permet en rien de présager l'étendue des brûlures internes.

2.1.1 – Les secteurs de distribution (15)

Les éléments déterminants de la gravité sont la localisation des points de contact sur le corps et leur surface :

- . la surface conditionne la densité du courant (par ex. si la surface de contact avec la peau de la plaque du bistouri électrique est trop petite, il y a risque de brûlure électro-thermique par effet Joule).

- . la situation corporelle influe sur le trajet suivi par le courant, donc sur les secteurs de distribution de l'énergie électrique et sur les organes cibles affectés.

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) a défini comme facteur de risque pour le cœur « le facteur de courant de cœur F », correspondant au rapport :

$$F = I_{ref} / I_h$$

avec I_{ref} : intensité au niveau du cœur pour un trajet allant de sa main gauche aux

2 pieds

et I_h : intensité pour un trajet donné

En se rapportant au tableau, il est possible de déduire que le trajet poitrine/main gauche est le plus dangereux.

Trajet du courant	Facteur de courant de cœur
• Main gauche au pied gauche, au pied droit ou aux deux pieds	1,0
• Deux mains aux deux pieds	1,0
• Main gauche à main droite	0,4
• Main droite au pied gauche, au pied droit ou aux deux pieds	0,8
• Dos à la main droite	0,3
• Dos à la main gauche	0,7
• Poitrine à la main droite	1,3
• Poitrine à la main gauche	1,5
• Siège à la main gauche, à la main droite ou aux deux mains	0,7

Par exemple, un courant de 200 mA main à main a le même effet qu'un courant de 80 mA main gauche aux pieds.

En situation normale, le rôle de certains tissus ou organes est celui d'être générateur ou récepteur de l'électricité produite par des cellules vivantes. Ce rôle de récepteurs pour certains tissus a des applications thérapeutiques, dont les paramètres électriques sont codifiés.

Parmi celles-ci citons : la sismothérapie et l'électronarcose, la cardioversion et l'entraînement électrosystolique, la stimulation neurologique ou musculaire.

Ces tissus ou organes, qui peuvent être stimulés, vont en revanche subir des altérations pathologiques lorsqu'ils sont soumis à des signaux électriques d'intensité trop élevée appliqués pendant un temps suffisant.

2.1.2 – Rôle de l'intensité (I) (13), (38)

C'est un paramètre inconnu lors de l'électrisation.

Dans ses recherches sur la genèse des électrocutions, Arsonval conclue par un aphorisme : « c'est l'intensité qui tue » ; sans oublier un facteur intimement lié à l'intensité : le temps de passage du courant électrique.

Le seuil de perception humaine de l'intensité admis par la CEI dépend des conditions de contact, de la fréquence du courant ainsi que des caractéristiques physiologiques ou pathologiques de l'individu et est évaluée à 0,5 mA.

En réalité, la sensation cutanée due aux forces électrostatiques du courant peut être perçue à un seuil plus bas ($0,15\mu\text{A}$ sous $1,5\text{ V}$ en 50 Hz selon Grimmes). Chez la femme le seuil de perception est plus faible que chez l'homme.

On dispose de différents travaux d'électrophysiologie à travers des expériences (Hunt, Dalziel, Biegelmeyer) portant sur la détermination de seuils d'intensité susceptibles de produire certaines manifestations :

- En basse tension, Hunt démontra que l'intensité varie au cours du temps et évolue en 3 phases :

. 1° où l'ascension est lente et correspond à une baisse progressive de la résistance cutanée

. 2° où l'ascension est plus rapide correspondant à la rupture complète de la barrière cutanée et aboutit au seuil limite d'intensité maximale

. 3° se caractérise par une chute brutale de l'intensité et histologiquement par une volatilisation des liquides tissulaires avec dessiccation et carbonisation des tissus qui deviennent alors « isolant ».

De plus, il existe une relation entre l'intensité, le temps de passage du courant et la température : l'élévation de la température est parallèle à l'élévation de l'intensité mais la baisse de la température est très progressive lorsque l'intensité s'effondre (3°phase).

Conformément à la loi de Joule, les lésions se produisent quand l'énergie électrique se transforme en énergie calorifique.

- En haute tension, après avoir atteint son pic maximal, l'intensité ne chute pas brutalement, mais se maintient en plateau un certain temps.

Il existe également une relation entre l'intensité, les surfaces de contact et l'importance des lésions : plus la surface de contact est petite, plus la densité locale du courant est importante et plus les lésions sont rapidement instaurées et profondes.

Par conséquent, les plus importantes densités de courant et donc les lésions les plus graves sont observées par ordre décroissant dans : les artères, les nerfs, le muscle, la graisse, la moelle osseuse et la corticale des os.

D'autres part, les os, lorsqu'ils sont le siège d'importants dégagements de chaleur, restituent cette chaleur beaucoup plus lentement que les autres tissus ; ainsi les muscles profonds sont plus souvent atteints que les muscles plus superficiels.

Conséquences sur le corps humain de l'intensité : (15), (33)

- les plaques motrices des jonctions neuro-musculaires répondent involontairement aux sollicitations du courant à partir de quelques milliampères et 10 mA représente le seuil de téτανisation ou de « non lâcher ». Le nombre d'unité motrice concerné augmente avec l'intensité. (17)

- Pour le diaphragme, cette tétanie peut s'observer pour une intensité voisine de 20 mA (50 Hz) et si elle excède alors 3 minutes environ, le décès survient par asphyxie d'origine ventilatoire. Le seuil d'asphyxie d'origine centrale survient pour une intensité de 2 à 3 Ampères, pour un trajet longitudinal passant par le tronc cérébral et inhibant les centres respiratoires au niveau bulbaire.

- En cas de contact encéphalique accidentel, l'encéphale peut être le siège d'une désynchronisation corticale, à l'origine d'une possible crise épileptiforme (seuil non défini par le CEI).

Il existe en revanche des constantes connues pour obtenir une électronarcose sans effet secondaire. Les intensités capables de déterminer une inhibition des centres nerveux sont de l'ordre de 2 à 3 ampères.

Intensité du courant	Effets sur l'homme
A partir de 10 mA	Contractions musculaires qui cèdent à la rupture du contact, avec possibilité de réaction d'agrippement si les contractions prédominent sur les fléchisseurs.
A partir de 20 mA	Risque de téτανisation du diaphragme avec asphyxie si le courant passe par la cage thoracique. Téτανisation cédant à la rupture du contact.
A partir de 50 mA	Possibilité de fibrillation ventriculaire ne cédant pas à la rupture du contact.
A partir de 2 A	Inhibition des structures nerveuses situées sur le trajet du courant.

- Le cœur, muscle non téτανisable, indépendant de la volonté et rythmiquement programmé, peut déclencher, à la suite d'un choc électrique d'intensité et de durée suffisante un trouble du rythme pouvant aller du plus bénin (ES isolés) au plus redoutable (FV).

La fibrillation ventriculaire (FV), irréversible spontanément une fois déclenchée, est la cause des décès dus à l'électricité en basse tension.

Une hypoxie consécutive à un arrêt respiratoire peut entraîner une FV.

Le seuil de FV est lié à :

- . l'intensité mais aussi
- . au poids suivant une loi : $I^2 = k^2/t$

(avec t en seconde et k = 116 pour un adulte de 60 kg)

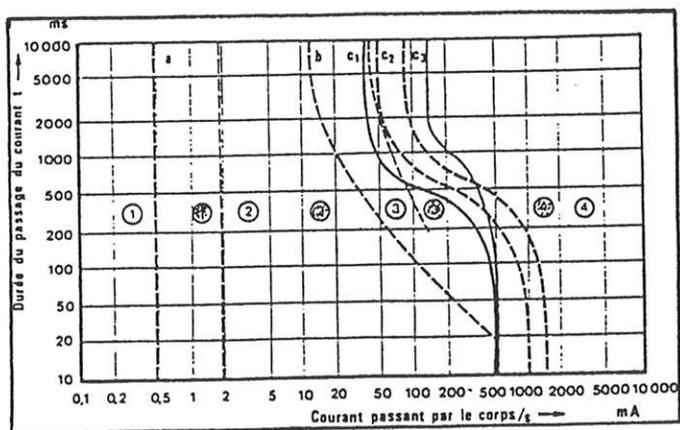
. au trajet du courant dans l'organisme. C'est Kouwenhoven qui a le premier mesuré la quantité de courant traversant le cœur suivant différents trajets empruntés par le courant électrique, et plus récemment, le CEI a défini « le facteur de courant de cœur F » (cf paragraphe 2.1.1).

- . au temps de passage du courant

La FV est essentiellement possible, lorsque la décharge électrique, dont le seuil est de 80 mA (la CEI a défini un seuil de sécurité de 50 mA), survient durant la phase réfractaire partielle du cycle dépolarisation-repolarisation du myocarde ventriculaire. Ce moment correspond à la phase ascendante de l'onde T du tracé électrocardiographique périphérique. Cette phase est la plus dangereuse du cycle cardiaque, car l'intensité nécessaire pour provoquer la FV est 4 à 5 fois plus faible que les autres phases (au cours desquelles une FV peut survenir mais pour des intensités supérieures).

Le passage d'un courant de faible intensité sur une longue durée peut déclencher une FV par l'intermédiaire d'extra-systoles ventriculaire abaissant le seuil de FV.

La CEI a proposé les différents effets du courant alternatif et continu sur le corps humain selon la durée de passage et l'intensité du courant.



Zones	Effets courant alternatif
Zone ①	Habituellement aucune réaction.
Zone ②	Habituellement aucun effet physiologique dangereux.
Zone ③	Habituellement aucun dommage organique. Probabilité de contractions musculaires et de difficultés de respiration, de perturbations réversibles dans la formation et la propagation des impulsions dans le cœur, y compris la fibrillation auriculaire et des arrêts temporaires du cœur sans fibrillation ventriculaire, augmentant avec l'intensité du courant et le temps.
Zone ④	En plus des effets de la zone 3, probabilité de la fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à environ 5 % (courbe c ₁), jusqu'à environ 50 % (courbe c ₂) et plus de 50 % au-delà de la courbe c ₃ . Augmentant avec l'intensité et le temps, des effets pathophysiologiques tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves peuvent se produire.

Zones	Effets: courant continu
Zone ①	Habituellement aucune réaction.
Zone ②	Habituellement aucun effet physiologique dangereux.
Zone ③	Habituellement aucun dommage organique. Perturbations réversibles dans la formation et la propagation des impulsions dans le cœur, augmentant avec l'intensité du courant et le temps.
Zone ④	Fibrillation ventriculaire probable. D'autres effets pathophysiologiques, tels que des brûlures graves, sont à prévoir en plus des effets de la zone 3, augmentant avec l'intensité du courant et le temps.

En courant continu, le seuil de perception établi par la CEI est de 2 mA (seuls l'établissement et l'interruption du courant sont perçus). Le risque de fibrillation ventriculaire est majoré en présence de courant alternatif, pour des intensités 4 fois plus faibles qu'en courant continu.

Paradoxalement le risque de FV diminue quand l'intensité délivrée dépasse un certain niveau : selon Dalziel au-delà de 5 Ampères, le déclenchement d'une FV ne serait plus observé, ceci n'est possible que pour les hautes tensions. (17)

2.1.3 – Rôle de la tension (U) (17), (27), (32)

Seul paramètre le plus souvent connu lors des accidents, car constant, au facteur de fluctuation près.

U a un rôle directement proportionnel dans le déclenchement d'une FV de par sa relation avec l'intensité ($U=R.I$).

Elle intervient également dans la genèse calorifique et la gravité des brûlures électrothermiques par effet Joule : « ce sont donc les volts qui brûlent »

$$W = R.I^2.T.0,24 \quad \text{et} \quad U = R.I \rightarrow W = U.I.T = (U^2/R).T.0,24$$

(avec T en seconde, U en volt, I en ampère, R en ohm, W en joule)

Le dégagement de chaleur (W ou Q) lors du passage du courant électrique est proportionnel à la tension.

Pour les courants de basse tension, les brûlures sont limitées aux points de contact, mais si le contact est prolongé, les résistances abaissées et l'énergie thermique libérée dans un petit volume tissulaire comme le contact bipolaire au niveau de la bouche ou de la main chez l'enfant, la brûlure sera plus importante.

Tandis que pour les haute tension, les brûlures sont plus étendues et profondes pour des temps de passage même très courts. Cependant, entre un point d'entrée et de sortie, visibles sous forme de brûlures cutanées parfois minimales, se trouvent un trajet intracorporel invisible sous la forme de rhabdomyolyses parfois extensives (effet iceberg).

Le dégagement de chaleur a lieu surtout dans les masses musculaires et les paquets vasculo-nerveux, lieux où transitent du fait de leur moindre résistivité, des intensités élevées.

Des phénomènes de rupture et de thromboses vasculaires peuvent aggraver les nécroses musculaires (la thrombose de petits vaisseaux distaux peut entraîner des nécroses tissulaires alors que les pouls sont perçus).

Au niveau cellulaire, l'effet Joule provoque une rupture membranaire par électroporation dont l'étendue tissulaire dépendra de la rapidité d'intervention. (26)

A surface égale, les brûlures électrothermiques sont toujours plus graves que les brûlures ayant une autre origine, car elles sont à la fois externes et internes.

2.1.4 – Rôle de l'impédance (R ou Z) (13), (15), (17), (33)

Paramètre inconnu lors de l'électrisation.

Le corps humain se comporte, vis à vis de l'électricité, comme un noyau plutôt conducteur (tissus musculaires et organes richement vascularisés) enveloppé par une écorce isolante, la peau.

L'impédance humaine est constituée d'une composante résistive et d'une composante capacitive (qui par souci de simplification des calculs est négligée).

On définit ainsi la résistance corporelle totale ou impédance totale comme résultante de la somme des résistances cutanées ou muqueuses aux points de contact et des résistances des milieux internes : ces impédances étant en série.

2.1.4.1 – Impédance de la peau (Z_p)

est un paramètre très fluctuant variant en fonction des lois physiques telles que :

$$R = P.L/S \text{ (où } P = \text{résistivité des tissus, } L = \text{épaisseur de la peau, } S = \text{section)}$$

Sa structure est constituée par une couche semi-isolante et de petits éléments conducteurs : les canaux sudoripares.

La valeur de l'impédance cutanée dépend de :

- la tension : < 50 Volts, Z_p varie largement en fonction de la surface de contact, de la température et de la transpiration

- $>50-100$ Volts, elle décroît pour devenir négligeable quand la peau est perforée

- la fréquence : Z_p diminue quand la fréquence augmente

- la durée de passage du courant : Z_p diminue avec l'augmentation du temps de passage (lorsque celui-ci n'a pas entraîné une carbonisation des tissus auquel cas elle augmente)

- les conditions de contact :

- la surface du conducteur : plus la surface de contact est grande et plus Z_p et la densité sont faibles, réduisant ainsi la gravité des brûlures

- la qualité du contact ou pression de contact : une mauvaise pression entre la source électrique et la peau provoque généralement un arc électrique par amorçage. Z_p diminue avec l'augmentation de la pression de contact

. les propres caractéristiques de la peau :

- température cutanée : plus la température est basse et plus Z_p est élevée

- épaisseur de la peau : l'impédance d'un pied calleux peut atteindre 1000000 ohms alors que Z_p de l'abdomen est de 5000 Ohms (on estime que la résistance de la peau varie en moyenne entre 1000 et 10000 Ohms)

. la répartition des glandes sudoripares qui sont de bons conducteurs

. l'humidité ou la sudation : l'impédance d'une peau moite ou mouillée peut s'abaisser au quart de celle d'une peau sèche.

. la présence de pilosité

. l'intégrité du revêtement cutané

. la propreté : la présence d'impureté telles que le sel ou des traces de lessive peut diminuer Z_p

. la vascularisation

. l'état de veille ou de sommeil

. l'état de gestation

. les caractères individuels : âge, sexe, race

. les affections pathologiques : Z_p diminue lors des états tels que :

- l'hyperthyroïdie et certaines endocrinopathies

- les dermatoses entretenant la macération

- la prise de certains médicaments et certains stupéfiants

De plus la nature des vêtements joue un rôle aggravant ou partiellement protecteur.

2.1.4.2 – Impédance interne (Z_i)

L'impédance varie selon la résistivité des divers tissus (trajet intra-corporel) et la section du segment de corps traversé par le courant (longueur) ; sa valeur serait toujours inférieure à 500 ohms en basse tension comme en haute tension.

Les tissus internes peuvent être classés par ordre décroissant de résistivité : os , graisse , (peau) , muscle , vaisseau sanguin et nerf.

Les tissus les plus résistifs (os) sont les moins sensibles à la chaleur et donc les moins rapidement atteints par les lésions ; à l'inverse les structures de faible résistance (muscle, artère, nerf) sont les premiers atteints car elles conduisent le courant.

La résistivité tissulaire après brûlure électrique est beaucoup plus basse que celle des tissus sains.

2.1.4.3 – Impédance totale du corps humain (Z_t)

Elle correspond à la somme de l'impédance interne (Z_i) et de la peau (Z_p).

Pour des tensions de contact jusqu'à environ 50 volts, du fait des importantes variations de Z_p , Z_t varie dans de larges limites.

Pour des tensions de contact plus élevées (> 150 volts) Z_t dépend de moins en moins de Z_p et s'approche de l'impédance interne Z_i après perforation de la peau.

De plus l'isolation électrique représentée par les vêtements, les chaussures et les sols recouverts de moquettes ou de tapis joue un rôle important.

2.1.5 – Rôle de la fréquence (F) (15), (13), (17)

Pour des tensions de contact de quelques dizaines de volts, l'impédance totale décroît de façon inversement proportionnelle à la fréquence. A partir de 500 Hz, elle est limitée à celle du milieu interne Z_i .

Concernant le seuil de fibrillation ventriculaire, ce facteur passe de 1 à 14 lorsque la fréquence augmente de 50 à 1000 Hz pour des temps de choc supérieurs à ceux d'un cycle cardiaque.

Pour cette même augmentation de fréquence, le seuil de perception double et le seuil de « non lâcher » est multiplié par 1,5 ; entre 1000 et 10000 Hz, il est multiplié par 5. Concernant le seuil de perception, la sensation de picotements fait place à une sensation de chaleur, et des brûlures externes et internes peuvent se produire suivant l'intensité et le temps de passage du courant.

La fréquence intervient aussi dans les phénomènes de dépolarisation cellulaire.

2.1.6 – Temps de passage du courant (T)

Suivant la loi de Joule ($W = R.I^2.T.0,24$), la quantité de chaleur dégagée est proportionnelle à la durée de passage du courant.

Au cours des accidents, la durée du contact électrique est le plus souvent brève, projetant la victime au sol suite à la contraction des muscles extenseurs.

Cependant, lorsque survient une tétanisation musculaire des fléchisseurs des doigts, entraînant l'agrippement, le temps de passage est accru.

En conséquence, les brûlures sont plus graves.

2.1.7 – Trajet du courant (15), (27)

Bien qu'il soit important de connaître le trajet du courant, il n'est pas toujours aisé de le reconstruire à partir des points de contact connus. Il semble admis qu'une fois la peau perforée, le corps se comporte comme un conducteur d'homogène résistance.

Pour la majorité des auteurs, il est admis que le courant électrique se propage à l'intérieur de l'organisme au travers des tissus présentant la plus faible résistance électrique (paquets vasculo-nerveux et muscles).

D'autres auteurs distinguent 2 types de trajet pour un même point d'entrée en fonction des tensions :

- . le passage du courant par le paquet vasculo-nerveux ne serait vrai que pour les basses tensions

- . en haute tension, le corps humain se conduirait comme une résistance globale uniforme et le courant choisirait le trajet le plus direct depuis le point d'entrée jusqu'à la terre, préférentiellement par l'aorte.

En fait, le courant n'emprunte pas préférentiellement telle ou telle structure et l'importance des lésions thermiques ne dépend que de la densité du courant. Celle-ci altère les tissus en fonction de la résistivité tissulaire, de la tension, de la section et de l'arrangement spatial par rapport aux points d'application du courant.

Dans les trajets longs horizontaux (membre supérieur à l'autre) ou longitudinaux (tête à un membre inférieur), il existe un risque d'arrêt cardio-respiratoire car le courant traverse le cœur.

Dans les trajets courts, fréquents chez l'enfant (2 doigts dans une prise), il existe essentiellement un risque de brûlures invalidantes.

Par ailleurs, quelles que soient les structures traversées, le courant peut former un arc électrique externe pour adopter le trajet le plus court.

2.1.8 – Les conditions de contact

(pression , surface , localisation des points de contact)

Leur importance a été mentionnée dans les paragraphes précédents.

2.1.9 – Type de courant (13)

. Le courant alternatif a des effets essentiellement thermiques. Ses effets électrolytiques sont très faibles. Chaque alternance accumulant l'effet électrolytique de la précédente (50 Hz en France et 60 Hz aux USA).

. Le courant continu a des effets thermiques et électrolytiques, surtout à la cathode (pôle négatif du générateur). L'impédance du corps est plus forte en courant continu qu'en courant alternatif.

2.1.10 – Dégagement de chaleur (13), (15)

Selon la loi de Joule ($W = R.I^2.T.0,24$), la température (énergie calorique) varie proportionnellement avec la résistance, le carré de l'intensité et le temps d'application du courant. Elle est inversement proportionnelle à la section du conducteur.

Le dégagement de chaleur sera plus élevé :

. Quand la résistivité est plus forte :

- sur les points de contacts cutanés

- au niveau de l'os dont la forte résistivité transmettra la plus grande quantité de chaleur aux plans musculaires profonds péri-osseux. Des lésions musculaires péri-osseuses nécrotiques sous un revêtement cutané intact seraient ainsi expliquées.

. Quand la densité est plus forte :

- nerfs et vaisseaux de faibles résistivités, présentent une forte densité et transportent préférentiellement le courant.

- les segments distaux des membres ont une forte concentration de tissus très résistifs (tendons, os) dans un volume restreint. La densité de courant dans la

faible proportion de tissu mou, peu résistif (nerfs, artères, muscles) explique l'importance des lésions observées.

- la moelle épinière, de faible résistivité pour des courants longitudinaux, présente une forte densité de courant. De plus l'hyperthermie transmise par le rachis osseux, en diminue encore la résistivité, ce qui expliquerait les dommages.

La gravité des lésions thermiques dépend de :

. la thermo-sensibilité spécifique des tissus et de la durée d'exposition à la chaleur ; la nécrose de l'épiderme et du muscle survient au-dessus de 60°, les lésions nerveuses et vasculaires vers 45° sachant que la thermo-sensibilité de chaque nerf est différente.

. la rapidité de refroidissement des tissus :

- conduction dans les tissus adjacents (la chaleur se transmet des tissus les plus chauds aux plus froids).

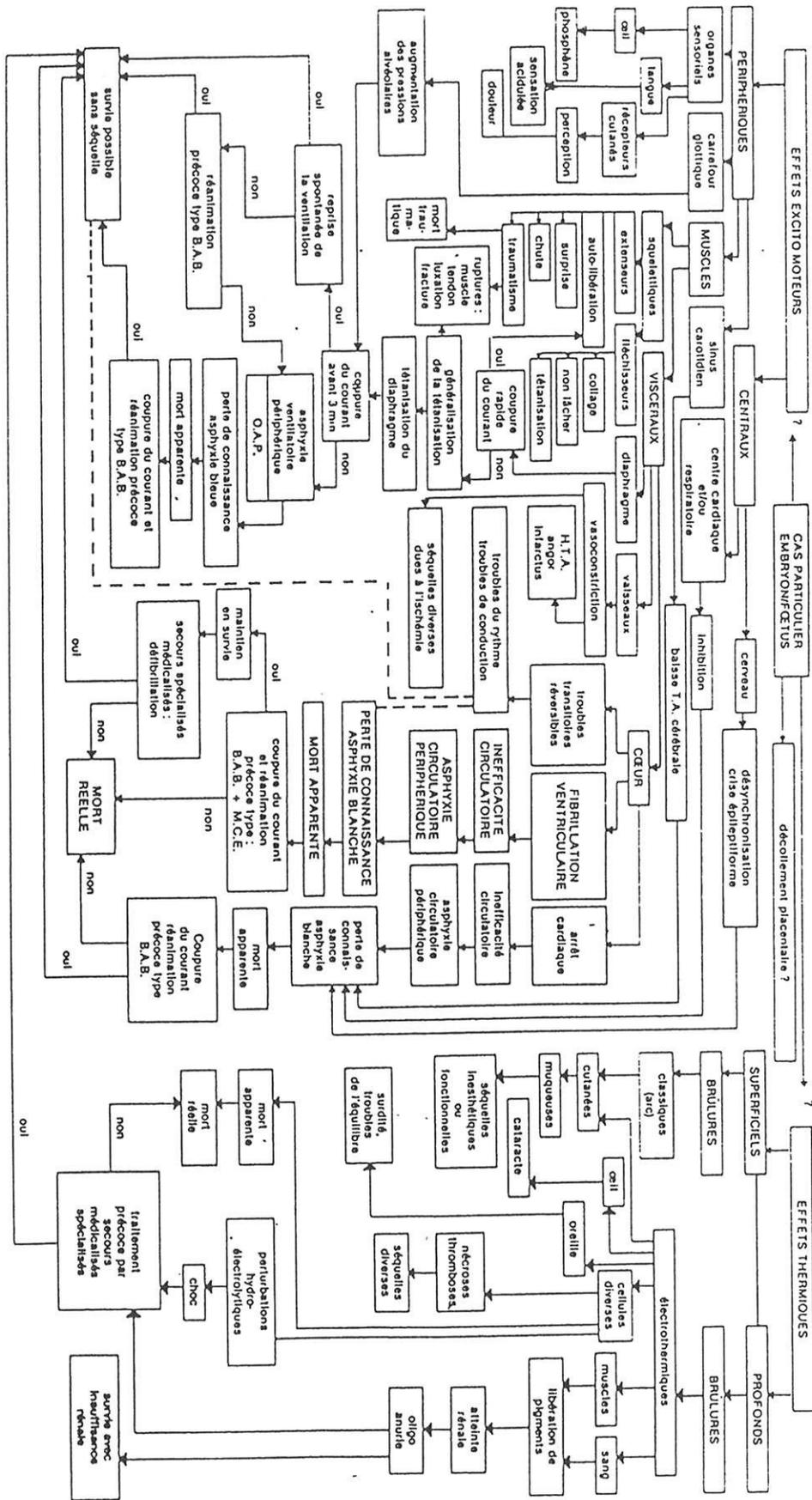
- convection ou radiation dans l'air : le refroidissement cutané est le plus rapide.

- flux sanguin : l'étendue des brûlures dépend du degré de perfusion tissulaire, le refroidissement est accéléré par la circulation sanguine.

Au total, en basse tension, l'intensité expose essentiellement au risque d'arrêt cardio-respiratoire (ACR), surtout si la résistance est abaissée, si le trajet intéresse le thorax et si le temps de passage est long.

En haute tension, l'intensité est toujours dangereuse car la résistance cutanée devient négligeable mais les risques d'ACR et de brûlures sont majeurs.

ACCIDENTS DUS A L'ELECTRICITE



7 Effets du courant électrique dans le corps humain (d'après Follot, in - Les accidents d'origine électrique, leur prévention - [1], Masson, éd.).

2.2 – Lésions par arc électrique (13), (14), (22)

L'arc électrique se produit par ionisation des particules de l'air entre 2 conducteurs sous tension ou entre un conducteur sous tension et la terre.

Sa formation dépend de l'importance de la différence de potentiel entre les deux conducteurs, de la distance qui les sépare (distance d'amorçage) et de la composition du milieu.

Dans ce cas, le courant électrique ne traverse pas le corps et la conversion de l'énergie électrique en énergie thermique a lieu en dehors de l'organisme.

L'importance de l'arc dépend de :

- l'intensité : plus elle est élevée, plus la section de l'arc est grande et plus sa température est élevée
- la tension : plus elle est élevée et plus la distance d'amorçage est grande (1m à 400.000 Volts, 1cm à 30.000 Volts , 1mm à 500 Volts).

Mais cette distance dépend en outre du degré d'humidité de l'air qui favorise l'ionisation et donc le passage du courant.

La durée d'un arc est brève, mais si la source d'énergie est maintenue, il peut s'étendre sur plusieurs mètres en suivant l'éloignement des 2 pôles.

L'arc électrique provoque 4 types d'effets :

. Effet thermique

Il s'agit de brûlures thermiques et qui peuvent être aggravées par l'inflammation des vêtements ou de produits inflammables ou explosifs situés à proximité.

En basse tension, les brûlures sont généralement peu étendues et localisées aux parties découvertes (mains, face).

En haute tension, elles sont le plus souvent étendues et graves ; l'arc électrique peut atteindre 2500° et provoquer des brûlures du 3^{ième} degré.

. Effet lumineux

Les radiations ultra-violettes du flash électrique sont à l'origine d'un phototraumatisme appelé « coup d'arc oculaire ».

On distingue différents stades : conjonctivite avec larmoiement ; photophobie et hyperhémie conjonctivale ; brûlures cornéennes ; dégénérescence maculaire avec diminution de l'acuité visuelle et scotome.

Il est à noter que la cataracte post-électrisation est due au passage par l'œil du courant électrique et non à un phototraumatisme par arc (coup d'arc oculaire) mais qui peut entraîner aussi une cataracte plusieurs mois après.

. Effet acoustique

La détonation peut provoquer des ruptures tympaniques, mais aussi des hypoacusies et des acouphènes comme chez les victimes de la foudre.

. Effet mécanique

L'énergie transmise par l'arc électrique est responsable d'une détonation avec effet de souffle similaire à un blast aérien pouvant expliquer des ruptures de viscères creux et l'aspect cratériforme de certaines brûlures (comme chez le foudroyé).

L'arc électrique s'accompagne aussi de projections de particules métalliques du conducteur dont les plus dangereuses sont les projections au niveau oculaire.

**CLINIQUE DES ACCIDENTS
ELECTRIQUES**

VIII – Clinique des accidents électriques

1 – Accidents en basse tension ($50 < U < 1000$ V) (33), (18)

1.1 - La simple secousse électrique

Cet accident bénin est le cas le plus fréquent. La victime est toujours restée consciente et présente une certaine émotion. L'électrocardiogramme effectué précocement, ne montre que des signes fugaces (tachycardie sinusale) sans retentissement hémodynamique.

L'interrogatoire précise la tension présumée en cause, les circonstances de l'accident, le trajet du courant, la durée du contact électrique, l'existence d'une chute ou d'une téτανisation.

1.2 - L'accident préoccupant

La victime a présenté une perte de connaissance initiale suivie d'une reprise progressive de la conscience incomplète avec amnésie rétrograde de l'accident souvent associées à une agitation et à une hypertonie musculaire ; parfois on retrouve une torpeur avec polypnée et régurgitation.

L'électrocardiogramme retrouve des troubles du rythme et de la conduction mineurs qui peuvent être dus à l'anoxie passagère ou à l'action du passage de l'électricité.

Cet accident est assez fréquent en basse tension.

1.3 - L'accident grave d'emblée

La victime est en arrêt cardio-respiratoire constaté par l'absence de conscience, de ventilation et de pouls carotidiens. Le pronostic vital repose sur la précocité et la qualité d'une réanimation cardio-respiratoire par massage cardiaque externe et ventilation par bouche à bouche (statistiquement celle-ci dépend d'un profane, c'est à dire un camarade de travail ou un membre de la famille).

Cet accident est rare en basse tension et les délais d'intervention conditionnent le pronostic vital.

Les grandes causes d'états initiaux de mort apparente sont en basse tension :

- . asphyxie d'origine circulatoire périphérique : cas le plus fréquent ; elle survient suite à une fibrillation ventriculaire irréversible.

- . asphyxie d'origine circulatoire centrale : par inhibition des centres bulbaires végétatifs ou un réflexe vagal. Cas rare.

- . asphyxie d'origine respiratoire périphérique : par téτανisation des muscles respiratoires (essentiellement le diaphragme) qui cesse à la coupure du courant.

Cas assez fréquent.

- . asphyxie d'origine respiratoire centrale : par inhibition des centres bulbaires respiratoires de commande involontaire et du faisceau pyramidal, centre de commande volontaire de la ventilation. Cas rare survenant lors d'un contact céphalique avec trajet longitudinal du courant.

1.4 - L'accident où les lésions chirurgicales dominant

Bien que rare en basse tension, il ne faut jamais méconnaître la possibilité de :

- . fractures ou luxations au décours d'une chute, d'une projection loin ou d'une violente tétanisation.

- . brûlures évolutives des doigts (enfants).

- . traumatisme rachidien avec section médullaire haute pouvant être à l'origine d'une hypovolémie relative par vasoplégie ou/et d'une détresse respiratoire par paralysie des muscles respiratoires.

2 – Accidents en haute tension ($U > 1000 \text{ V}$) (18)

Les manifestations cliniques décrites pour la basse tension se retrouvent pour les courants haute tension mais la conversion instantanée de l'énergie électrique en énergie thermique prend dans ce cas une importance majeure à l'origine des brûlures.

On distingue 3 types :

- . les brûlures par arc : localisées aux parties découvertes en basse tension, elles sont souvent étendues en haute tension et peuvent se compliquer par l'inflammation des vêtements de la victime.

- . les brûlures électrothermiques : véritables brûlures électriques, siégeant également aux parties découvertes en basse tension (main, face), elles peuvent être multiples (plusieurs points de sortie), étendues et profondes en haute tension.

On sépare :

- les brûlures cutanées : aux points d'entrée et de sortie, correspondant à une nécrose de coagulation, de taille très variable, présentent chez 80 % des électrisés (Folliot).

Lors d'un courant de faible voltage, les brûlures ont un aspect de lésions limitées, de couleur blanc nacré sur une pellicule d'épiderme noirci.

- les brûlures internes à l'origine de :

. thromboses vasculaires extensives

. nécroses musculaires entraînant une fuite plasmatique et électrolytique (à l'origine d'une hypovolémie par constitution d'un 3^{ième} secteur, d'une hyperkaliémie et d'une acidose), des oedèmes au niveau des loges musculaires (accentuant les phénomènes ischémiques distaux) et la libération massive de chromoprotéines (surtout la myoglobine) responsable d'un risque d'insuffisance rénale aiguë oligoanurique par tubulopathie aiguë (précipitation de myoglobine dans les tubules rénaux) ; on parle de rhabdomyolyse (semblable au Crush Syndrome).

. inhibition des centres nerveux à l'origine de troubles de la ventilation.

. les brûlures mixtes : elles résultent de l'association des brûlures électrothermiques et par arc électrique.

Toutes ces brûlures peuvent se compliquer par l'inflammation des vêtements, projection de matières incandescentes (huile, brai, métaux en fusion) ou mise en jeu de matières explosives ou inflammables.

3 - Complications

3.1 – Cardio-vasculaires (2), (17)

3.1.1 – Manifestations fonctionnelles

Les manifestations cardiaques surviennent en basse tension au décours d'électrisation avec passage du courant dans l'aire cardiaque et se traduisent, sans support clinique ou électrocardiographique, par : des lipothymies, palpitations, angor fonctionnel dans un contexte d'anxiété.....

3.1.2 – Troubles du rythme

Sur le tracé ECG on peut trouver par ordre décroissant de fréquence :

- une tachycardie sinusale : fréquente, transitoire, liée à une libération de catécholamines lors du choc.

- une tachycardie ventriculaire, des extra-systoles, des flutters et des fibrillations auriculaires ont été décrites.

Il peut exister un intervalle libre entre l'électrisation et l'apparition des troubles du rythme (plusieurs heures).

- la fibrillation ventriculaire : dangereuse car irréversible spontanément est la première cause de décès en basse tension. Son apparition retardée est exceptionnelle.

3.1.3 – Lésions coronariennes

Les cas d'angine de poitrine ou d'infarctus post-électrisation ne sont pas rares. (17)

Plusieurs mécanismes sont proposés afin d'expliquer ces lésions :

- . spasme et lésions des vaisseaux coronaires suite à l'anoxie (ACR) ou une ischémie
- . atteinte myocardique directe (brûlures)
- . lésions coronariennes pré-existantes

3.1.4 – Autres manifestations cardiaques

La description de ruptures valvulaires (sigmoïdes aortiques) ou ventriculaires droites, de brûlures myocardiques ou d'insuffisance cardiaque est exceptionnelle.

3.1.5 – Manifestations vasculaires

Qu'elles soient artérielles ou veineuses, périphériques, concernent surtout les membres supérieurs et inférieurs, mais peuvent être constatées dans les jours (48 h) qui suivent l'électrisation avec la haute tension (par le passage direct et préférentiel du courant) suite à des lésions pariétales débutant à l'intima .

Elles se traduisent par des thromboses ou des hémorragies, accentuant les nécroses musculaires.

Les gros troncs artériels sont peu touchés par les thromboses du fait d'un débit sanguin plus important et donc plus apte à dissiper la chaleur dégagée par effet Joule.

Ce sont surtout les artères nourricières qui le plus souvent touchées.

3.2 – Neurologiques

Les mécanismes lésionnels par le courant électrique sont multiples et intriqués : des lésions cellulaires avec ou sans effet électrothermique, des sécrétions anarchiques de neuromédiateurs, des modifications de la circulation cérébrale et des oedèmes cérébraux secondaires.

3.2.1 – Troubles cérébraux

Ils apparaissent dans les premiers jours, suivant l'accident.

Cliniquement, il s'agit de troubles de la conscience, qu'il y ait eu ou non une perte de connaissance initiale, allant de la simple obnubilation au coma et à l'amnésie (mais ils sont le plus souvent régressifs).

L'inhibition des structures du tronc cérébral peut engendrer des troubles neurovégétatifs, mais surtout un arrêt respiratoire immédiat ou retardé, de quelques minutes à quelques heures. (17)

En cas de contact céphalique, la crise convulsive est classique. Parfois il existe des troubles hémiparésiques voire quadriparésiques de régression incomplète.

En l'absence de traumatisme crânien associé, ces atteintes témoignent de l'action directe du courant électrique sur le système nerveux central avec oedème qui s'ensuit.

3.2.2 – Troubles psycho-névrotiques

Ils se traduisent par des manifestations anxieuses (insomnie, émotivité, agitation), une crainte irrationnelle de tout ce qui se rapporte à l'électricité, une amnésie et parfois de l'agressivité.

Une étude américaine s'est intéressée aux symptômes neuropsychologiques consécutifs à une électrisation et retrouve parmi les plaintes les plus fréquentes (>40%) :

- des plaintes d'ordre physique : paresthésie, céphalée, trouble de la marche, engourdissement, picotement cutané, spasme ou contracture ou faiblesse musculaire....
- des plaintes cognitives : trouble de la concentration, difficulté à trouver ses mots, lenteur d'idéation, trouble mnésique....
- des plaintes de nature émotionnelle : stress, anxiété, dépression, tristesse, changement de comportement....

De plus elle recommande une grande attention à l'égard de ces victimes qui peuvent développer plusieurs mois après des troubles débouchant sur une prise en charge psychiatrique. (35)

3.2.3 – Atteintes médullaires (28), (32)

En dehors de toute fracture vertébrale, elles résultent de l'action directe du courant électrique (trajet longitudinal), à l'origine d'une altération endothéliale des micro-vaisseaux nourriciers de la moelle.

Une autre théorie, dite vasculaire, implique les vaisseaux médullaires qui seraient le siège d'hémorragie lors de la contraction violente des muscles paravertébraux ou par combinaison de la stase veineuse et de l'hyperpression artérielle.

Généralement, elles sont liées aux accidents en haute tension et leur délai d'apparition peut aller de quelques jours à deux ans.

L'apport de l'imagerie par résonance magnétique permettra peut-être de comprendre le mécanismes de ces atteintes.

3.2.4 – Atteintes nerveuses périphériques (28), (32)

Sensitives ou motrices, peuvent aussi, en dehors d'un contexte traumatique, être la conséquence de l'effet thermique de l'électricité (lésions irréversibles par démyélinisation progressive).

Les atteintes préférentielles concernent les membres, points de contact les plus fréquents (nerf médian et cubital, moins le nerf radial, syndrome du canal carpien et de Guyon, nerf sciatique poplité externe, plexus brachial...).

Une diminution des lésions axonales par une anesthésie locale (10% procaïne ou 2% lidocaïne) lors de stimulations électriques continues des nerfs périphériques a été mise en évidence. (1)

3.2.5 – Atteintes sensorielles

Elles portent avant tout sur l'œil: photophobie, larmoiement, hyperhémie conjonctivale, blépharospasme, kératite, cataracte uni ou bilatérale, cécité transitoire, hémianopsie latérale homonyme, atrophie optique, baisse de l'acuité visuelle, lésions rétiniennes,

Leur délai d'apparition est de 4 à 6 mois.

Les atteintes cochléo-vestibulaires et tympaniques (hypoacousie uni ou bilatérale, vertige) peuvent résulter d'un traumatisme associé ou de l'action directe du courant électrique.

3.3 – Rénales

Elles sont dominées par l'insuffisance rénale par tubulopathie ; le tableau est comparable au Crush Syndrome avec nécroses musculaires, ruptures ou thromboses vasculaires et met en jeu le pronostic vital.

La libération de chromoprotéines (hémoglobine et surtout myoglobine) par hémolyse tissulaire et vasculaire, et par nécrose musculaire provoquera la précipitation de myoglobine dans les tubules rénaux, surtout en milieu acide. Une coagulation intravasculaire disséminée (CIVD) est fréquemment associée.

Un choc hypovolémique, par constitution d'un 3^o secteur, peut aussi entraîner une insuffisance rénale.

Une acidose métabolique et une hyperkaliémie liée à la nécrose et à une éventuelle insuffisance rénale engagent le pronostic vital

Il est aussi observé :

- . hyperphosphorémie (libération des phosphates musculaires)
- . hyperuricémie
- . élévation de la créatininémie (destruction musculaire)
- . hypocalcémie initialement, puis il existe des hypercalcémies à la reprise de la diurèse (moins fréquent en cas d'hémodialyse).

3.4 – Autres complications (25), (28)

3.4.1 – Atteintes digestives

Il est possible de trouver des ulcères de stress d'apparition retardée pouvant se compliquer de perforations. Sont aussi possibles une pancréatite, une perforation

nécrotique de la vésicule biliaire, une nécrose de la paroi abdominale, une rupture de rate, une nécrose iléale, une cytolyse hépatique, un iléus paralytique, une dilatation gastrique et une cholécystite.

Il a été décrit une augmentation de la gastrinémie et un risque d'ulcérogénèse.

3.4.2 – Atteintes pulmonaires

Elles peuvent conduire au : . syndrome de détresse respiratoire aiguë (par modification de la compliance et du rapport ventilation/perfusion)

. œdème pulmonaire neurogénique

3.4.3 – Anomalies biologiques

Il s'agit de :

. variation de l'insulinémie (augmentée pour des brûlures de moyenne étendue et diminuée pour des brûlures plus grandes)

. augmentation de la sécrétion de cathécolamines

. baisse de l'immunité transitoire pendant 5 jours avec risque de complications infectieuses (leucopénie au 2^{ième} jour).

. anémie par lyse rapide, thrombopénie, CIVD localisée aux zones brûlées

4 – Séquelles (14), (17), (28), (32), (33)

Les séquelles font la gravité des électrisations.

4.1 – Séquelles trophiques, fonctionnelles et esthétiques des brûlures

Les séquelles fonctionnelles résultent de rétractions et de brides au niveau des plis de flexion, de cicatrices vicieuses, de lésions tendineuses voire d'amputations.

Deux localisations exposent particulièrement au risque de séquelles fonctionnelles :

- les brûlures électrothermiques de la bouche, chez l'enfant qui suce une prise, associées à un coup d'arc à travers la salive. Ces brûlures des lèvres et de la langue, dont certaines sont sévères avec nécroses étendues, exposent au risque majeur de microstomie.

- les brûlures des poignets et des doigts : Le port de bijoux métalliques (bagues, alliances, bracelets) qui sont d'excellents conducteurs électriques et thermiques, peut être à l'origine de brûlures circonférencielles volontiers profondes et exposent au risque d'ischémie aiguë de la zone brûlée. (33)

Malgré la chirurgie réparatrice et esthétique et les possibilités de nouvelles méthodes de rééducation et réadaptation fonctionnelle, beaucoup de brûlures en haute tension comme en basse tension (enfants) se soldent par des amputations (18 à 45 % des cas selon les études) du fait des nécroses extensives.

Au passif déjà lourd des brûlures en haute tension, il faut ajouter les effets indirects des répercussions familiales et sociales (exemple d'une étude menée par Lebaupin en 1979, sur 11 dossiers de grands brûlés, 10 divorces furent constatés dans les suites des électrisations).

4.2 – Neurologiques

Elles sont souvent observées après une électrisation avec contact céphalique et se traduisent cliniquement par un syndrome cérébral proche de celui des traumatisés crâniens. Il sera évoqué devant plusieurs de ces symptômes classiques (subjectifs tel que les sensations vertigineuses, céphalée, insomnie, irritabilité, troubles mnésiques et intellectuels) et l'association d'un état dépressif avec asthénie et baisse de la libido.

La persistance de ces troubles (au-delà de 12 mois) peut faire craindre une atrophie corticale post-électrisation, objectivée par résonance magnétique et traduisant de façon formelle l'organicité du syndrome.

Les syndromes choréo-athétosiques ou parkinsoniens peuvent survenir plus d'un an après une électrisation ou un foudroiement.

L'épilepsie peut exceptionnellement persister.

Certaines douleurs traînantes pourraient être liées à l'atteinte des plexus ou des nerfs périphériques.

Les séquelles médullaires, surtout d'origine traumatique, peuvent résulter du passage direct du courant à l'origine d'une thrombose ou d'un spasme d'une artère spinale : amyotrophie spinale, paraplégie ou tétraplégie.

Les séquelles sensorielles sont avant tout des cataractes électriques et des surdités ou des vertiges par traumatisme labyrinthique et tympanique. Les séquelles oculaires sont observées lors d'accident en haute tension, se manifestent après un intervalle libre de 4 à 6 mois, et l'examen ophtalmologique peut révéler des vacuoles sous-capsulaires annonçant longtemps à l'avance une cataracte d'origine électrique.

4.3 – Cardio-vasculaires

Elles sont rares : . troubles du rythme ou de la conduction.

- . manifestations coronariennes à type d'angor ou infarctus.
- . séquelles de ruptures ou de thromboses vasculaires en particulier au niveau rénal.

4.4 – Rénales

Elles sont exceptionnelles du fait d'une prise en charge médicalisée précoce (remplissage vasculaire + solutés alcalins ...). Les tubulopathies secondaires sont à l'origine de lésions irréversibles. On peut néanmoins observer une albuminurie ou une hématurie microscopique persistante.

5 – Electrification au cours d'une grossesse (10), (33)

Les cas d'électrification chez la femme enceinte sont fort heureusement rares mais probablement sous-estimés.

Si les risques et la prise en charge de ces patientes sont relativement codifiés, en revanche, les risques encourus par le fœtus sont plus incertains mais vraisemblablement surestimés.

Ces risques pour la grossesse dépendent de certains paramètres électrophysiques déterminants qu'il faut savoir rechercher par un interrogatoire et un examen clinique minutieux afin d'adapter au mieux la surveillance de la grossesse.

5.1 – Paramètres principaux

5.1.1 – Paramètres physiques

Ils sont le plus souvent connus : l'intensité, la tension, le type de courant (alternatif en général) et la fréquence (50 Hz en Europe et 60 Hz aux USA).

5.1.2 – Circonstances de l'accident

- degré d'humidité
- durée de contact
- trajet du courant : paramètre essentiel à reconstituer car il détermine le type de lésions viscérales à redouter ; le courant va se propager en suivant la loi de moindre résistance des tissus (le plus souvent en empruntant un axe vasculo-nerveux).

Un trajet vertical (main-pied) passant par l'utérus serait le plus préjudiciable pour le fœtus. En effet, l'utérus gravide très vascularisé et le liquide amniotique sont d'excellents conducteurs faisant du fœtus une victime facile.

L'étude des cas publiés dans la littérature internationale abonde dans ce sens puisque le pourcentage de survie fœtale tombe à 20 % dans la série des cas référencés où le courant passe majoritairement par l'utérus (cf tableau I). (10)

En revanche, lorsque le courant shunte l'utérus, comme cela semble être le scénario le plus fréquent dans l'étude prospective canadienne, le risque pour le fœtus est faible avec un taux de survie de plus de 90 % (tableau I).

Les études clinique de sismothérapie et de cardioversion chez les femmes enceintes attestent également d'un risque fœtal faible lorsque le courant shunte l'utérus. (10)

5.1.3 – Paramètres liés à la victime

C'est la résistance qui, dans les électrisations à basse tension, a la plus grande influence sur le degré d'atteinte des tissus. Elle diminue en cas de peau fine et humide et d'autant plus si la personne électrisée est jeune.

Des études chez l'animal ont montré que la résistance cutanée in utero était 200 fois plus basse qu'après la naissance.

Le fœtus baignant dans le liquide amniotique représente donc une voie de conduction idéale pour le courant.

Cette fragilité constitutionnelle du fœtus face à un courant basse tension, souvent anodin pour la mère explique l'absence de corrélation entre le degré d'atteinte maternelle et fœtale.

5.2 – Complications pour la grossesse

5.2.1 – Complications maternelles

cf les paragraphes précédents

5.2.2 – Complications fœtales

Afin d'évaluer les risques encourus par le fœtus, une étude a colligé tous les cas d'électrisation chez la femme enceinte référencés dans la littérature jusqu'en 1996 (au total 26 cas). (10)

Il ressort de cette revue de la littérature, qu'il n'existe pas de lésions spécifiques chez le fœtus, et que tout comme l'adulte, le polymorphisme lésionnel est déterminé par le trajet du courant électrique.

Perte fœtale : fausses couches (FC) et mort in utero (MIU)

La mortalité est élevée (80,7 %) sur 26 cas : 5 enfants ont survécu, dont 2 après souffrance fœtale aiguë (SFA) et un seul enfant est né sans anomalie.

Cette mortalité reste élevée quelle que soit l'âge de la grossesse comme le prouvent les pourcentages respectifs de perte fœtale par trimestre (100%-75%-73%).

Les délais entre l'électrisation et la mort in utero sont très variables allant de quelques minutes à quelques mois ; une telle différence laisse supposer une multitude de mécanismes responsables et parmi les hypothèses physiopathologiques les plus fréquentes, nous citons :

- les altérations graves du rythme cardiaque fœtal
- les altérations non spécifiques du système nerveux central
- les lésions vasculaires fœtales et placentaires

Une autre étude canadienne récente (1997) de Einarson fait état, à partir de 31 observations recueillies prospectivement sur 10 ans, d'un risque de mortalité fœtale beaucoup plus faible de l'ordre de 15 %. (10)

Une telle disparité s'explique par l'existence de 3 biais :

- . biais de publication (seuls sont souvent publiés les observations délétères pour le fœtus)
- . biais méthodologique dans le recueil des données (l'étude canadienne semble plus fiable car prospective)
- . biais lié à la répartition différente des cas de trajet du courant traversant l'utérus (>60% pour les 26 cas versus 10% pour 31 observations canadiennes).

. Lésions placentaires : hématome rétro-placentaire (HRP) et retard de croissance intra-utérin (RCIU)

Un cas d'HRP (décrit par Young, femme à 32 SA césarisée à 24 h pour SFA) a été retrouvé dans cette étude. On peut penser que le mécanisme lésionnel à l'origine de l'HRP, réside dans l'altération par brûlure électrothermique du lit utéro-placentaire. (10)

En général, ces lésions placentaires ne sont pas visibles immédiatement mais il apparaît secondairement des lésions ischémiques différées souvent irréversibles.

Deux cas de RCIU ont été signalés, tous les 2 ont eu lieu au deuxième trimestre et se sont manifestés avec un retard de 2 à 3 mois.

Dans le cas décrit par Lieberman, une malformation fœtale intra-utérine (MFIU) est venue compliquer le RCIU, 12 semaines après l'accident électrique. L'analyse anatomopathologique révélait sur plus d'un tiers du gâteau placentaire des lésions associant des zones d'infarctus, de dépôts de fibrine et des zones calcifiées.

Dans ce contexte, on ne peut s'empêcher d'envisager une atteinte vasculaire placentaire. Une étude du doppler ombilical aurait probablement été utile à la compréhension de cette observation en objectivant une éventuelle augmentation des résistances vasculaires placentaires.

En revanche, Strong relate le cas d'un RCIU associé à un hydramnios et compliqué d'une SFA mais dont l'issue fut heureuse après césarienne (l'examen du placenta ne révélait aucune lésion particulière). (10)

. Hydramnios :

Sur 5 enfants rescapés, 3 d'entre eux sont nés dans un contexte d'hydramnios, ce dernier étant apparu secondairement après plusieurs semaines.

. Menace d'accouchement prématurée (MAP)

Quelques auteurs signalent une activité utérine contractile après électrisation, mais ce phénomène est inconstant. Cette activité contractile est surtout observée après foudroiement.

On constate sur les enregistrements cardiotocographiques (le 1^o jour) des contractions régulières, qui devaient s'estomper ultérieurement avec le repos.

L'existence d'une telle activité contractile doit nous orienter vers la possibilité d'un trajet électrique passant par l'utérus et nous inciter à une plus grande vigilance dans la surveillance de cette grossesse.

. Lésions viscérales anté-natales : destruction d'un rein par thrombose
de la veine rénale

Les mécanismes lésionnels sont multiples avec des atteintes parenchymateuses directes, des tubulopathies et des thromboses des vaisseaux rénaux.

Les études histologiques des atteintes vasculaires post-électrifications mettent en avant le fait que ces lésions sont polymorphes avec des thromboses intra-luminales venant compliquer des lésions pariétales de type artérite aiguë. La paroi des vaisseaux est le siège d'une désorganisation de la média, d'une hyperplasie de l'intima et de nécrose avec possible rupture pariétale. Sur de telles parois, les vasospasmes ou les phénomènes thrombotiques sont alors très fréquents.

Ces lésions vasculaires débutent tôt après le choc électrique mais ne sont visibles et patentes qu'après quelques jours. Les séquelles viscérales par nécrose ischémique apparaissent donc secondairement.

Par contre, la SFA et l'hypotonie majeure à la naissance, qui contrastent avec les bons pH, restent inexplicables.

Sont-elles le fait d'une atteinte neurologique transitoire comme pourraient le suggérer les premières perturbations de l'EEG ?

On peut penser que d'autres organes peuvent être lésés in utero.

Tableau 1 : Trajet du courant et survie foetale

	Cas référencés dans la littérature jusqu'en 1996	Etude canadienne prospective (Einarson)
	n = 26	n = 31
Voltage	220 V (77 %)	110 V (77 %)
Trajet du courant passant par l'utérus (signalé dans la publication)	> 60 %	10 %
% de survie foetale	19 % (5)	94 % (28)
% de survie maternelle	100 %	100 %

Tableau 2 : 26 cas références d'électrisation et grossesse jusqu'en 1996

Auteurs	Voltage	Circonstance - Trajet	AG	Intervalle	Issue
Cathala	110 V		32 SA	1 mois	Hydra Brûlur DCD
Sosa y Sanchez	220 V		12 SA	qq h	FC
Baldi	220 V	arrêt immédiat ds MF	38 SA	6 j	MFIU
Dordelmann	220 V	arrêt immédiat ds MF	36 SA		MFIU
Hing (5)	240 V	Taoster choc x2 à 14 SA, à 16 SA	16 SA	2 j	FA tar
Hrozek (6)	220 V		29 SA	1 semaine	MFIU
	220 V	Lampe électrique - Main pied	31 SA	1 semaine	MFIU
Rees	110 V		31 SA	1 mois	Hydra Brûle DCD

	220 V		13 SA	-	FC
	220 V		38 SA	6 j	MFIU
	220 V		36 SA	5 j	MFIU
Esteve (7)	220 V	Machine à calculer - Tétanisation	9 SA	qq mn	FC
Peppler (8)		110 V	38 SA	6 j	MFIU
Jaffe (9)	220 V	Fils électrique - Main pied	13 SA	qq h	FC
Leibermann (10)	220 V	- Lampe	26 SA	7 j	MFIU
		- Fer électrique	21 SA	3 mois	RCIU
	(main-	pied) - Four électrique	40 SA	3 j	MFIU
		- Prise murale	32 SA	6 semaines	Hydra Apgar
		- Prise murale	20 SA	5 mois	Hydra Apgar
		- Machine à laver	40 SA	1 semaine	Apgar
Mazor (11)	220 V	Machine à laver - main pied	9 SA	2 j	FC
Strong (12)	110 V	Tronçonneuse électrique	32 SA	qq h	RCIU Hydra SFA
		autres chocs vers 18 SA			
Yoong (13)	220 V	Fer électrique	32 SA	1 j	HRP - César J1
Mehl (14)		Arme électrique "Taser" sur abdo et cuisse - Tétanisation	9 SA	qq j	FC
Steer (15)		Clôture électrique : vulve + abdo	11 SA	7 j	FC
Anguenot	220 V	Tondeuse électrique - Main pied	34 S	15 j	SFA e throm anténa veine r

FC : fausse couche - MFIV : Mort foetale in utéro - RCIV : Retard de croissance in utéro - HRP : Hématome rétroplacentaire - SFA : Souffrance foetale aiguë - MF : Mouvement foetal

**STRATEGIE
DE PRISE EN CHARGE**

IX – stratégie de prise en charge pré-hospitalière

et hospitalière

1 – Sur les lieux de l'accident

1.1 - Le dégagement de la victime (27), (28), (36)

Ne jamais toucher le corps de la victime tant que le courant n'est pas coupé au compteur, en basse tension.

En haute tension, seul un service habilité et compétent (EDF-GDF, RATP, SNCF) peut assurer la coupure du courant.

En l'absence de coupure, il peut exister un périmètre dangereux autour de la source de haute tension : pénétrer à l'intérieur de ce périmètre est périlleux (risque de déclenchement d'un arc électrique).

Le risque de sur-accident ne doit pas être sous-estimé. On doit redoubler de vigilance sur sol mouillé et en atmosphère humide .

Si le sujet est « collé » au conducteur, prévenir le risque de chute lors de la coupure du courant. Dans ce cas, les secouristes doivent considérer la victime comme présentant un traumatisme du rachis et la mobilisation prudente s'effectuera en respectant l'axe tête-cou-tronc.

1.2 – L'alerte

Elle doit être donnée par une tierce personne qui prévient le médecin ou une équipe médicale spécialisée ou/et les pompiers mais aussi un service de dépannage spécialisé (EDF-GDF, RATP, SNCF) en cas de ligne haute tension.

1.3 – Prise en charge dans le cas d'un accident en basse tension

(17), (27), (28)

L'interrogatoire et l'examen clinique doivent préciser les circonstances de l'électrisation, les caractéristiques du courant, son trajet, le temps de contact (agrippement) et les facteurs ayant pu abaisser la résistance corporelle.

Une aggravation est toujours possible chez un électrisé apparemment indemne après un intervalle libre de plusieurs heures.

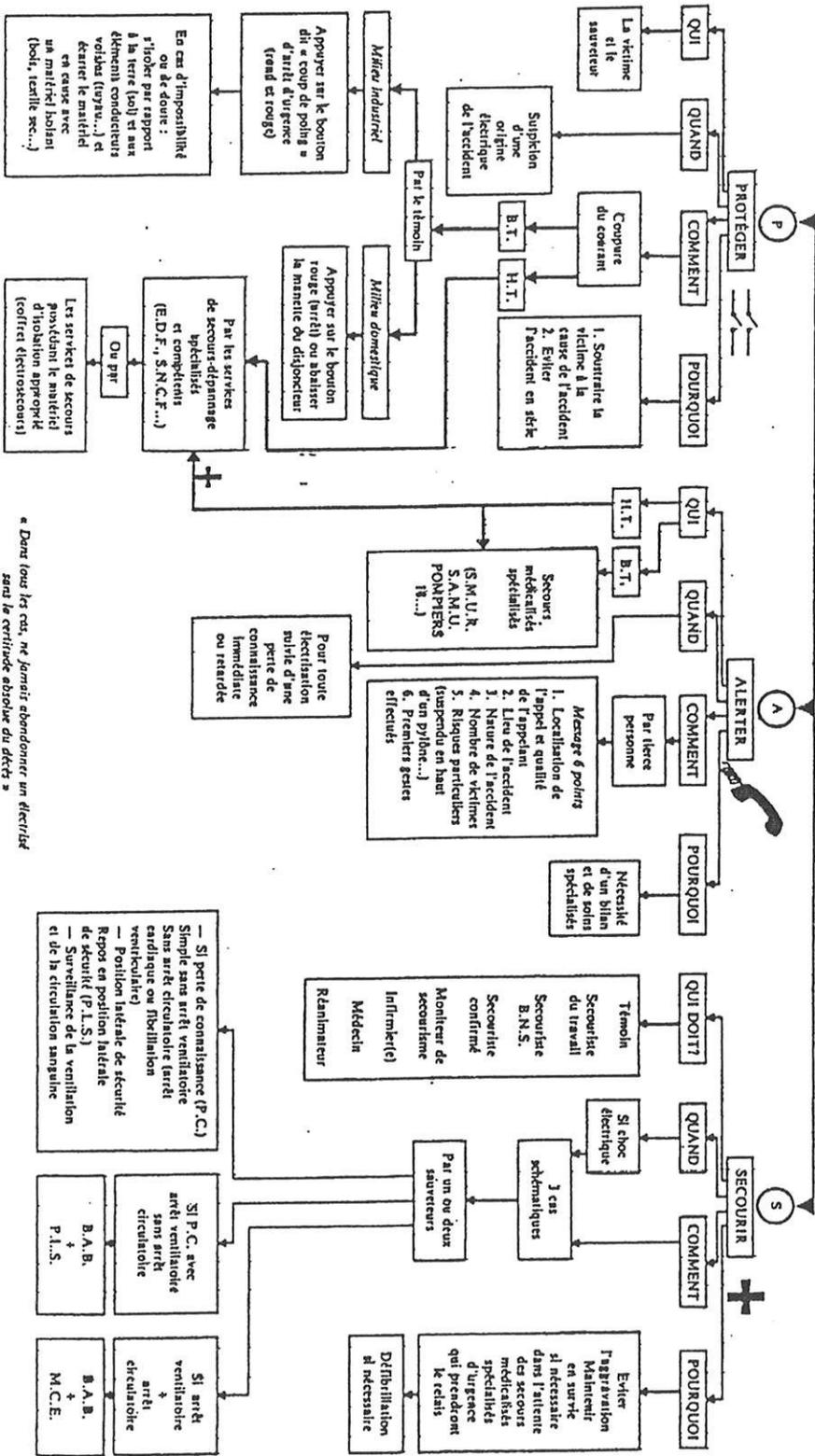
Il est possible d'évoquer schématiquement 4 situations :

1.3.1 - L'accident bénin

Ressenti comme une simple secousse, le sujet est conscient, respire normalement, présente une certaine émotion et une tachycardie. Chez le sujet jeune, ce type d'incident n'entraîne aucune complication. La prise en charge est limitée (ECG, bilan biologique) et repose sur le traitement parfois des brûlures essentiellement localisées aux points de contact (une hospitalisation de 48 heures est recommandée).

SOINS D'URGENCE AUX ELECTRISÉS.

« Toute intervention imprudente du sauveteur risque de l'accidentier lui-même. Chaque seconde gagnée pour le début de l'intervention augmente les chances de succès »



« Dans tous les cas, ne jamais abandonner un électrisé sans la certitude absolue du décès »

1.3.2 - L'accident préoccupant

La victime présente transitoirement des troubles de la conscience. Elle doit rester allongée et être hospitalisée par une équipe médicalisée. Elle justifie une surveillance attentive (monitoring cardiaque, ECG répétés, prise de tension artérielle, biologie) pour déceler la survenue de trouble du rythme cardiaque (tachycardie sinusale, trouble de la conduction et de la repolarisation, HTA), de désordres acido-basiques, des troubles neurologiques et en particulier des troubles de régulation respiratoire.

Si aggravation → cf paragraphe suivant.

1.3.3 - L'accident grave

Après son dégagement, l'électrifié reste inconscient. Le rythme respiratoire est irrégulier, la ventilation insuffisante, les téguments cyanosés. Le pouls est rapide et la tension artérielle instable.

Le sujet doit être placé en position latérale de sécurité et la ventilation au bouche à bouche entreprise en cas de besoin en respectant l'axe tête-cou-tronc.

Les secours médicalisés compléteront ces premiers soins et la mise en condition comprendra :

- . monitoring cardiaque systématique + ECG
- . oxygénothérapie au masque ou par sonde nasale
- . mise en place d'une voie veineuse périphérique
- . perfusion d'un soluté cristalloïde : Ringer Lactate
- . alcalinisation éventuelle et prudente
- . traitement des arythmies ne présente aucune particularité par rapport aux troubles du rythme d'autres étiologies.

1.3.4 - L'état de mort apparente

Avec disparition des pouls fémoraux et carotidiens, doit entraîner dès la coupure du courant, la ventilation par bouche à bouche associé au massage cardiaque externe (le coup de poing sternal ne sera appliqué qu'immédiatement, dans la première minute qui suit l'accident ; il peut parfois réduire une fibrillation ventriculaire). (17)

Ces manœuvres sont poursuivies jusqu'à l'arrivée des secours, même si la situation semble désespérée. La survenue de lésions cérébrales irréversibles serait plus tardives que pour les autres arrêts cardiaques (la tolérance à l'hypoxie est relativement bonne par diminution du métabolisme cellulaire) ; quelques cas guérison sans séquelle ont été observés après UNE heure, voir plus, de massage cardiaque. (28)

L'arrivée de secours médicaux spécialisés (SMUR) permet :

- . monitoring cardiaque en plaçant immédiatement les palettes du défibrillateur qui peuvent montrer :

- fibrillation ventriculaire à grandes mailles : indication d'une défibrillation immédiate (3 à 4 J/kg), débutée généralement à 200 Joules, puis 300 Joules, puis 360 Joules. Les chocs électriques externes seront poursuivis à cette dernière énergie en cas d'échec. Dès le rétablissement d'un rythme sinusal : Lidocaïne 1 mg/kg en IVD.

- fibrillation ventriculaire à petites mailles imposant l'injection d'adrénaline 1 à 2 mg en flash jusqu'à l'apparition d'une FV à grandes mailles qui sera réduite par choc électrique externe.

- asystolie nécessitant l'injection de 2 à 3 mg d'adrénaline IVD à renouveler rapidement si sans succès ou injecter 5 mg dans la sonde d'intubation.

- . oxygénation au masque type Ambu avant l'intubation oro-trachéale ; la ventilation artificielle se pratique en PEEP avec une FiO₂ à 100 % si besoin jusqu'à l'arrivée en milieu hospitalier

- . mise en place d'une voie veineuse, alcalinisation prudente par bicarbonate de sodium à 14 % (400 à 600 meq pendant 4 à 6 heures)

- . remplissage vasculaire si besoin (NaCl 9%, Ringer Lactate) +/- emploi de Dobutamine (10 à 20 µg/kg/min) et/ou Dopamine (5 à 10 µg/kg/min).

- . surveillance tensionnelle, de la fréquence cardiaque et de la saturation en O₂.

Il faut noter que des troubles graves de la conduction et de l'excitabilité ainsi que des signes d'ischémie myocardique sont fréquents lors de la reprise d'une activité hémodynamique.

1.4 - Prise en charge dans le cas d'un accident en haute tension (4), (13), (27), (28)

Les lésions graves précédemment décrites se rencontrent également auxquelles s'associent des :

- brûlures : graves et profondes, souvent sous-estimées lorsque les lésions cutanées limitées cachent des brûlures tissulaires profondes majeures (la règle des 9 de Wallace n'a pas de valeur dans ce cas, car la surface cutanée ne prend pas en compte les brûlures avec nécroses profondes).

Souvent les brûlures électrothermiques se compliquent de brûlures classiques par inflammation des vêtements de la victime.

Cas particulier du brûlé par flash : en l'absence d'amorçage avec la victime, l'arc électrique est à l'origine de brûlures thermiques classiques.

- Crush Syndrome : fait suite aux nécroses musculaires dues aux brûlures profondes, aggravées par des phénomènes ischémiques (thromboses, oedèmes sous aponévrotiques) et sont responsables d'un risque d'insuffisance rénale aigüe oligoanurique par myoglobinurie et précocément d'un risque d'hyperkaliémie.

- hypovolémie : engendrée par les brûlures et les traumatismes associés, sera corrigée précocément grâce à des solutés cristalloïdes. Ce remplissage vasculaire associé à une alcalinisation prudente par bicarbonate de sodium isotonique est utile pour alcaliniser les urines et réduire la précipitation intra-tubulaire de la myoglobine.

A la prise en charge des troubles cardio-respiratoires précédemment cités s'ajoute le traitement des lésions engendrées par l'accident en haute tension :

- . déshabillage de la victime (limité aux vêtements non adhérents)
- . refroidissement initial de la brûlure qui a un intérêt s'il est réalisé très précocément (< 15 minutes après l'accident). Il se fera par ruissellement d'eau de température entre 10 et 20° pendant 15 minutes et ne sera indiqué que dans les brûlures limitées. En effet, il expose au risque d'hypothermie et de vasoconstriction généralisée. L'usage de produit à base de « gel d'eau » pourrait, en partie, pallier ces inconvénients.

. remplissage vasculaire : comprend la perfusion de cristalloïdes comme le Ringer Lactate à la dose de 7 ml /kg /% de surface de corps brûlée. En fait, il est préférable de se fonder sur les signes d'hypovolémie, sur la pression veineuse centrale, la protidémie, la diurèse horaire et l'état de la fonction rénale. (17)

En cas de collapsus cardiovasculaire, l'utilisation de colloïdes est préconisée.

La prévention de l'insuffisance rénale myoglobinurique passe par une alcalinisation prudente de 250 ml de bicarbonate de sodium isotonique à 14 % et par une

rééquilibration hydroélectrolytique afin de maintenir une diurèse de 100 ml/h +/- un diurétique (furosémide).

- . le plasma, l'albumine, le sang et les solutés cristalloïdes sont utilisés comme traitement des brûlures conventionnelles.

- . l'analgésie et la sédation : sont un impératif. La brûlure superficielle provoque une douleur atroce ne répondant pas aux antalgiques mineurs et nécessitant le recours aux morphiniques.

La brûlure profonde est indolore mais le patient souvent angoissé nécessite une sédation. Avant toute sédation, le patient sera oxygéné au masque et le matériel nécessaire au contrôle des voies aériennes supérieures sera préparé.

Pour la sédation et analgésie, l'association de benzodiazépine et de morphine est classique.

- . la KETAMINE entraîne une anesthésie de surface, son utilisation est fréquente chez les brûlés.

- . si convulsion : VALIUM 10 mg en IVD, à renouveler.

- . l'emballage aseptique des lésions par des champs stériles (ou sac Metalline) et la protection thermique par une couverture de survie métallisée sont indispensables.

- . le transport : en décubitus dorsal ou en reposant sur les zones non brûlées.

La surveillance se fera avec un monitoring cardiaque (ECG, pression artérielle), par oxymétrie de pouls (saturation artérielle en O²) et par la mesure de la température centrale.

Le recours à l'intubation orotrachéale et à la ventilation contrôlée se limitera aux brûlures des voies aériennes supérieures avec détresse respiratoire aiguë (brûlures mixtes ou électrisation de la bouche chez les enfants) et aux troubles majeurs de la conscience.

Le sondage vésical aseptique et précoce ne se justifie, en pré-hospitalier, qu'en cas de brûlures des organes génitaux externes.

La mise en place d'une sonde nasogastrique est nécessaire, lorsque le trajet intéresse l'abdomen (iléus paralytique).

1.5 – Les traumatismes associés (18), (28)

Ils sont fréquents :

- Les traumatismes vertébro-médullaires cervicaux doivent être suspectés de principe, ainsi la mobilisation et le transport de ces blessés seront réalisés avec les précautions d'usage (respect de l'axe tête-cou-tronc et pose d'une minerve systématique + matelas coquille) jusqu'à la réalisation d'un bilan radiologique.

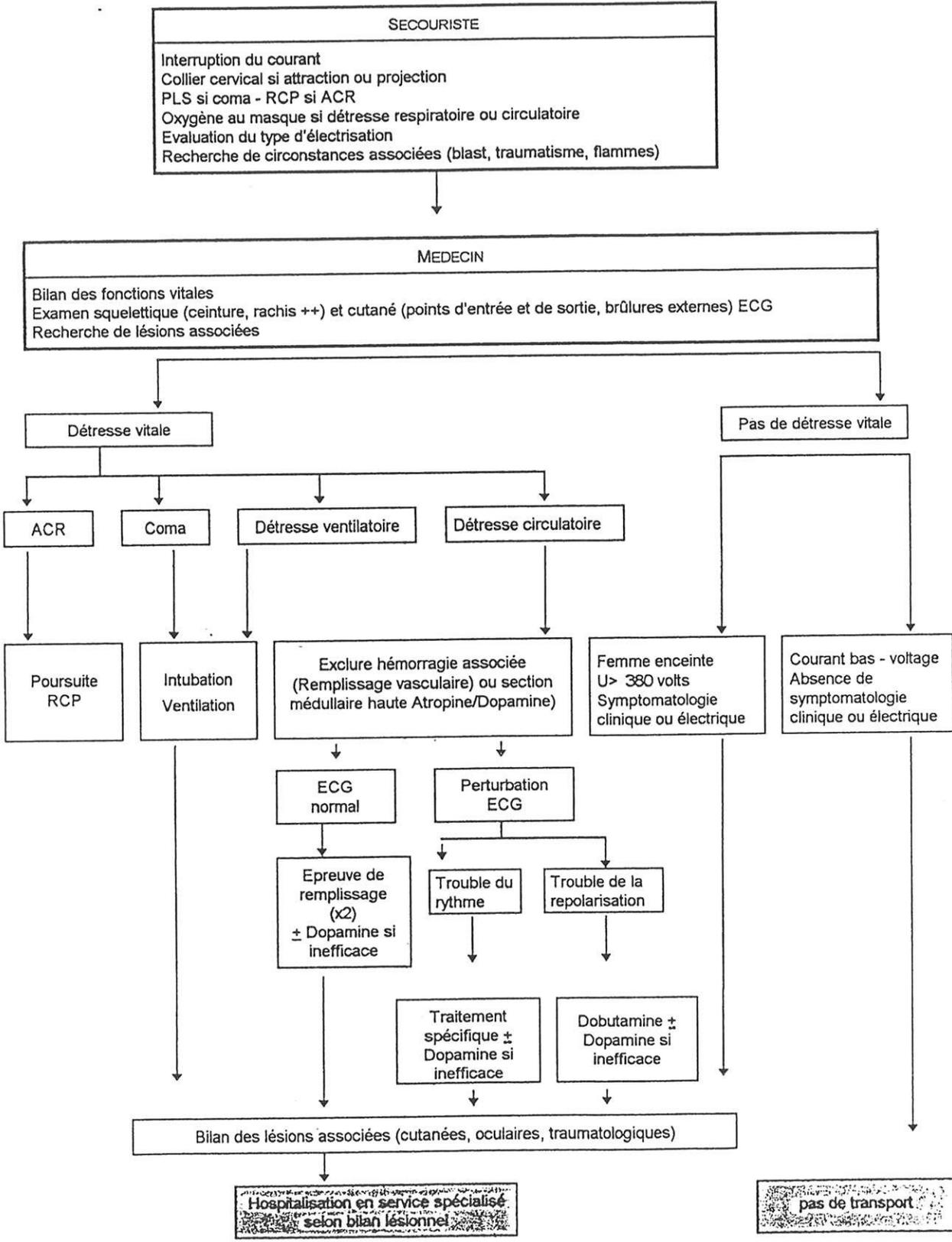
Tout traumatisme au-dessus de C4, expose à une perte de l'autonomie respiratoire par paralysie diaphragmatique (à noter une distension gastrique précoce peut gêner l'expansion du diaphragme). L'atteinte sympathique peut entraîner une vasoplégie avec hypotension, bradycardie sinusale et risque d'arrêt cardiaque inopiné favorisé par une mobilisation brutale, l'hypovolémie et une hypoxie.

- Les traumatismes des membres et du bassin : risque d'hémorragie.

- Les traumatismes crano-encéphaliques : risque de perturbations neurovégétatives à l'origine d'anomalies respiratoires, de la fréquence cardiaque et de la tension artérielle.

- Les traumatismes thoraciques : risque de détresse ventilatoire sur volet (pneumothorax) et circulatoire par hypovolémie (hémithorax) et/ou par tamponnade (hémopéricarde compressif).

- Les traumatismes abdominaux : tableau de choc hémorragique.



Modalités Thérapeutiques

- Traitement systématique : - Sérum physiologique 500 ml rapidement puis 500 ml sur 1 h
- Bicarbonate 14 %/• 250 ml sur 1 h
- Amines vaso-actives : Dobutamine 10 à 20 µg/kg/mn - Dopamine 5 à 10 µg/kg/mn

1.6 – Electrification d'une femme enceinte (10), (33)

Les lésions secondaires à l'électrification peuvent intéresser la mère ou le fœtus ou les 2 simultanément à des degrés variables.

En cas d'accident par un courant haute tension, la gravité des brûlures profondes et leur propension à s'étendre, rendent nécessaire le transfert de la patiente vers un centre de grands brûlés. Le pronostic maternel prime alors sur le pronostic fœtal.

Le cas de figure le plus fréquent, est celui d'une femme enceinte victime d'une électrification par courant domestique. Le plus souvent elle a ressenti une secousse avec tout au plus une absence ou un état stuporeux temporaire.

Aussi anodine soit-elle, **toute électrification chez une femme enceinte impose une consultation obstétricale et une hospitalisation**, d'autant plus que la viabilité fœtale est acquise.

Si la légitimité de l'hospitalisation peut être discutée pour une patiente indemne de toute séquelle, l'absence de corrélation entre le degré d'atteinte maternelle et fœtale nous incite à proposer une courte hospitalisation de 48 heures.

La prise en charge pré-hospitalière reste identique pour la femme enceinte.

2 – Prise en charge hospitalière

2.1 – Les examens paracliniques (27), (28), (33)

Ces examens sont fonction de la gravité de l'électrisation.

Les examens non invasifs sont d'indication large et les examens invasifs sont guidés par la clinique.

2.1.1 – Evaluation de l'atteinte myocardique et vasculaire

- . ECG et monitoring cardiaque

- . holter

- . enzymes cardiaques (transaminases et LDH) et notamment les CPK-MB dont l'élévation est peu spécifique (le trajet vertical passant par le thorax semble plus déterminant pour définir les patients à risque myocardique).

L'intérêt de la troponine reste à démontrer.

- . échocardiographie

- . échographie-doppler vasculaire lorsque une thrombose est suspectée.

- . artériographie ou phlébographie : pour déterminer l'étendue des zones de nécrose afin de déterminer un niveau d'amputation optimum. Elle n'est cependant pas un examen de routine.

- . coronarographie ou scintigraphie d'effort au thallium 201 : si le contexte électrocardiographique, clinique et biologique évoque une insuffisance coronarienne.

Selon une étude américaine et japonaise, la scintigraphie au thallium est très sensible dans l'évaluation des lésions myocardiques (> à celle à l'I-MIBG) et a été comparée à la coronarographie, à l'angiographie ventriculaire gauche et à l'échocardiographie. (29)

2.1.2 – Evaluation de l'atteinte musculaire et rénale

- . CPK (créatine phosphokinase sanguine)
- . myoglobulinurie
- . gaz du sang
- . ionogramme sanguin et urinaire, urée et créatinine sérique.

2.1.3 – Evaluation de l'atteinte neurologique

- . radiographie et tomodensitométrie crânien et rachidien
- . électromyogramme
- . électroencéphalogramme et fond d'œil en cas d'électrisation céphalique ou de persistance de trouble de la conscience

2.1.4 – Recherche de traumatismes associés

- . radiographies osseuses, en particulier de la ceinture scapulaire à la recherche de fractures et de luxations
- . radiographie thoracique à la recherche de rupture bronchique, de pneumomédiastin, de pneumothorax et d'inhalation
- . abdomen sans préparation à la recherche d'un pneumopéritoine par perforation d'un organe creux

2.1.5 – Recherche d'une atteinte sensorielle

- . examen ophtalmologique
- . examen tympanique et labyrinthique

2.1.6 – Bilan chez la femme enceinte (10)

. Bilan maternel : un interrogatoire minutieux tentera de reconstituer le trajet du courant et de reprendre les circonstances de l'accident. L'examen clinique recherchera également les points d'entrée et de sortie du courant quand ils existent.

Certains facteurs aggravants devront renforcer notre vigilance comme un trajet vertical, la notion de perte de connaissance, l'existence d'une douleur thoracique, de brûlure cutanée étendue, un temps de contact augmenté par une tétanisation sur la source et la notion de peau mouillée.

L'ECG sera réalisé systématiquement et parfois complété par une surveillance électrocardioscopique d'au moins 24 heures.

. Bilan fœtal : dans le même temps, il faudra s'assurer de la bonne vitalité fœtale et de l'absence de lésion anté-natale par une échographie morphologique.

Un doppler ombilical viendra compléter utilement l'échographie. une altération de l'index ombilical peut évoquer une augmentation des résistances vasculaires placentaires par brûlure électrothermique et thrombose vasculaire des vaisseaux placentaires.

Si le terme de la grossesse est suffisamment avancé, un monitoring du rythme cardiaque fœtal est réalisé 3 à 4 fois par jour durant les 48 heures d'hospitalisation et un test au Syntocinon en cas de tracé douteux.

La notion de trajet vertical du courant ou une diminution des mouvements fœtaux sont des éléments qui doivent inciter à la plus grande prudence vis à vis du pronostic fœtal. En effet, une partie des lésions par électrisation et surtout celles qui font suite à des lésions vasculaires peuvent apparaître tardivement.

En cas de normalité des examens, la patiente peut regagner son domicile avec une feuille de comptage des mouvements actifs fœtaux.

Un deuxième bilan (echo+doppler) est à prévoir une à deux semaines plus tard afin de dépister d'éventuelles lésions différées, un retard de croissance intra-utérin débutant, un hydramnios, une altération du doppler ombilical et une souffrance foetale.

Au terme de ce deuxième examen, en l'absence d'anomalie et si on a l'intime conviction que le courant n'a pas traversé l'utérus gravide, la surveillance de cette grossesse pourra être allégée (car le risque fœtal est faible comme l'a démontré Einarson).

En revanche, si le trajet du courant semble avoir traversé l'utérus, et même en cas de normalité des 2 premiers bilans, la surveillance soutenue de la grossesse doit être maintenue jusqu'au terme.

Pour toute ces raisons, une hospitalisation de 48 heures de toute femme enceinte électrisée semble légitime avec un deuxième bilan fœtal 10 jours plus tard.

2.2 – Traitement (4), (13), (17), (18), (27), (28), (33)

2.2.1 – Médical

. Il fait suite à la réanimation décrite.

En général, les quantités de solutés perfusés sont diminuées de moitié à partir de la 24^e heure.

. sérothérapie anti-tétanique

. prophylaxie anti-infectieuse par antibiothérapie (Pénicilline G 4 à 10 MU/24h) dirigée contre les anaérobies et le streptocoque bêta-hémolytique du fait des fréquentes surinfections précoces des brûlures.

Certains associent le métronidazole (1g/24h), d'autres préfèrent un traitement antimicrobiens local (pommade à la sulfadiazine d'argent) argumentant que les antibiotiques systémiques diffusent difficilement vers les aires ischémiques des brûlures. Ce seront aussi les prélèvements qui guideront le choix d'une éventuelle antibiothérapie.

- . l'hémodialyse est parfois nécessaire en cas d'insuffisance rénale ou surtout d'hyperkaliémie.

- . traitement anti-acide digestif

- . héparinothérapie préventive (risque de CIVD) après scanner cérébral n'est pas admis par tous les auteurs et comporte un risque hémorragique non négligeable. (33)

- . insulinothérapie en fonction des glycémie

- . soins infirmiers intensifs (nursing, pansements ...) et surveillance (TA, pouls, saturation en O₂, température, monitoring cardiaque...)

- . apport précoce d'une alimentation calorico-azotée importante est nécessaire (300 mg N/kg ; 50 cal/kg) par voie intra-veineuse dans un 1^{ier} temps, puis par voie entérale.

2.2.2 – Chirurgical (15), (17), (33)

Il comporte dans un premier temps des gestes chirurgicaux de sauvetage :

- . incisions de décharge en cas de brûlures circulaires d'un membre

- . fasciotomie de décompression en cas d'oedème sous aponévrotique compressif

avec syndrome des loges.

La surveillance répétée de la vascularisation (artérielle ou veineuse) par doppler et au moindre doute par angiographie pourra indiquer une nouvelle aponévrotomie de décharge (une nécrose musculaire peut malgré la fasciotomie s'étendre ou survenir de façon retardée).

Dans un deuxième temps, on effectue :

- . une excision des tissus nécrosés
- . un débridement des zones musculaires nécrosées
- . une amputation si besoin, elle doit être effectuée en urgence mais le

plus souvent elle est la sanction de complications infectieuses ou ischémiques apparues au bout de quelques jours.

Un tiers des électrisés en haute tension subissent une amputation d'un ou plusieurs doigts et parfois de la main entière.

Cette mutilation est quelques fois impérative en cas de risque vital, de choc persistant ou de lésions étendues.

Parfois le sauvetage de la main, peut être entrepris, par une restauration artérielle précoce au niveau du poignet en utilisant la veine saphène comme greffon permettant le rétablissement d'une circulation efficace et évitant le risque de gangrène (une artériographie préalable aura localisé les lésions des artères radiales et cubitales).

De plus des réparations précoces, faisant appel aux techniques de greffes ou de transfert d'orteils doivent être utilisés chez l'enfant ou en cas d'atteintes bilatérales. Cependant l'amputation suivie d'une prothèse peut être préférable à la conservation d'une main mutilée et peu utilisable.

Des lésions buccales, suite à la mise à la bouche d'objet électrique sous tension, pose de difficiles problèmes de chirurgie réparatrices. Devant la difficulté à délimiter d'emblée les parties atteintes, conjuguée aux risques d'oedèmes et de thromboses, les auteurs

français et japonais préfèrent adopter une attitude conservatrice avec réparation ultérieure. Ce n'est que lorsque la fonction buccale ou l'avenir dentaire sont menacés qu'une reconstruction précoce peut s'imposer.

Dans tous les cas, l'attitude chirurgicale est guidée par le souci de prévenir l'extension des lésions, de diminuer le risque de surinfections et de limiter les conséquences générales et fonctionnelles de la myonécrose.

**ELECTRISATIONS
ET
STATISTIQUES**

X – Les électrisations et les statistiques

Au cours de ce chapitre, nous nous intéresseront aux accidents domestiques, de loisir et du travail, car ils sont les plus fréquents.

1 – Les accidents domestiques et de loisirs

1.1 – Matériel et méthode

Cette enquête repose sur les données fournies par EHLASS (European Home Leisure Accident Surveillance System).

Il s'agit du système européen de surveillance des accidents domestiques, de sports et de loisirs créé en avril 1986 par la Commission Européenne en vue d'instaurer « un système communautaire d'information sur les accidents dans lesquels sont impliqués des produit de consommation ».

Le début des recueils des données débuta en France dans 3 hôpitaux : Bordeaux, Besançon et Grenoble, en juillet 1986.

En 1996, 8 hôpitaux français et 65 hôpitaux en Europe participaient au projet.

1.1.1 – La population étudiée

Cette étude concerne les électrisation de la vie courante (domestiques, sports, loisirs et scolaires) recueillies dans 8 centres du territoire français, en excluant les accidents du travail, de la circulation, les agressions et les suicides, et ceci sur une période comprise entre 1994 et 1997.

L'inclusion dans cette étude, nécessite le passage par un Service d'Accueil des Urgences.

1.1.2 – Le recueil des données

Il est réalisé dans les 8 centres de recueil Banque de données répartis dans 8 villes sur tout le pays (Aix en Provence, Annecy, Besançon, Béthune, Limoges, Reims et Vannes).

Ces villes ont été choisies sur plusieurs critères :

- la localisation géographique
- l'activité de l'hôpital
- les motivations des personnels

De plus il exige un recueil précis, 24h/24h, dans un service d'Urgences par le personnel hospitalier suivant un bordereau comportant, d'une part les informations d'ordre général et, d'autre part des informations plus précises sur l'accident.

L'organisation de ce réseau nécessite une coordination au niveau local avec un responsable dans chaque centre et une coordination nationale au sein du Ministère de la Santé à la Direction Générale de la Santé.

Le traitement des données est effectué par le Centre Inter-universitaire de Traitement de l'Information (CITI 2) pour la Direction Générale de la Santé.

1.1.3 – Les objectifs

Il consiste à :

- . déterminer les types d'accidents les plus fréquents et les plus graves et les facteurs les plus souvent en cause.
- . améliorer la sécurité et la qualité des produits responsables de l'accident par une réglementation ou une normalisation appropriée.
- . informer et éduquer les consommateurs.

Les informations sont diffusées auprès de nombreux organismes comme :

- la Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (DGCCRF) pour faire évoluer la réglementation.
- la Commission de la Sécurité des Consommateurs (CSC) pour contribuer à l'élaboration des avis et à la réalisation de fiches pratiques.
- le Laboratoire National d'Essais (LNE) pour étudier les comportements....
- l'Association Française de Normalisation (AFNOR) pour préparer les normes.
- les Associations de consommateurs pour diffuser les informations auprès du public.
- les Ministères de l'Education Nationale, de la Jeunesse et des Sports, etc.... pour diffuser l'information.

1.2 – Les résultats

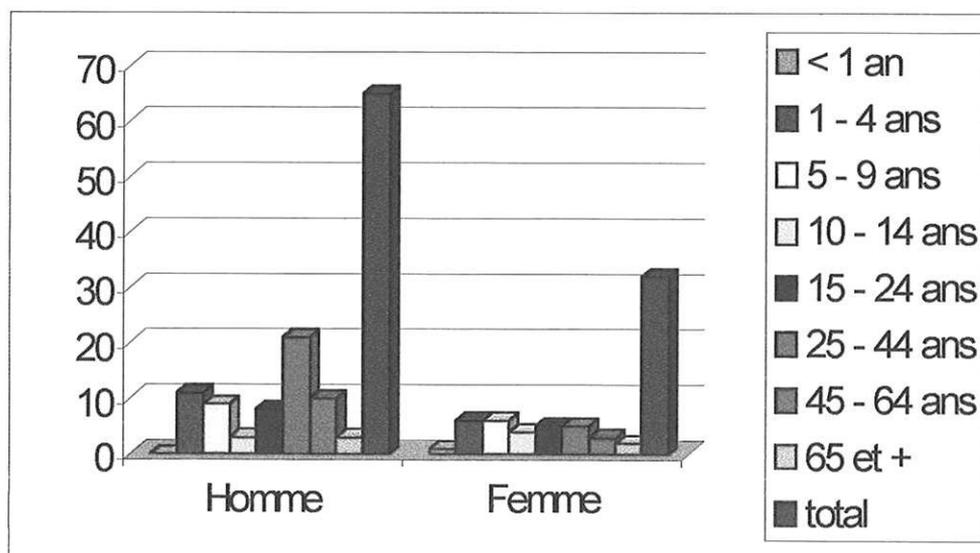
1.2.1 – La population étudiée

Cette enquête porte sur 97 cas recensés entre 1994 et 1997, période pour laquelle les renseignements sont à ce jour disponibles.

. sex ratio : la prévalence masculine est nette : 67 %

. classe d'âge : le risque d'électrisation est accru chez les enfants (1 – 9 ans) et chez les adultes surtout ceux de la tranche 25 – 44 ans (1/4 des victimes).

	< 1 an	1-4 ans	5-9 ans	10-14 ans	15-24 ans	25-44 ans	45-64 ans	65 et +	total
Homme	0	11	9	3	8	21	10	3	65
Femme	1	6	6	4	5	5	3	2	32
total	1	17	15	7	13	26	13	5	97

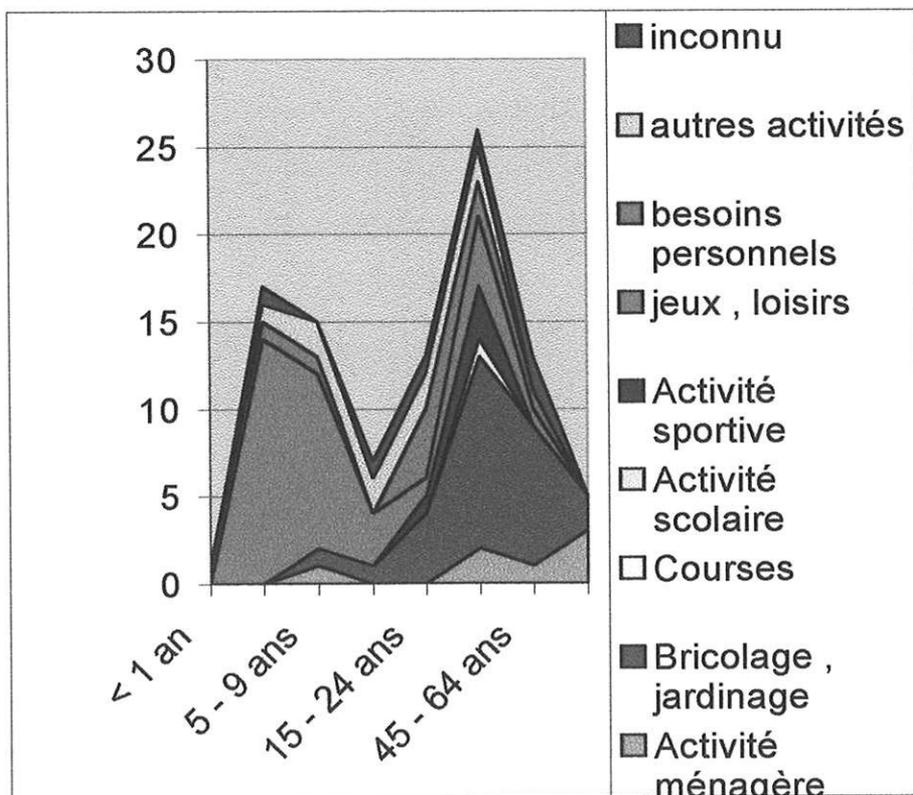


1.2.2 – Lieu de l'accident

La prépondérance des électrisations à domicile est sans équivoque et représente 69,1 %.

	< 1 an	1 - 4 ans	5 - 9 ans	10 - 14 ans	15 - 24 ans	25 - 44 ans	45 - 64 ans	65 et +	total
Intérieur maison	1	15	13	5	7	13	8	5	67
Extérieur maison	0	0	2	0	4	6	2	0	14
Zone de transport	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Zone indust & agric	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Zone scolaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Commerce & intitu	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terrain de sport	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zone de loisirs	0	1	0	0	1	0	1	0	3
Autres lieux	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Inconnu	0	1	0	1	1	5	2	0	10
total	1	17	15	7	13	26	13	5	97

1.2.3 – Circonstance de l'accident



Le bricolage, le jardinage, les jeux et les loisirs sont les premiers responsables d'accidents électriques représentant 61, 8 % de l'effectifs.

On note, d'après le schéma, ci-dessus, 2 pics (la tranche 1 – 9 ans et 25 – 44 ans), qui correspondent à la population à risque et la plus souvent exposée aux dangers électriques.

1.2.4 – Type de lésion et partie lésée

Ces accidents, survenant en basse tension, le type de lésion qui prédomine sont les brûlures superficielles aux points de contact ; de plus, la partie lésée est dans la moitié des cas le membre supérieur et dans 30 % des cas les organes thoraco-abdominaux ce qui correspond à un trajet vertical, le plus fréquent.

Type de lésion	< 1 an	1 - 4 ans	5 - 9 ans	10 - 14 ans	15 - 24 ans	25 - 44 ans	45 - 64 ans	65 et +	total
plaie ouverte	0	1	0	0	1	2	0	0	4
fracture	0	0	0	0	1	0	0	0	1
luxation	0	0	0	0	0	1	0	0	1
lésion nerveuse	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lésion vasculaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lésion musculaire	0	0	0	0	0	0	1	0	1
brûlure	0	12	12	3	6	18	9	3	63
aucune diagnostiquée	0	3	2	0	0	1	0	0	6
autres lésions	0	0	1	3	2	3	1	2	12
contusion	1	1	0	1	3	1	2	0	9
total	1	17	15	7	13	26	13	5	97
Partie lésée									
tête	0	4	0	0	2	3	3	0	12
membre supérieur	0	9	13	4	3	11	6	3	49
membre inférieur	1	0	0	0	0	0	1	0	2
autres	0	2	1	3	7	11	3	2	29
inconnu	0	2	1	0	1	1	0	0	5
total	1	17	15	7	13	26	13	5	97

1.2.5 – Traitement et durée d'hospitalisation

Comme l'indique les chiffres, les personnes à risques (1 – 9 ans et 25 – 44 ans) sont les plus souvent blessées et donc les plus gravement atteintes entraînant dans 50 % des cas une hospitalisation. D'autre part 25 % des patients quittent l'hôpital sans traitement et 25 % avec un traitement externe.

Pour les patients hospitalisés, 60 % d'entre eux demeurent à l'hôpital entre 1 et 2 jours.

Durée hospitalisation									
1 J	0	3	3	3	1	4	3	0	17
2 J	0	5	2	1	0	1	0	2	11
3 J	0	0	0	0	0	0	2	0	2
4 J	0	0	2	0	1	0	0	0	3
5 J	0	1	0	0	0	0	0	0	1
6 - 10 J	0	0	1	0	0	3	0	0	4
11 - 15 J	0	1	0	0	1	0	0	0	2
16 - 20 J	0	0	0	0	0	1	0	0	1
21 - 25 J	0	0	0	0	0	0	1	0	1
26 - 30 J	0	0	0	0	0	1	0	0	1
> 30 J	0	0	0	0	1	3	0	0	4
Total	0	10	8	4	4	13	6	2	47

Traitement	< 1 an	1 - 4 ans	5 - 9 ans	10 - 14 ans	15 - 24 ans	25 - 44 ans	45 - 64 ans	65 et +	total
bénins	1	4	5	2	6	4	2	0	24
traités	0	3	2	1	3	9	4	2	24
hospitalisés	0	10	8	4	4	13	6	2	47
décédés	0	0	0	0	0	0	1	1	2
									97

1.2.6 – Le CHU de Limoges

Ce recensement porte sur la période 1994 – mai 1999, et a été réalisé à partir des entrées à l'accueil des urgences du CHU de Limoges et des dossiers du SAMU 87 (concernant les électrisations). Une comparaison avec l'enquête EHLASS sera effectuée tout en relativisant les résultats du fait d'un effectif moindre.

1.2.6.1 – La population étudiée

Cette étude porte sur 20 cas dont la répartition est la suivante :

LIMOGES	1 - 14 ans	15 - 24 ans	25 - 44 ans	45 - 65 et +	total	%
homme	3	1	4	3	11	55
femme	2	2	3	2	9	45
total	5	3	7	5	20	100

Malgré un faible effectif, les hommes sont toujours plus exposés que les femmes.

1.2.6.2 – Lieu de l'accident

Confirmation que la majorité des électrisations a lieu à l'intérieur des maisons ou à proximité. Elles sont liées dans la majorité des cas à des imprudences.

LIMOGES	1 - 14 ans	15 - 24 ans	25 - 44 ans	45 - 65 et +	total	%	% EHLASS
intérieur maison	4	3	5	3	15	75	69,1
extérieur maison	1	0	1	1	3	15	14,4
zone transport	0	0	0	0	0	0	1
zone indust & agric	0	0	0	1	1	5	1
zone de loisir	0	0	0	0	0	0	3,1
autres lieux	0	0	0	0	0	0	1
inconnu	0	0	1	0	1	5	10,3
total	5	3	7	5	20	100	100

1.2.6.3 – Circonstance de l'accident

Dans l'étude menée sur les patients du CHU de Limoges, 55 % des accidents étaient liés à une activité de bricolage ou de jardinage, le reste se répartissant entre les jeux, les loisirs et d'autres activités.

Si l'on compare ces chiffres avec l'enquête EHLASS, la répartition des différentes circonstances est nettement plus disparate.

Parmi les différents cas, une électrisation était volontaire (tentative de suicide) via une ligne haute tension (20000 volts) alors que les autres étaient accidentelles avec un courant domestique (220 volts).

Dans cette étude, on signale 2 électrisations lors d'une communication téléphonique pendant un orage (ayant occasionné des acouphènes).

LIMOGES	1 - 14 ans	15 - 24 ans	25 - 44 ans	45 - 65 et +	total	%	% EHLASS
activité ménagère	0	0	0	0	0	0	7,2
bricolage , jardinage	2	0	4	5	11	55	27,8
courses	0	0	0	0	0	0	1
activité scolaire	0	0	0	0	0	0	0
activité sportive	0	0	0	0	0	0	4,1
jeux , loisirs	2	1	0	0	3	15	34
besoins personnels	0	1	0	0	1	5	10,3
autres activités	1	1	3	0	5	25	9,3
inconnu	0	0	0	0	0	0	6,2
total	5	3	7	5	20	100	100

1.2.6.4 – Type de lésion et partie lésée

Sans surprise, les brûlures représentent 60 % et sont de très loin les plus fréquentes.

Il s'agit de brûlures de 1^{ier} et 2^{ième} degré sauf pour les cas concernant la tentative d'autolyse (ligne haute tension) et les électrocutions où les lésions étaient du 3^{ième} degré.

Le bricolage, le jardinage et les loisirs étant les principaux responsables d'accidents électriques, les membres supérieurs et en particulier les mains sont les plus souvent atteints (65 % et 50, 5 % pour EHLASS).

Une précision : pour la réalisation de ce tableau, il a été retenu la principale lésion parmi les nombreuses qui caractérisaient chaque victime.

LIMOGES							
Type de lésion	1 - 14 ans	15 - 24 ans	25 - 44 ans	45 - 65 et +	total	%	% EHLASS
plaie ouverte	0	0	0	1	1	5	4,1
fracture	0	0	0	0	0	0	1
luxation	0	0	0	0	0	0	1
lésion nerveuse	1	0	0	0	1	5	0
lésion vasculaire	0	0	0	0	0	0	0
lésion musculaire	0	0	0	0	0	0	1
brûlure	3	2	5	2	12	60	64,9
aucune diagnostiquée	1	0	2	1	4	20	6,2
autres lésions	0	1	0	0	1	5	12,4
contusion	0	0	0	1	1	5	9,3
total	5	3	7	5	20	100	100
Partie lésée							
tête	0	0	0	2	2	10	12,4
membre supérieur	4	2	5	2	13	65	50,5
membre inférieur	0	0	0	0	0	0	2,1
autres	0	1	1	1	3	15	29,9
inconnu	1	0	1	0	2	10	5,2
total	5	3	7	5	20	100	100

1.2.6.5 – Traitement et durée d'hospitalisation

Dans cette enquête sur le CHU, la majorité des électrisés a été hospitalisé par mesure de précaution et pour surveillance, seulement 6 ont bénéficié d'un traitement et 4 sont sortis avec une ordonnance.

La durée d'hospitalisation est dans 55,6 % des cas de 2 jours ; les 2 uniques hospitalisations d'une journée correspondent, l'une à une jeune femme profondément brûlée qui a été transférée sur le centre des Grands Brûlés de Bordeaux et l'autre à une électrisation lors d'une communication téléphonique (la deuxième patiente victime de ce type d'accident ayant été gardée sous surveillance pendant 48 heures pour un examen ORL).

Traitement	1 - 14 ans	15 - 24 ans	25 - 44 ans	45 - 65 et +	total	%
hospit, pour surveillance	2	1	3	2	8	40
hospit, avec traitement	2	1	3	0	6	30
trait, externe	1	1	1	1	4	20
décédé	0	0	0	2	2	10
					20	100

Durée d'hospitalisation							% EHLASS
1 J	0	0	2	0	2	11,1	36,2
2 J	2	2	4	2	10	55,6	23,4
3 J	2	0	0	0	2	11,1	4,3
4 J	0	0	0	0	0	0	6,4
traitement externe	1	1	1	1	4	22,2	
					18	100	

1.2.6.6 – Les examens complémentaires

Parmi 11 cas sélectionnés sur 20 (2 patients décédés, une patiente transférée, 4 traitements externes et 3 bilans incomplets), on retrouve :

- les transaminases, LDH, phosphatases alcalines, ECG, urée, créatinine, et ionogramme, quand ils ont été prescrits, sont normaux.
- 4 cas présentent des CPK élevés dont 3 avec les CPK-MB augmentés (qui diminueront par la suite).
- la myoglobinurie a été recherchée chez un patient et s'est avérée négative.
- un bilan radiologique suite à une chute consécutive à l'électrisation a été réalisé et s'est avéré normal.
- un électroencéphalogramme a été prescrit pour un patient et n'a mis en évidence aucune anomalie.

1.2.6.7 – Orientation des patients hospitalisés

Devant la bénignité des lésions, la nécessité d'une surveillance et quelques soins, bon nombre de patients a été transféré au secteur hospitalisation des urgences pour les adultes, et, les enfants et adolescents dans les services de pédiatrie.

2 – Les accidents du travail

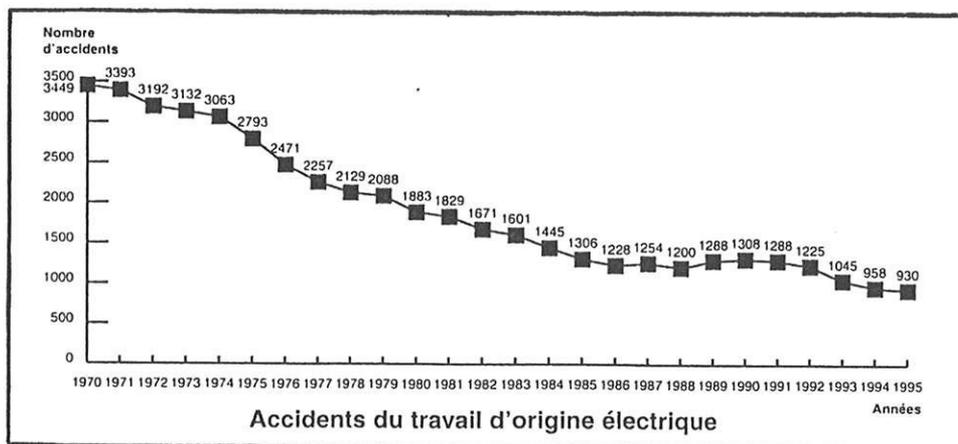
Pour cette enquête, nous avons rassemblé les informations en provenance des urgences du CHU de Limoges, du SAMU 87, de la CRAM-CO (Caisse Régionale de l'Assurance Maladie du Centre Ouest) et de l'INRS (Institut National des Statistiques et des Etudes Economiques).

2.1 – Au niveau national

2.1.1 – L'évolution

Les accidents du travail (AT) d'origine électrique diminuent régulièrement depuis la mise en place du décret du 14 novembre 1962 (aujourd'hui abrogé et remplacé par des décrets et des arrêtés) relatif à la protection des travailleurs contre les dangers du courant électrique (72 % de baisse entre 1962 et 1993).

On note cependant un palier entre les années 1986 et 1992, suite à une augmentation du nombre des salariés de 9 %.



2.1.2 – Les variations

Comme précédemment, on constate qu'avec l'augmentation du nombre de salariés au début des années 1990 concorde l'augmentation du nombre total d'AT mais aussi des accidents d'origine électrique ainsi que les électrocutions (alors que le pourcentage d'électrification diminue s'expliquant par l'amélioration des conditions de travail).

Cette tendance s'inverse à partir de 1992 pour diminuer progressivement malgré le maintien d'un taux de salarié supérieur à 14 millions (cf tableau n°1).

Les accidents graves (AT-IP) subissent les mêmes variations tout comme les journées perdues (jours IT).

2.1.3 – La répartition

Il s'agit de la répartition des électrifications suivant les grandes branches industrielles entre 1986 et 1995.

D'après le tableau n° 2, environ 50 % des accidents électriques surviennent au sein de la branche métallurgie et du bâtiment et travaux publics.

Tableau n°1 : Variation du nombre d'électrisation par rapport à l'activité nationale entre 1986 et 1996.

Année	total AT	AT / électrisation	%	AT - IP	électrocution	jours IT	salariés 1000
1986	690602	1228	0,18	149	29	43108	13251
1987	662800	1254	0,19	143	25	48366	13305
1988	690182	1200	0,17	196	43	54592	13751
1989	737477	1288	0,17	172	37	58530	14014
1990	760992	1308	0,17	177	35	56175	14413
1991	787111	1288	0,16	174	38	57885	14560
1992	750058	1225	0,16	167	27	50442	14440
1993	675932	1045	0,15	128	25	44222	14140
1994	667933	958	0,14	118	13	44253	14278
1995	672234	930	0,14	122	12	46499	14499
1996		916		91	19	45108	

tableau n°2 : Variation du nombre des accidents du travail d'origine électrique entre 1986 et 1995 suivant les grandes branches industrielles.

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
métallurgie	338	327	275	311	335	321	268	224	217	215
bâtiment/travaux publics	384	400	430	429	439	428	417	372	320	300
bois	35	38	31	42	42	37	38	30	31	12
chimie	21	18	15	16	15	15	12	14	18	10
pierre et terre à feu	33	40	36	35	40	37	29	34	23	20
caoutchouc - papier - carton	17	28	18	19	21	11	16	12	18	30
textile	11	15	7	13	12	12	4	4	4	3
cuirs et peaux	6	5	2	3	3	14	9	3	3	3
alimentation	83	75	83	75	80	10	14	10	7	5
transport et manutention	30	29	26	27	26	2	2	0	0	7
livre	8	4	9	6	7	65	85	70	60	78
vêtement	9	11	15	17	8	33	36	24	14	21
eau - gaz - électricité	26	24	16	24	18	19	13	16	17	21
commerces	64	55	54	52	59	51	68	46	39	48
interprofessionnel	163	185	183	219	203	233	214	186	187	157
total des AT	1228	1254	1200	1288	1308	1288	1225	1045	958	930

2.2 – Au niveau régional

Il s'agit des accidents du travail concernant la région Limousin-Poitou-Charentes comportant les départements de la Haute Vienne, Creuse, Corrèze, Vienne, Charente, Charente Maritime et Deux Sèvres.

Si l'on compare le nombre d'AT par électrisation rapporté au nombre total d'AT, les pourcentages suivent la même évolution (sauf pour 1994) tant au niveau régional que national en diminuant progressivement alors que le nombre de salariés augmentait.

(cf tableau n° 3)

2.3 – Au CHU de Limoges (entre 1994 et mai 1999)

Il a été répertorié, aux urgences, 16 accidents du travail dont 9 en basse tension et 6 en haute tension (1 cas dont la tension est inconnue) avec toujours un type de courant alternatif.

Les électrisés sont tous des hommes.

Parmi les victimes, 31 % sont âgés d'au moins 25 ans, 3 sont des intérimaires ou apprentis et les 13 autres des professionnels (dont 1 électricien).

La majorité des lésions sont des brûlures (50 %), on dénombre 2 arrêts cardio-respiratoires (ACR) et un cas avec aucune lésion diagnostiquée.

Dans 81 % des cas, la durée d'hospitalisation est de 2 jours correspondant à une surveillance clinique, biologique avec des examens complémentaires en fonction de la symptomatologie (EEG, holter ...).

Tableau n° 3 : Variation du nombre d'électrisation par rapport à l'activité régionale entre 1985 et 1995.

Année	total AT	AT / électrisation	%	AT - IP	électrocution	jours IT	salariés
1985	19889	40	0,2	7	*	1225	433072
1986	18563	44	0,24	3	*	1558	435361
1987	17927	36	0,2	5	*	1361	420228
1988	18791	32	0,17	6	*	1859	441584
1989	20310	46	0,23	5	*	2068	448341
1990	20904	35	0,17	4	*	2027	458242
1991	21624	28	0,13	5	*	2204	482668
1992	20500	29	0,14	3	*	1003	482518
1993	19216	28	0,15	3	1	629	474343
1994	19761	33	0,17	4	2	1373	465066
1995	20930	31	0,15	2	1	1713	476210

AT : accident du travail

AT - IP : accident du travail avec incapacité permanente

Jours IT : incapacité temporaire

* Informations non présentes sur les statistiques jusqu'en 1992

Tableau n° 4 : Accidents de travail par électrisation recensés au CHU de Limoges entre 1994 et mai 1999

	âge	mécanisme	année	tension (volts)	lésions	durée H	ex (sauf biologie et ECG)
cas n° 1	43	résistance	1994	220	trauma occipital	2 j	radio : N
n° 2	25	échelle sur une ligne	1994	220	myalgie 2 MS	2 j	EEG : N
n° 3	46	échelle sur une ligne	1994	20000	brûlure 2° (MS et épaule)	2 j	
n° 4	24	machine à coudre	1998	220	parésie MS	2 j	
n° 5	25	fil dénudé	1998	220	brûlure s² (main)	2 j	
n° 6	43	section d'un fil	1998	220	néant	2 j	
n° 7	37	fil sectionné	1998	400	brûlure s² (MS)	2 j	EEG : N
n° 8	34	remplacement fusible	1997	220	parésie 2 MS	2 j	EEG : N
n° 9	31	câble dénudé	1997	380	brûlure (2 MS) + acouphène	2 j	ORL : traumatisme sonore
n° 10	61	section d'un câble	1996	12000	brûlure s² (main et fesse)	2 j	
n° 11	47	scie de sol	1996	380	parésie 2 MS	2 j	
n° 12	17	fil dénudé	1995	?	brûlure 2° (main et pied)	2 j	holter : N
n° 13	50	grue	1995	20000	brûlure 2° et 3° (dos et MI)	4 j	
n° 14	33	benne	1999	20000	brûlure 2° et 3° (main et pied)	2 j	
n° 15	40	?	1998	20000	ACR	> 30 j	multiples
n° 16	22	camion avec tapis roulant	1995	20000	ACR	13 j	multiples

ACR : arrêt cardio-respiratoire

MS : membre supérieur

MI : membre inférieur

N : normal

H : hospitalisation

s² : superficiel

Sur les 2 ACR, le patient âgé de 40 ans présente de graves séquelles neurologiques malgré une réanimation de 30 minutes et le patient âgé de 22 ans a retrouvé son état initial (réanimation de 30 minutes).

Sur le plan biologique, seuls 3 patients ont présenté une augmentation des CPK et des CPK-MB qui se sont normalisées par la suite, le reste du bilan étant normal.

2.4 – Analyse des causes d'accidents (20), (21)

Les causes d'électrisation sont multiples et se répartissent selon :

- l'emplacement : ateliers et chantiers.
- le matériel défectueux ou inadapté : canalisations, machines, armoires, coffrets, prise de courant,....
- l'installation défectueuse.
- la nature du travail : installation, rénovation, dépannage, nettoyage, travaux d'ordre non électrique,....
- la qualification du personnel (la majorité des victimes est de qualification insuffisante pour les travaux qui leur a été fixé).
- la nature du contact : - direct : 45 %
 - indirect : 20 %
 - court-circuit : 30 %
 - non précisé : 5 %
- les travaux sous tension : dans 45 % des cas les accidents surviennent alors qu'il n'est pas nécessaire de laisser les installations correspondantes sous tension.

- . la mauvaise organisation du travail (due la plupart du temps à la rapidité d'exécution exigée).

- . l'ignorance du risque (principalement pour les non électriciens).

- . la fausse manœuvre (due souvent à la connaissance insuffisante des installations et à l'inattention) comme la chute, le contact avec un outil ou la main d'un conducteur sous tension. (37)

- . le mouvement inopiné (dû en général à un mouvement réflexe)

2.5 – Discussion

Concernant les causes d'accidents au cours des dernières années, bien que le nombre de ceux-ci ne soit pas constant et qu'ils n'aient pas tous été répertoriés, on s'aperçoit que la qualification inadéquate du personnel et la mauvaise organisation restent les principales sources d'accidents électriques, alors que la défectuosité des installations est plutôt en régression.

Des efforts devront se porter tout particulièrement sur :

- la formation du personnel : sensibilisation aux risques électriques avec des connaissances minimales sur les gestes de réanimation et le réflexe d'actionner le dispositif de sécurité de coupure en cas d'accident. (12)
- les dispositions à prendre pour assurer la protection des travailleurs.
- L'utilisation et l'entretien des installations
- L'organisation du travail : méthodes, procédures à respecter, l'utilisation du matériel,....

CONCLUSION

XI – Conclusion

Les accidents électriques provoquent chaque année, en France, près de deux cents morts et, plusieurs milliers de personnes présentent des blessures invalidantes, toutefois, ces résultats sont relatifs compte tenu de la multitude des utilisateurs et du nombre des imprudences commises .

Une électrisation, même par un courant à basse tension, expose la victime à des risques immédiats de fibrillation ventriculaire et/ou d'arrêt respiratoire. Dans cette éventualité, la survie de l'électrisé dépend de la mise en route précoce d'une réanimation cardiaque et/ou respiratoire. Dans d'autres circonstances, l'aspect initial de la victime est souvent plus rassurant, cependant il faut redouter l'apparition secondaire de trouble de la conscience, respiratoire et cardiaque.

En haute tension, aux mêmes risques s'associent des brûlures profondes à l'origine d'état de choc, de rhabdomyolyse et d'insuffisance rénale.

Dans tous les cas, le traitement médical peut être seulement local et basé sur une surveillance clinique ; le recours à la chirurgie ne s'impose que pour des cas extrêmes avec alors de lourdes séquelles esthétiques, fonctionnelles et trophiques.

Les enquêtes réalisées ont prouvé que la plupart des accidents pouvaient être évités et qu'ils résultaient de l'imprudence (fausses manœuvres, travaux réalisés inutilement sous tension) et de l'incompétence (formation insuffisante ou inadéquate, bricoleurs).

La prévention prend une dimension indiscutable et primordiale, et repose sur le respect et l'amélioration des normes de fabrication, d'installation et sur l'utilisation de système de sécurité en cas d'accident électrique. Ainsi, elle est basée sur l'application des textes réglementaires, parfois aléatoire, mais surtout sur l'éducation des adultes et en particulier des enfants pour le risque électrique et pour l'apprentissage des gestes de survie.

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques

- (1) Agnew WF, McCreery DB, Yuen TG, Bullara LA
Local anaesthetic block protects against electrically-induced damage in peripheral nerve
Journal of Biomedical Engineering : Jul 1990 ; 12(4), 301-309
- (2) Arrowsmith J, Usgaocar RP, Dickson WA
Electrical injury and the frequency of cardiac complications
BURNS : Nov-Dec 1997 ; 23(7-8), 576-584
- (3) Augustin AJ, Koch F, Boker T
Macular damage following lightning strikes
Ger J Ophthalmol : Jul 1995 ; 4(4), 214-220
- (4) Carsin H , Le Bever H
Brûlures
Urg. Médico-chirurgicale de l'adulte , éd. Carli/Briou : 1990, 620-637
- (5) Choquet R, Gilet JC
Vade-mecum de la sécurité électrique
RGS édition : 1991, 352p
- (6) Covalope C, Duch M
Accident électrique au bloc opératoire
Encycl. Med.Chir. – anesthésie-réanimation, 36-401-A-10 : 1995, 8p
- (7) Dictionnaire Permanent Sécurité et Condition de Travail
Les installations électriques
Feuillets 52, p1663-1834B

- (8) Dollinger SJ
Lightning-strike disaster among children
Br J Med Psychol : Dec 1995 ; 58(pt4), 375-383
- (9) Enquête EHLASS France
Les accidents électriques de 1994 à 1997
- (10) Electrification et grossesse
Revue de la littérature jusqu'en 1996, 11p
Référence Internet : site HUG (Hôpital Universitaire de Genève)
Bulletin n° 21
- (11) Encyclopédie Microsoft ENCARTA 1997
Chap. Electricité ; Electricité, production et distribution ; Eolienne ; Energie solaire
- (12) Fatovich DM
Electrocution in Western Australia, 1976-1990
Med J Aust : Dec 1992 ;157(11-12), 762-766
- (13) Fernandez P
Stratégie de prise en charge pré-hospitalière des accidents d'origine électrique
Th.Univ.Med. Paris VI :1997 ; n°1125, 131p
- (14) Folliot D
Les accidents d'origine électrique
Masson édition : 1982
- (15) Folliot D
Les accidents dus à l'électricité
Ed. Techniques – Encly.Med .Chir (Paris-France)
Toxicologie – Pathologie professionnelle 16515 A10 : 1991

- (16) Garcia LA, Pagan-Carlo LA, Stone MS, Kerber RE
High perimeter impedance defibrillation electrodes reduce skin burns in transthoracic cardioversion
American Journal of Cardiology : Nov 1998 ; 82(9), 1125-1132
- (17) Gastinne H, Mathé D, Gay R
Electrisation : données actuelles et conduite à tenir
Revue du Praticien : 1983 ; 33, 229-235
- (18) Girard A
Electrisation
Mémoire de Capacité d'Aide Médicale Urgente, Poitiers : Oct 1997, 32p
- (19) Gourbière E
La foudre
Le Généraliste : Fév 1996 ; n°1665, 4p
- (20) INRS
Les accidents d'origine électrique
2° édition : Oct 1998 ; ED325, 37p
- (21) INRS
Conseils de sécurité pour interventions et travaux sur les équipements et installations électriques du domaine basse tension
2° édition : Mars 1998 ; ED539, 77p
- (22) INRS
L'électricité
7° édition : Mars 1996 ; ED596, 94p

- (23) INRS
Protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électrique
3° édition : Juil 1998 ; ED723, 159p
- (24) INRS
Termes principaux de l'électrotechnique traditionnelle relatifs à la sécurité
5° édition : Août 1998 ; ED537, 95p
- (25) Institut Universitaire de Médecine du travail de Rennes
Les électrisations
Dec 1997 ; 4p
- (26) Lee RC
Injury by electrical forces : pathophysiology, manifestations and therapy
Curr Probl Surg : Sept 1997 ; 34(9), 677-764
- (27) Mathé D, Gay R, Vignon P
Que faire devant une électrisation ? Plusieurs milliers de blessures chaque année
La Revue du Praticien : 1993 ; 237, 33-36
- (28) Mercier C, Zunino FM, Cerclier A
Accidents électriques
Isis-Urgence Pratique : 1995 ; 12, 31-35
- (29) Mtsumura H, Kobayashi Y , Mann R
Residual myocardial damage following electrical injuries
J Burn Care Rehabil : Jul 1997 ; 18(4) , 299-305
- (30) Mora-Magana I, Collado-Corona MA
Acoustic trauma caused by lightning
Int J Pediatr Otorhinolaryngol : Mars 1996 ; 35(1) , 59-69

- (31) Nduka CC, Super PA, Monson JR, Darzi AW
Cause and prevention of electrosurgical injuries in laparoscopy
Journal of the American college of Surgeons : Aug 1994 ;179(2), 161-231
- (32) Paillet M
Histoires de pêche : accidents électriques liés à l'utilisation de cannes en fibre de carbone
Th.Univ.Med.Limoges : 1993 ; 129, 87p
- (33) Paradis J, Barriot P
Electrisation et électrocution
Encycl. Med.Chir (Paris-France), Urgences, 24116 E40 : 1991 ; 6p
- (34) Picallo P
Comment prendre en charge le foudroiement
Impact Médecin Hebdo : juin 1995 ; 287, 1p
- (35) Pliskin NH, Capelli-Schellpfeffer M, Law RT, Malina AC
Neuropsychological symptom presentation after electrical injury
J Trauma : Apr 1998 ; 44(4), 709-715
- (36) Protocoles d'intervention clinique
Problèmes environnementaux
ENV.4 – Electrisation / Electrocution, 1p
- (37) Rabban J, Adler J, Rosen C, Blair J, Sheridan R
Electrical injury from subway third rails : serious injury associated with intermediate voltage contact
Burns : sept 1997 ; 23(6), 515-523
- (38) Sances A, Larson SJ, Myklebust JB
Experimental electrical injury studies
J Trauma : 1981 ; 21(8), 589-597

- (39) Still J, Orlet H, Law E, Wheeler M
Electrocution due to contact of industrial equipment with power lines
Burns : Nov-Dec 1997 ; 23(7-8), 573-578
- (40) Encyclopédie UNIVERSALIS 1998
Chap. Electricité , réseaux électriques , électrocution , histoire de l'électricité
- (41) Volinsky J, Hanson J, Lustig J, Tunnessen W
Brûlures par la foudre
JAMA : Nov 1994 ; 19(304), 2p
- (42) Zubair M, Besner GE
Pediatric electrical burns : management strategies
Burns : Aug 1997 ; 23(5), 413-433

TABLE DES MATIERES

PLAN

VOLUME I

I.	Introduction	p.14
II.	L'électricité , son origine	p.16
	1 – Structure de la matière.....	p.17
	2 – Qu'est ce que l'électricité ?.....	p.19
	2.1 – L'électricité statique.....	p.19
	2.2 – L'électricité dynamique.....	p.20
	3 – Les générateurs électriques.....	p.20
	4 – Le circuit électrique.....	p.21
	4.1 – La résistance électrique.....	p.21
	4.2 – L'intensité du courant.....	p.22
	4.3 – La tension électrique.....	p.23
	4.4 – L'impédance.....	p.23
	5 – L'électrisation – L'arc électrique.....	p.23
III.	Histoire de l'électricité : de l'antiquité à nos jours	p.25
	1 – Les origines.....	p.26
	1.1 – L'antiquité.....	p.26
	1.2 – Une première application.....	p.27
	1.3 – Les premières machines.....	p.27
	1.4 – Les deux électricités.....	p.28
	2 – Les premières théories.....	p.29
	2.1 – Fluide unique ou deux fluides.....	p.29
	2.2 – Les courants électriques.....	p.30
	2.3 – La découverte de la pile.....	p.31

3 – L'électromagnétisme.....	p.33
3.1 – D'Oersted à Maxwell.....	p.33
3.2 – Les rayonnements.....	p.35
4 – Les étapes de la prévision.....	p.35
4.1 – La théorie de Lorentz.....	p.35
4.2 – Les travaux de Pierre Curie.....	p.36
4.3 – La production et le transport de l'électricité.....	p.36

IV . Les réseaux électriquesp.37

1 – Les centrales électriques.....	p.39
1.1 – Les centrales hydrauliques.....	p.39
1.2 – Les centrales marémotrices.....	p.41
1.3 – Les centrales thermiques.....	p.42
1.4 – Les centrales nucléaires.....	p.43
1.5 – Les centrales éoliennes.....	p.44
1.6 – Les centrales utilisant l'énergie solaire.....	p.45
2 – Architecture des réseaux d'énergie.....	p.46
2.1 – Les choix initiaux.....	p.46
2.2 – Structure des réseaux.....	p.47
2.3 – Classement des installations en fonction des tensions.....	p.48
2.4 – Transport et distribution du courant alternatif.....	p.49
2.4.1 – Transport.....	p.49
2.4.2 – Distribution aux utilisateurs.....	p.50
2.5 – Les principaux matériels.....	p.50

V. Réglementation sur les installations électriques et la protection des travailleursp.52

1 – Etablissements visés.....	p.53
1.1 – Etablissements soumis au code du travail.....	p.53
1.2 – Etablissements publics de l'état et des collectivités territoriales.....	p.54

2 – Protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en oeuvre des courants électriques.....	p.54
2.1 – Décret n°88-1056 du 14 novembre 1988 modifié et circulaire d'application modifiée.....	p.54
2.2 – Arrêté d'application du décret n°88-1056 du 14 novembre 1988 modifié.....	p.58
2.3 – Obligations des chefs d'établissement.....	p.60
2.4 – Obligations des maîtres d'ouvrage.....	p.61
2.5 – Premiers soins à donner aux victimes d'accidents électriques.....	p.61
2.6 – Circuits et installations de sécurité.....	p.62
2.7 – Protection contre la foudre.....	p.62
3 – Conception et utilisation des matériels électriques.....	p.63
3.1 – Matériels alimentés en basse tension.....	p.63
3.2 – Construction et utilisation du matériel électrique utilisable en atmosphère explosive.....	p.63
3.3 – Compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électronique.....	p.64
3.4 – Utilisation des lampes portatives dites « baladeuses » et des cordons prolongateurs enroulés sur tambour.....	p.65
3.5 – Comportement au feu des canalisations.....	p.65
3.6 – Ioniseurs d'air.....	p.65
4 – Travaux effectués au voisinage d'installations électriques.....	p.66
4.1 – Travaux au voisinage de lignes, canalisations et installations électriques.....	p.66
4.2 – Travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution.....	p.66
5 – Dispositions applicables aux ouvrages de production et de distribution publique d'énergie électrique.....	p.67
6 – Utilisation des PCB (polychlorobiphényle).....	p.67
7 – Prévention des risques électriques dans les établissements d'enseignement technique et professionnel	p.68
8 – Textes divers.....	p.68
9 – Règlement de sécurité concernant les établissements recevant du public et les immeubles de grande hauteur.....	p.69

10 – Règlement concernant la fabrication et l'utilisation des matériels électriques.....	p.69
10.1 – Perturbations radioélectriques.....	p.69
10.2 – Matériels destinés à être employés dans certaines limites de tension.....	p.71

VI . Epidémiologiep.72

1 – Généralités.....	p.73
2 – Les origines des accidents électriques.....	p.74
2.1 – L'électricité d'origine naturelle.....	p.74
2.1.1 – Les poissons électrogènes.....	p.74
2.1.2 – La foudre.....	p.75
2.2 – L'électricité d'origine industrielle.....	p.78
2.2.1 – Les accidents du travail.....	p.78
2.2.2 – Les accidents domestiques.....	p.79
2.2.3 – Les accidents de loisirs.....	p.80
2.2.4 – Les accidents iatrogéniques.....	p.81
. Les électrisations par macrochocs.....	p.81
. Les électrisations par microchocs.....	p.83
3 – Les circonstances des accidents électriques.....	p.84
3.1 – Les accidents par électrisation.....	p.84
3.2 – Les accidents dus à un arc électrique.....	p.86
3.3 – Les accidents dus à un arc électrique associé à une électrisation.....	p.86
3.4 – Les accidents suite à un incendie ou une explosion d'origine électrique.....	p.88
3.5 – Les accidents dus à l'électricité statique.....	p.89

VII . Physiopathologiep.92

1 – Généralités.....	p.93
2 – Les effets du courant électrique sur le corps humain.....	p.94
2.1 – Les effets électro-thermiques et exito-moteurs.....	p.94
2.1.1 – Les secteurs de distribution.....	p.94
2.1.2 – Le rôle de l'intensité.....	p.95

2.1.3 – Le rôle de la tension.....	p.100
2.1.4 – Le rôle de l'impédance.....	p.101
2.1.4.1 – L'impédance de la peau.....	p.102
2.1.4.2 – L'impédance interne.....	p.104
2.1.4.3 – L'impédance totale du corps humain.....	p.104
2.1.5 – Le rôle de la fréquence.....	p.104
2.1.6 – Le temps de passage du courant.....	p.105
2.1.7 – Le trajet du courant.....	p.105
2.1.8 – Les conditions de contact.....	p.106
2.1.9 – Le type de courant.....	p.107
2.1.10 – Le dégagement de chaleur.....	p.107
2.2 – Les lésions par arc électrique.....	p.110

VIII. La clinique des accidents électriquesp.112

1 – Les accidents en basse tension.....	p.113
1.1 – La simple secousse électrique.....	p.113
1.2 – L'accident préoccupant.....	p.113
1.3 – L'accident grave d'emblée.....	p.114
1.4 – L'accident où les lésions chirurgicales dominant.....	p.115
2 – Les accidents en haute tension.....	p.115
3 – Les complications.....	p.117
3.1 – Cardio-vasculaires.....	p.117
3.1.1 – Les manifestations fonctionnelles.....	p.117
3.1.2 – Les troubles du rythme.....	p.117
3.1.3 – Les lésions coronariennes.....	p.118
3.1.4 – Les autres manifestations cardiaques.....	p.118
3.1.5 – Les manifestations vasculaires.....	p.118
3.2 – Neurologiques.....	p.119
3.2.1 – Les troubles cérébraux.....	p.119
3.2.2 – Les troubles psycho-névrotiques.....	p.119
3.2.3 – Les atteintes médullaires.....	p.120
3.2.4 – Les atteintes nerveuses périphériques.....	p.121
3.2.5 – Les atteintes sensorielles.....	p.121

3.3 – Rénales.....	p.122
3.4 – Autres complications.....	p.122
3.4.1 – Les atteintes digestives.....	p.122
3.4.2 – Les atteintes pulmonaires.....	p.123
3.4.3 – Les anomalies biologiques.....	p.123
4 – Les séquelles.....	p.124
4.1 – Séquelles trophiques, fonctionnelles et esthétiques des brûlures.....	p.124
4.2 – Neurologiques.....	p.125
4.3 – Cardio-vasculaires.....	p.126
4.4 – Rénales.....	p.126
5 – Electrification au cours d'une grossesse.....	p.126
5.1 – Les paramètres principaux.....	p.127
5.1.1 – Les paramètres physiques.....	p.127
5.1.2 – Les circonstances de l'accident.....	p.127
5.1.3 – Les paramètres liés à la victime.....	p.128
5.2 – Les complications pour la grossesse.....	p.128
5.2.1 – Complications maternelles.....	p.128
5.2.2 – Complications fœtales.....	p.128

IX . Stratégie de prise en charge pré-hospitalière et

hospitalièrep.135

1 – Sur les lieux de l'accident.....	p.136
1.1 – Le dégagement de la victime.....	p.136
1.2 – L'alerte.....	p.137
1.3 – Prise en charge dans le cas d'un accident en basse tension.....	p.137
1.3.1 – L'accident bénin.....	p.137
1.3.2 – L'accident préoccupant.....	p.139
1.3.3 – L'accident grave.....	p.139
1.3.4 – L'état de mort apparente.....	p.140
1.4 – Prise en charge dans le cas d'un accident en haute tension.....	p.141
1.5 – Les traumatismes associés.....	p.144
1.6 – Prise en charge en cas d'électrification d'une femme enceinte.....	p.146

2 – La prise en charge hospitalière.....	p.147
2.1 – Les examens paracliniques.....	p.147
2.1.1 – Evaluation de l’atteinte myocardique et vasculaire.....	p.147
2.1.2 – Evaluation de l’atteinte musculaire et rénale.....	p.148
2.1.3 – Evaluation de l’atteinte neurologique.....	p.148
2.1.4 – Recherche de traumatismes associés.....	p.148
2.1.5 – Recherche d’une atteinte sensorielle.....	p.148
2.1.6 – Bilan chez la femme enceinte.....	p.149
2.2 – Traitement.....	p.150
2.2.1 – Médical.....	p.150
2.2.2 – Chirurgical.....	p.151

X . Les électrisations et les statistiquesp.154

1 – Les accidents domestiques et de loisirs.....	p.155
1.1 – Matériel et méthode.....	p.155
1.1.1 – La population étudiée.....	p.155
1.1.2 – Le recueil des données.....	p.156
1.1.3 – Les objectifs.....	p.157
1.2 – Les résultats.....	p.158
1.2.1 – La population étudiée.....	p.158
1.2.2 – Lieu de l’accident.....	p.159
1.2.3 – Circonstance de l’accident.....	p.159
1.2.4 – Type de lésion et partie lésée.....	p.160
1.2.5 – Traitement et durée d’hospitalisation.....	p.161
1.2.6 – Le CHU de Limoges.....	p.161
1.2.6.1 – La population étudiée.....	p.162
1.2.6.2 – Lieu de l’accident.....	p.162
1.2.6.3 – Circonstance de l’accident.....	p.162
1.2.6.4 – Type de lésion et partie lésée.....	p.163
1.2.6.5 – Traitement et durée d’hospitalisation.....	p.164
1.2.6.6 – Examens complémentaires.....	p.165
1.2.6.7 – Orientation des patients hospitalisés.....	p.166

2 – Les accidents du travail.....	p.166
2.1 – Au niveau national.....	p.166
2.1.1 – L'évolution.....	p.166
2.1.2 – Les variations.....	p.167
2.1.3 – La répartition.....	p.167
2.2 – Au niveau régional (limousin – poitou – charentes).....	p.170
2.3 – Au CHU de Limoges (entre 1994 et mai 1999).....	p.170
2.4 – Analyse des causes d'accidents.....	p.173
2.5 – Discussion.....	p.174

XI . Conclusion.....	p.175
-----------------------------	--------------

Table des matières.....	p.178
--------------------------------	--------------

Serment d'Hippocrate.....	p.187
----------------------------------	--------------

VOLUME II

Annexes : les textes réglementaires

SERMENT D'HIPPOCRATE

SERMENT D'HYPPOCRATE

En présence des maîtres de cette école, de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je dispenserai mes soins sans distinction de race, de religion, d'idéologie ou de situation sociale.

Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser les crimes.

Je serai reconnaissant envers mes maîtres et solidaire moralement de mes confrères. Conscient de mes responsabilités envers les patients, je continuerai à perfectionner mon savoir.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir de l'estime des hommes et de mes condisciples, si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.

BON A IMPRIMER N° 181

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE

Vu, le Doyen de la Faculté

VU et PERMIS D'IMPRIMER

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ

RESUME :

L'électricité est devenue, au fil des siècles, une source d'énergie indispensable au fonctionnement de notre société. C'est à partir d'observations sur l'électricité statique que l'électricité dynamique s'est développée pour constituer à grande échelle un réseau de production, de transport et de distribution.

Cependant, le risque électrique est bien réel ; en effet, pour les basses tensions, la clinique peut aller de la simple secousse électrique à la fibrillation ventriculaire avec arrêt respiratoire, auxquelles s'ajoutent, en haute tension, les brûlures profondes, la rhabdomyolyse et l'hypovolémie. Les séquelles sont parfois modérées ou dramatiques, de nature inesthétiques ou mutilantes.

La prévention, l'éducation et l'application des textes réglementaires constituent la base de la régression des accidents électriques.

MOTS CLES :

- Electricité.
 - Electrification.
 - Brûlures.
 - Réglementation.
-

JURY : Président : Monsieur le Professeur DUMONT.
Juges : Monsieur le Professeur PIVA.
Monsieur le professeur VIGNON.
Monsieur le Professeur VIROT.
Membre invité : Monsieur le Docteur CAILLOCE.
