BIBLIOTECA MEDICA R. ROMA
MISCELL.
A 65
22

·LTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LILLE

Année scolaire
1922-1923

THÈSE

N° 35

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le 21 Juillet 1923, à 6 heures

Par CHAMPION (Raoul-Étienne)

Né le 15 Septembre 1893, à Euzet-les-Bains (Gard).

Misc A 65 22

LA

Résistance électrique du Corps humain

et ses rapports avec les accidents d'électrocution

par les courants à basse tension

Travail effectué au Laboratoire de Médecine légale de Lille

Le Candidat répondra, en outre, aux questions qui lui seront adressées sur les différentes parties de l'enseignement médical

---

Président de la Thèse : M. DUBOIS

Suffragants : MM. MINET. LECLERCQ DUHOT

R. BIBLIOTECA MEDICA ROMA

IMPRIMERIE-LIBRAIRIE CAMILLE ROBBE, ÉDITEUR

O. MARQUANT, Successeur

LILLE — 98, Rue Léon-Gambetta, 98 — LILLE

1923

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LILLE

Année scolaire 1922-1923

THÈSE

N° 35

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le 21 Juillet 1923, à 6 heures

Par CHAMPION (Raoul-Étienne)

Né le 15 Septembre 1893, à Euzet-les-Bains (Gard)

LA

Résistance électrique du Corps humain

et ses rapports avec les accidents d'électrocution

par les courants à basse tension

Travail effectué au Laboratoire de Médecine légale de Lille

Le Candidat répondra, en outre, aux questions qui lui seront adressées sur les différentes parties de l'enseignement médical

Président de la Thèse : M. DUBOIS

Suffragants : MM. MINET, LECLERCQ, DUHOT

R. ROBBE ... ROMA

IMPRIMERIE-LIBRAIRIE CAMILLE ROBBE, ÉDITEUR

O. MARQUANT, Successeur

LILLE — 98, Rue Léon-Gambetta, 98 — LILLE

1923

UNIVERSITÉ DE LILLE

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

Doyen : M. P. CHARMEIL (✻, I. ✠). — **Assesseur** : M. GÉRARD E. (✻, I. ✠)

Clinique médicale :	MM. LEMOINE (✻, I. ✠),	professeur,
	COMBEMALE (O. ✻, I. ✠, M),	id.
Clinique chirurgicale :	GAUDIER (✻, ⚓, I. ✠),	id.
	LAMBRET (O. ✻, I. ✠).	id.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques :	CHARMEIL (✻, I. ✠),	id.
Clinique obstétricale :	BUÉ (✻, I. ✠),	id.
Pathologie interne et expérimentale et Clinique des maladies de l'appareil digestif	SURMONT (✻, I. ✠),	id.
Pathologie externe et Clinique des maladies des voies urinaires :	POTEL (✻, ⚓, I. ✠),	id.
Anatomie pathologique et Pathologie générale :	CURTIS (✻, I. ✠),	id.
Hygiène et Bactériologie :	BRETON (✻, I. ✠),	id.
Physiologie :	DUBOIS (✻, I. ✠),	id.
Anatomie :	DEBIERRE (✻, I. ✠),	id.
Histologie :	LAGUESSE (✻, I. ✠),	id.
Chimie minérale et Toxicologie :	VALLÉE (I. ✠),	id.
Chimie organique :	LAMBLING (✻, I. ✠),	id.
Physique médicale :	DOUMER (✻, I. ✠),	id.
Matière médicale et Botanique :	FOCKEU (✻, I. ✠, ❀, ✠),	id.
Pharmacie et Pharmacologie :	GÉRARD (Ernest), (✻, I. ✠),	id.
Zoologie médicale et pharmaceutique :	VERDUN (✻, I. ✠, ❀),	id.
	DESOIL (✻, I. ✠),	suppl.
Accouchements et Hygiène de la première enfance :	PAUCOT, professeur	
Clinique chirurgicale infantile et Orthopédie :	LE FORT (O. ✻, ⚓, I. ✠, O ✠),	prof.
Clinique psychiâtrique :	RAVIART (✻, I. ✠),	id.
Clinique médicale infantile :	CARRIÈRE (✻, I. ✠),	id.
Thérapeutique :	MINET (I. ✠),	id.
Médecine opératoire :	VANVERTS (✻, I. ✠).	id.

Professeurs titulaires non pourvus de chaire

MM. BÉDART (O. ✻, I. ✠, ✠), GÉRARD (Georges) (I. ✠, ✠), INGELRANS (I. ✠),

COURS COMPLÉMENTAIRES

Clinique ophtalmologique :	MM. GÉRARD (G.) (I. ✠, ✠)	**Chargé du Cours**
Clinique des maladies du système nerveux :	INGELRANS (I. ✠).	id.
Clinique oto-rhino-laryngologique :	DEBEYRE M. (✻, ◎, A, ✠),	id.
Crénothérapie et Climatothérapie	PIERRET René (A. ✠)	id.
Médecine légale :	LECLERCQ (✻, ⚓, I. ✠),	id.
Chimie analytique :	POLONOVSKI (⚓),	id.
Physique pharmaceutique :	SONNEVILLE (A. ✠),	id.
Parasitologie :	DUHOT,	id.
Déontologie	BERTON (✻ I. ✠).	id.

Doyens honoraires : MM. DE LAPERSONNE (✻, I. ✠). COMBEMALE (O. ✻, I. ✠, M)

Professeurs honoraires : MM. MONIEZ (O. ✻, I. ✠), MORELLE (I. ✠), CALMETTE (C. ✻), LESCŒUR (I. ✠), BAUDRY (✻, I ✠, ✠). DUBAR (O. ✻, I. ✠), WERTHEIMER (✻, I ✠).

Agrégés en exercice :

MM. DESCOMPS (I. ✠), DEBEYRE (✻, ⚓, A. ✠), PIERRET (A. ✠). LECLERCQ (✻, ⚓, I. ✠), DESOIL (✻, I. ✠), PELLISSIER. DUHOT. GÉRARD. M. (⚓, A. ✠), MORVILLEZ, POLONOVSKI (⚓).

La Faculté a décidé que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend y attacher aucune approbation ni improbation. (Décision de la Faculté en date du 28 février 1878).

A MON PÈRE
Professeur d'électricité
à l'Ecole Nationale d'Arts et Métiers

A MA MÈRE

A MA FEMME

A MES SOEURS, A MON FRÈRE

Je leur dédie ce modeste travail en témoignage de mon immense affection.

A LA MÉMOIRE DE MES COUSINS
AIMÉ ET ULYSSE LACHAZETTE
ALBERT CHAMPION
Morts pour la Patrie

A TOUS LES MIENS

A MES AMIS

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR DUBOIS

Professeur de Physiologie

A MONSIEUR LE PROFESSEUR MINET

Professeur de Thérapeutique

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ LECLERCQ

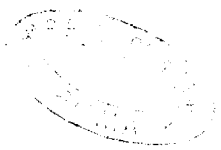
Chargé du Cours de Médecine légale

Chevalier de la Légion d'Honneur

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ DUHOT

Chargé du Cours de Parasitologie

A MES MAITRES DE LA FACULTÉ DE LILLE



INTRODUCTION

L'extension de plus en plus considérable des installations électriques dans l'industrie et chez les particuliers, augmente d'une façon notable les accidents dus aux courants à basse tension.

Les exemples d'ouvriers électrocutés avec des courants inférieurs à 150 volts sont nombreux.

Nous nous proposons d'apporter quelques précisions à l'étude des phénomènes qui tendent à expliquer le danger possible d'électrocution, dans certaines circonstances, par des courants de faible tension.

La mise au point des connaissances actuelles sur les « dangers des courants électriques à basse tension » nous montrera que seule une étude complète de la résistance du corps humain, pourra nous conduire à éliminer l'accident électrique ou conclure au contraire à la certitude ou à la probabilité.

Nous fixerons donc, dans des circonstances déterminées, la résistance du corps humain, d'une façon précise en nous adressant à une méthode de mesure qui nous permettra d'accorder une confiance complète aux résultats que nous obtiendrons. Nous appliquerons ensuite ces résultats à quelques observations.

ERRATA

Page 17. — Ligne 27, lire : « quatre » secondes.
Page 21. — Ligne 6, lire : « hautes » au lieu de autes.
Page 21. — Ligne 26, lire : « nous faisions » au lieu de nous faisons.
Page 22. — Ligne 2, lire : « nous remplacions » au lieu de nous remplaçons.
Page 40. — Ligne 6. « Θ » désigne la température.

ÉTAT DE LA QUESTION

Effets physiologiques des courants électriques

Brown-Séquard et d'Arsonval dans leur étude de l'action des courants électriques sur l'organisme ont montré que les effets physiologiques des courants électriques pouvaient se classer en deux grandes catégories principales qui les embrassent tous. La mort, d'après ces auteurs, surviendrait soit :

1° *Par action directe* (lésion ou destruction des tissus), les effets disruptifs ou électrolytiques de la décharge agissant mécaniquement pour altérer les tissus.

2° *Par action indirecte* ou *réflexe* en agissant soit sur les centres nerveux et plus particulièrement sur ceux qui commandent la respiration (mort par asphyxie); soit par paralysie des mouvements du cœur.

D'Arsonval pensait que les courants continus n'exerçaient que le premier mode d'action, par le mécanisme de l'extra courant de rupture ; tandis que les courants alternatifs exerçaient surtout le second mode.

Plus tard, Prévost et Battelli, dans leurs expériences précisent les effets différents produits par le courant alternatif ou continu suivant son emploi à haute ou basse tension.

Si l'on soumet un chien par exemple pendant quelques instants à un courant alternatif à haute tension, 2.400-4.800 volts, passant de la tête aux pattes, on observe : « Des troubles graves du système nerveux...

Le cœur offre une accélération des contractions des ventricules avec élévation considérable de la pression artérielle qui dure plusieurs secondes et qui est suivie d'une chute modérée de la pression avec ralentissement du cœur. Les oreillettes sont arrêtées en diastole pendant que les contractions ventriculaires persistent. L'animal est en grand danger de mort, mais il peut, dans certains cas, se remettre spontanément et souvent être sauvé par la respiration artificielle ».

Au contraire avec un courant alternatif de basse tension, 120 volts par exemple, on observe : « des trémulations fibrillaires des ventricules, les oreillettes continuent à battre comme lorsqu'on électrise directement le cœur mis à nu. L'animal meurt donc de cette forme de paralysie du cœur avec chute immédiate de la pression.

La respiration continue pendant plusieurs minutes.

La respiration artificielle reste sans effets ».

Avec les voltages intermédiaires, on peut observer des effets différents ; quelquefois l'arrêt simultané du cœur et de la respiration, les deux mécanismes de la mort, arrêt direct du cœur et sidération nerveuse agissant simultanément.

Le courant continu exercerait des effets analogues à ceux du courant alternatif.

Des expériences faites depuis par Berthon, Gagnières et Hédon à Montpellier ; par la Commission du Ministère des Travaux publics à l'Ecole d'Electricité, sont venus confirmer les conclusions des physiologistes suisses.

Les accidents d'électrocution

Rappelons les divers facteurs qui interviennent pour augmenter ou diminuer la gravité d'un accident.

Le Docteur viennois Jellineck les a ordonnés dans une équation unique :

$$T = \frac{E\ I\ t\ P}{R}\ K_1\ K_2\ K_3$$

ou T représente le travail absorbé par l'individu frappé, E la tension, I l'intensité, t le temps de contact, P le nombre ou la place des électrodes, R la résistance, K_1, K_2, K_3 des constantes variables suivant les sujets. Langlois fait remarquer justement, qu'il faut ajouter la nature du courant et la fréquence des périodes.

Cette formule qui a l'avantage de grouper les facteurs qui interviennent dans le problème, malgré son apparence mathématique, ne met pas suffisamment en évidence les facteurs essentiels dont la valeur suffit à l'exclusion des autres à augmenter ou diminuer le danger.

Nous examinerons donc chaque facteur isolément, nous approfondirons l'étude de ceux qui nous permettront de conclure pratiquement.

Tension. — Longtemps le facteur tension a été considéré comme le plus important, celui qui devait permettre de classer les courants suivant leurs effets nocifs.

Prévost et Battelli avaient établi dans leurs premières expériences la classification suivante :

Au-dessous de 100 volts, pas de danger.

De 100 à 150 volts, début de la zone dangereuse.

De 150 à 600 volts, dangers réels.

Après 600 volts, mort.

A la suite de nombreux accidents mortels avec des courants alternatifs de 150 volts, cette classification fut abandonnée et de nouvelles recherches de Prévost et Battelli eux-mêmes ont établi la nocivité de courants inférieurs à 100 volts.

La limite exacte du voltage inoffensif est essentiellement arbitraire, fonction elle-même de la détermination de l'intensité dangereuse et surtout des conditions de l'expérience.

Intensité. — L'intensité du courant passant à travers le corps paraît être en relation directe, toutes autres conditions égales, avec la gravité des effets produits. Elle dépend pour une tension donnée de la résistance du corps humain.

D'Arsonval avait indiqué l'intensité de 100 milliampères comme limite extrême compatible avec la vie.

Zacon abaisse ce chiffre et fixe la limite vers 80 milliampères.

Weber l'avait fixée entre 20 et 30 milliampères.

Kammerer croit qu'un courant de 50 milliampères risque d'occasionner des troubles sérieux et qu'une intensité de 100 milliampères devra être considérée comme presque toujours mortelle.

Monmerqué fit au secteur municipal des Halles, à Paris, des expériences qui avaient pour objet de comparer les résistances du corps humain et de vérifier les résultats obtenus en Amérique par Harris et Lawrence

R. BIBLIOTECA MEDICA ROMA

qui concluaient qu'un courant de 18 milliampères était dangereux. Monmerqué constata qu'une intensité de 20 milliampères est encore supportable en courant continu, qu'une intensité de 18 milliampères est encore supportable mais très douloureuse en alternatif et qu'il est impossible de lâcher les électrodes.

Des travaux de la Commission présidée par le Docteur Weiss, de l'Académie de Médecine, résumés par le Docteur Chapuis dans sa thèse inaugurale, il résulte que chez le chien, lorsque le cœur est sur le passage du courant alternatif :

1° Avec une intensité de 70-80 milliampères, la mort se produit ordinairement. Elle est due à l'arrêt du cœur par trémulations fibrillaires, la respiration suit.

2° Plus l'intensité s'élève, plus la mort est rapide, mais elle ne survient jamais avant deux secondes de passage du courant.

3° Avec une intensité de 5 à 6 ampères, il se produit des brûlures graves, mais il y a survie et la mort qui n'aura pu être obtenue avec 7 ampères sera immédiate avec 45 milliampères.

4° Si l'intensité s'abaisse au-dessous de 70 milliampères, la mort se produit par tétanisation de tous les muscles, l'asphyxie est fatale en cinq à dix minutes.

5° Les courants continus produisent les mêmes effets sur l'organisme que les courants alternatifs à condition que l'intensité soit trois à quatre fois plus forte, environ 290 milliampères.

Lorsque le cœur n'est pas sur le passage du courant, la respiration s'arrête pour reprendre lorsque l'action du courant cesse, même si l'intensité a été très élevée.

Remarque importante. — Des intensités de 45 milliampères ont été obtenues avec des courants de 4.500 volts, *alors que des intensités de 103 et 104 milliampères* furent fournies par des courants *de 76 et 100 volts.*

Le Docteur Chapuis fixe ensuite entre 70 et 80 milliampères l'intensité mortelle minima.

Le Professeur Balthazard considère, dans ses conclusions, l'intensité de 70 milliampères comme limite inférieure du courant mortel ; nous admettrons ce nombre qui se rapproche le mieux de la réalité des faits.

Résistance. — La résistance du corps humain varie non seulement avec les conditions de l'expérience mais dans certains cas au cours même de l'expérience ; aussi son étude demande-t-elle des attentions toutes particulières.

Pouillet détermina le premier la résistance du corps humain. Entre les mains elle fut égale à 1.061 ohms.

Lenz trouve un nombre double.

R. Remack observe des nombres variant entre 1.000 et 1.500 unités Siemens (correspond à l'ohm actuel).

Kohlrausch arrive à des résultats sensiblement analogues.

Tschiriew et Watteville appliquent la loi d'ohm, se servent d'un courant de 2 à 5 milliampères et trouvent des nombres variant entre 3.000 et 80.000 ohms.

Jolly, dans une étude systématique de la topographie de la résistance du corps humain, avec une méthode peu sensible, donne des nombres plus élevés encore et des plus variables.

Swinburne a mesuré la résistance entre les deux mains en faisant passer soit des courants continus, soit des courants alternatifs. Il calculait la résistance, en mesurant l'intensité avec un galvanomètre, et la force électro-motrice avec un voltmètre industriel. Pour une force électro-motrice de 50 volts avec des électrodes ordinaires, les mains humides, les résistances individuelles ont été comprises entre 1.000 et 3.000 ohms.

Brown et Kundt fixent la résistance aux environs de 1.000 ohms entre les mains.

Harris et Lawrence fixent la valeur de la résistance pour le courant continu entre 3.000 et 7.000 ohms, mains sèches, et entre 2.500 et 3.900 ohms, mains mouillées ; pour le courant alternatif, ces valeurs s'abaissent et les moyennes tombent à 1.740-1.437 ohms.

D'une main à l'autre, Mori, chez le même individu, trouve des résistances variant de 12.750 à 600 ohms.

Monmerqué précise les valeurs de la résistance. Il construit un appareil analogue à un électrodynamomètre, le gradue et emploie la méthode de comparaison. Avec des électrodes de 49 cm² dont la moitié seulement était en contact avec la main, les résultats furent les suivants :

Résistance { Continu, 3.200—8.000 ohms.
Alternatif, 1.500—5.500 ohms.

Les recherches de Trotter et Monmerqué montrent que deux facteurs interviennent : la grandeur des surfaces organiques en contact et l'état de sécheresse ou d'humidité de ces surfaces. Un ouvrier, sur un terrain conducteur touche du doigt (1 cm² de surface environ)

un conducteur, ou bien prend ce conducteur les quatre doigts repliés (15 cm²), présente les résistances suivantes :

	Continu Ohms	Alternatif Ohms
Bout du doigt 1 cm². .	51.000	15.000
Les quatre doigts repliés 15 cm²	6.000	2.000

En prenant de larges électrodes, on trouve :

	Continu Ohms	Alternatif Ohms
Mains sèches . . .	3.000-7.000	3.000
Mains humides. . .	2.000-4.000	1.500

Sous l'influence d'un courant, la résistance diminue d'une manière considérable. Remack a observé le premier cette diminution.

Nous montrerons dans notre travail que ce phénomène vérifié surtout pour des intensités assez élevées est, en courant alternatif, d'une importance primordiale au cours des accidents d'électrocution. Nous mettrons en outre en évidence les variations de la résistance avec l'intensité.

Fréquence. — D'après Prévost et Battelli, c'est vers 150 périodes que la nocivité du courant atteindrait

son maximum puisque l'arrêt du cœur arrive avec 15 volts ; à mesure que la fréquence croît, le danger diminue, 200 périodes impliquent 40 volts.

Vers 350 périodes, le courant alternatif n'est pas plus dangereux que le courant continu, et si l'on augmente encore la fréquence, vers 1.700 périodes, il faut 400 volts.

Zacon écrit dans son ouvrage « Danger des courants électriques » : « On admet généralement que jusqu'à 3.000 alternances, les effets physiologiques et avec eux le danger, augmentent d'intensité, pour diminuer au delà de cette valeur et devenir d'autant moins dangereux que l'on s'en éloigne davantage ».

Nous ne nous occuperons que des courants industriels dont la fréquence oscille autour de 50 périodes

Durée de contact. — Dans l'électrocution par les courants à basse tension, le facteur temps ne peut être négligé. Des expériences faites sur le chien il résulte en effet que pour des courants de faible intensité de 20 à 25 milliampères, la durée de contact peut être prolongée sans amener la mort pendant plus d'une minute, mais si la durée est prolongée pendant plusieurs minutes, la mort peut survenir *si la tétanisation des muscles respiratoires entraîne l'asphyxie* (Rapport de la Commission présidée par le Docteur Weiss).

Avec des courants de 60 à 80 milliampères, la durée de contact exerce une influence manifeste, *tel animal qui résiste qnatre secondes, succombera, toutes choses égales d'ailleurs, à la sixième.*

Nous verrons nous-même dans nos expériences le

temps intervenir pour abaisser la résistance, augmenter l'intensité et accroître le danger.

Position des électrodes (*Extrait de la Revue générale des Sciences*), Docteur Langlois.

L'action sur les centres nerveux qui, avec d'Arsouval avait été admise comme essentielle, est aujourd'hui des plus discutées. Les recherches de Montpellier, avec Berthon et Gagnières comme techniciens, Hédon et Lisbonne comme physiologistes, tendent à montrer que l'effet maximum est réalisé quand le courant traverse les centres nerveux supérieurs. Par contre, les expériences poursuivies par la Commission Weiss au laboratoire de l'école supérieure d'électricité conduisent à des conclusions absolument opposées : « Dans les mêmes conditions (d'intensité et de tension), nous voyons que les mêmes animaux, qui résistent parfaitement lorsque le courant leur est appliqué par l'intermédiaire d'électrodes fixées au sommet du crâne et sous le menton, succombent lorsque les électrodes sont déplacées et réunies aux pattes antérieures et postérieures de manière à placer le cœur dans le circuit ».

Le premier mode d'électrocution (action sur les centres nerveux supérieurs) est très rare dans la pratique. Il nous suffira de savoir que le danger s'accroît lorsque le cœur se trouve sur le trajet du courant.

Variables K_1 K_2 K_3... — Ne font que préciser des conditions d'expériences (espèces animales, susceptibilités individuelles...).

Nature du courant. — Nous avons indiqué qu'il existait pour les basses tensions une différence entre les effets physiologiques des courants alternatifs et continus. Les travaux de la Commission Weiss montrent qu'une intensité trois à quatre fois plus forte est nécessaire en courant continu pour avoir des effets identiques à l'alternatif. D'après les expériences de Monmerqué, une intensité double serait suffisante.

Au contraire, avec de hauts voltages, le courant continu serait plus dangereux soit par une action plus énergique sur les centres nerveux, soit par suite des actions chimiques qu'il provoque dans les tissus.

MESURE DE LA RÉSISTANCE DU CORPS HUMAIN

Considérations générales. — Nous allons tout d'abord exposer sommairement les considérations générales qui nous ont guidé dans notre travail.

Les effets produits dans une portion de circuit parcourue par un courant électrique sont intimement liés à l'énergie mise en jeu dans cette portion de circuit et à la durée de passage du courant.

L'énergie dépensée pendant une seconde dans une portion de circuit parcourue par un courant, dépend essentiellement du produit de deux facteurs : la tension et le courant ; chacun des facteurs intervenant au premier degré. De telle sorte que la puissance P consommée par un récepteur alimenté sous une tension V et parcouru par un courant I, peut prendre la forme

$$P = VI$$

Si le récepteur est uniquement résistant, ce qui est vraisemblablement le cas du corps humain, nous pouvons faire subir à l'expression de cette puissance une transformation intéressante et très instructive pour le cas qui nous occupe.

Dans ces conditions en effet, la tension, le courant et la résistance du récepteur sont liés par la relation :

$$V = R\,I$$

L'expression de la puissance peut donc se mettre sous la forme :

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Cette relation nous montre qu'un récepteur même très résistant soumis à une différence de potentiel élevée, peut devenir le siège d'une transformation importante d'énergie se traduisant par des effets variés et puissants.

C'est le cas des autes tensions que nous n'examinerons pas dans notre travail.

Mais, si la résistance R du circuit récepteur baisse dans des proportions considérables, en d'autres termes, si le corps humain fonctionnant comme récepteur devient, sous certaines circonstances que nous aurons à examiner, meilleur conducteur, il est possible d'observer sous de basses tensions des effets tout aussi importants. Il est donc fondamental de savoir comment se comporte la résistance du corps humain quand il est traversé par un courant et d'essayer de dégager expérimentalement les éléments qui interviennent dans la variation de cette résistance.

Ces considérations nous ont guidé dans notre travail et suggéré l'idée de faire une étude expérimentale de cette résistance.

Méthode employée pour mesurer la résistance du corps humain. — Pour mesurer la résistance du corps humain, nous avons employé une méthode de substitution dont voici le principe :

Nous faisons passer à travers le corps du sujet soumis à l'expérience, placé dans des conditions déterminées, un courant I dont l'existence était constatée par la déviation de l'équipage mobile d'un galvanomètre.

Sans rien changer aux conditions de l'expérience, nous remplaçons le corps humain par une résistance étalonnée purement ohmique et réglable. On agissait sur cette résistance variable de manière à faire marquer au galvanomètre la même déviation.

Un calcul extrêmement simple montre que la résistance ainsi obtenue représente la résistance du corps humain dans les conditions de l'expérience.

Courant continu. — Dans nos mesures en courant continu, nous nous sommes servi du galvanomètre à aimant fixe et à cadre mobile de la maison Carpentier.

Les lectures étaient faites par la méthode optique de Poggendorf, sur une règle divisée placée à un mètre du miroir.

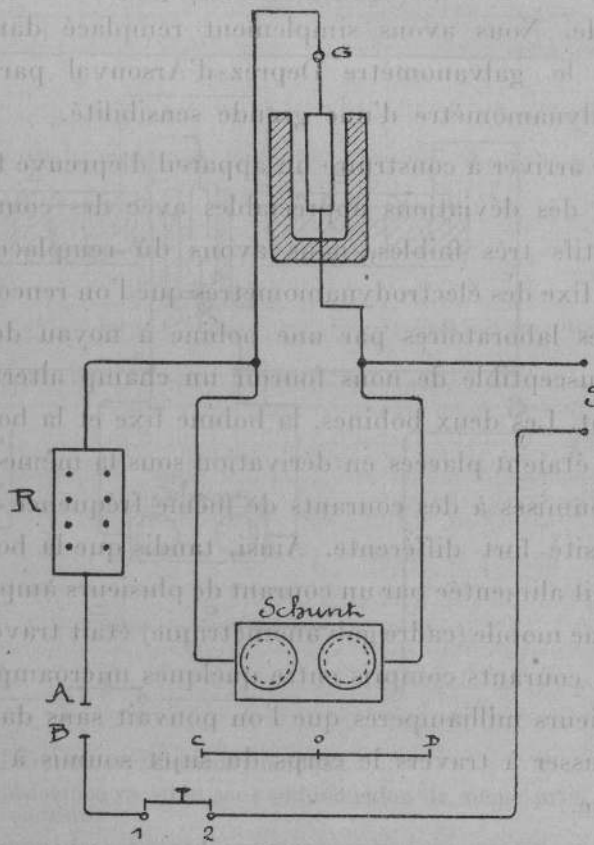
Cette méthode d'une très grande sensibilité nous permettait de déceler des courants de l'ordre du microampère.

En protégeant le galvanomètre par un schunt, nous avons pu faire passer à travers le corps du sujet soumis à l'expérience des courants qui allaient jusqu'à plusieurs milliampères.

Montage de l'expérience. — Le croquis ci-joint et la légende qui l'accompagne indiquent clairement de quelle façon était constitué le circuit qui nous a servi dans nos expériences en courant continu.

Croquis du montage

(courant continu)



G : Galvanomètre.

R : Résistance variable sans self-induction.

S : Source fournissant le courant qui traversait le circuit sous une tension connue.

A B : Corps humain que l'on pouvait remplacer par une résistance réglable sans self-induction

1 2 : Godets à Hg. permettant de fermer ou d'interrompre le courant à l'aide d'un cavalier.

C D : Règle divisée placée environ à un mètre du miroir porté par l'équipage mobile du galvanomètre.

Remarque. — La résistance R que l'on se donnait au début de chaque expérience permettait de se faire une idée approximative de l'importance du courant qui allait passer dans le circuit. C'était une boîte de résistances à fiches étalonnée par la maison Carpentier.

Courant alternatif. — Pour faire nos mesures en courant alternatif, nous avons employé la même méthode. Nous avons simplement remplacé dans le circuit le galvanomètre Deprez-d'Arsonval par un électrodynamomètre d'une grande sensibilité.

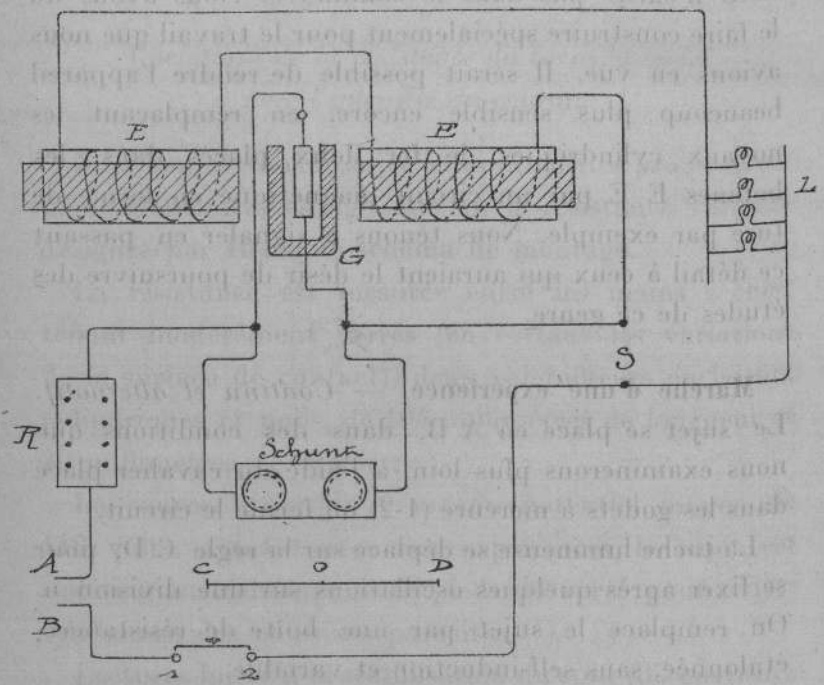
Pour arriver à construire un appareil d'épreuve fournissant des déviations appréciables avec des courants alternatifs très faibles, nous avons dû remplacer la bobine fixe des électrodynamomètres que l'on rencontre dans les laboratoires par une bobine à noyau de fer doux susceptible de nous fournir un champ alternatif puissant. Les deux bobines, la bobine fixe et la bobine mobile étaient placées en dérivation sous la même tension, soumises à des courants de même fréquence mais d'intensité fort différente. Ainsi, tandis que la bobine fixe était alimentée par un courant de plusieurs ampères, la bobine mobile (cadre galvanométrique) était traversée par des courants compris entre quelques microampères et plusieurs milliampères que l'on pouvait sans danger faire passer à travers le corps du sujet soumis à l'expérience.

Nous avons pu avec cet appareil nous procurer des sensibilités analogues à celles que nous avions obtenues en courant continu avec le Deprez-d'Arsonval.

Montage de l'expérience. — Nous donnons comme en courant continu un croquis du montage accompagné d'une légende explicative.

Croquis du montage

(Courant alternatif)



G : Galvanomètre électrodynamique.

R : Résistance variable sans self-induction (la même qu'en courant continu).

S : Source fournissant le courant aux deux circuits placés en dérivation.

A B : Corps humain que l'on pouvait remplacer par une résistance réglable sans self-induction.

1 2 : Godets à Hg permettant de fermer ou d'interrompre le courant à l'aide d'un cavalier.

C D : Règle divisée placée environ à 1 mètre du miroir.

E E : Bobines à noyau de fer doux.

L : Lampes à filament métallique montées en dérivation et permettant de régler le courant alternatif qu'on envoyait dans les bobines E E.

Remarque. — Le galvanomètre électrodynamique qui nous a servi dans nos expériences en courant alternatif n'existe pas dans le commerce. Nous avons dû le faire construire spécialement pour le travail que nous avions en vue. Il serait possible de rendre l'appareil beaucoup plus sensible encore, en remplaçant les noyaux cylindriques de fer doux placés dans les bobines E E par un circuit magnétique en forme de tore par exemple. Nous tenons à signaler en passant ce détail à ceux qui auraient le désir de poursuivre des études de ce genre.

Marche d'une expérience. — *Continu et alternatif.* Le sujet se place en A B, dans des conditions que nous examinerons plus loin, à l'aide du cavalier placé dans les godets à mercure (1-2) on ferme le circuit.

La tache lumineuse se déplace sur la règle C D, pour se fixer après quelques oscillations sur une division n. On remplace le sujet par une boîte de résistances, étalonnée, sans self-induction et variable.

On règle cette résistance de manière à amener la tache lumineuse sur la même division n de la règle.

La résistance R. lue sur la boîte étalonnée représente la résistance du corps humain dans les conditions de l'expérience.

Après avoir relevé la tension en S, un calcul très simple permettait de déterminer le courant qui avait traversé le corps du sujet et de construire la courbe $R = F(I)$.

Ce dispositif expérimental nous a permis de constater, comme nous le verrons longuement par la suite, que la résistance du corps humain varie avec la surface de contact, avec l'état de ces surfaces, avec l'intensité du courant et avec la durée de passage du courant.

Moyennes des résultats d'expériences effectuées en courant continu

Variations de la résistance du corps humain avec l'intensité du courant

Nous soumettons le sujet à des intensités progressivement croissantes en agissant sur la résistance variable désignée par R sur le schéma de montage.

La résistance est mesurée entre les mains sèches, tenant modérément serrés (en évitant les variations de la surface de contact), deux conducteurs en laiton, cylindriques et polis, de 104 millimètres de longueur et 20 millimètres de diamètre.

La source d'énergie S est au potentiel moyen de 118 volts. Dans toutes nos expériences, le sujet est isolé sur un tabouret avec pieds de verre pour éviter l'influence des courants parasites.

Lectures faites à la stabilisation du spot (3" environ).

TABLEAU I

Résistance R Ohms	Schunt Ohms	Résistance humaine Ohms	Intensité Ampères	Voltage Volts	Observations
200.000	29	17.000	0,0005	8,5	Sensation non appréciable à l'ouverture et à la fermeture du courant.
150.000	21	13.000	0,0007	9,1	
100.000	12	9.500	0,0010	9,5	id.
75.000	9	9.400	0,0013	12,22	id.
50.000	6	9.200	0,0019	17,48	id.
35.000	4	7.800	0,0026	20,28	id.

Résistance R Ohms	Schunt Ohms	Résistance humaine Ohms	Intensité Ampères	Voltage Volts	Observations
30.000	3	8.250	0,0030	24,75	On commence à sentir le courant au moment de l'ouverture.
25.000	3	8.200	0,0034	27,88	id.
20.000	3	8.000	0,0042	33,60	id.
15.000	3	7.700	0,0052	40,04	id.
10.000	2	7,600	0,0065	49,40	id.
7.000	2	7.600	0,0088	66,88	id.
5.000	1	6.600	0,0102	67,32	Sensation désagréable. — Les électrodes paraissent brûlantes, elles commencent à coller à la main, surtout au négatif.
4.000	1	6.500	0,0109	70,85	

Remarque. — Nous pouvons nous rendre compte de la sensibilité extrême de notre méthode en remplaçant la résistance du corps humain en A B par une résistance étalon que l'opérateur chargé de la mesure ne connaît pas. Il la détermine invariablement à 1 % près.

Les quelques différences observées dans la loi de la variation, ne dépendent que de la pression des mains. Il est impossible de maintenir cette pression constante pendant toute la durée d'une expérience. La construction de la courbe R = f (I) correspondant à notre tableau fera disparaître ces quelques irrégularités.

Vérification des résultats qui figurent dans le tableau précédent à l'aide du milliampéremètre

Résistance humaine Ohms	Intensité Milliampères	Voltages Volts
11.800	1,10	12,98
9.000	2,10	18,90
8.200	2,50	20,50
7.400	3,40	25,16
7.300	3,80	27,74
7.200	4,20	30,24

Nous avons contrôlé les nombres obtenus dans les expériences précédentes à l'aide d'un appareil gradué en milliampères. Chaque division de l'ampéremètre correspondait à un milliampère et les lectures pouvaient être faites facilement à une demi-division près. Les résultats obtenus consignés dans le tableau ci-joint montrent que si l'on construit la courbe R = f (I), elle a même allure que la courbe fournie par le tableau précédent et qu'il est possible de passer d'une courbe à l'autre par une simple translation. Si cette méthode est moins sensible que la précédente, elle a l'avantage de fournir directement, par une simple lecture, le courant qui traverse le corps du sujet, placé dans le circuit en série avec l'appareil de mesure.

Moyennes des résultats d'expériences effectuées en courant continu

Variations de la résistance du corps humain avec la surface de contact

La résistance R insérée au début dans le circuit reste constante pendant toute la durée de l'expérience.

Nous agissons sur la surface de contact en trempant successivement, un doigt, deux doigts..., la main, dans deux bains de mercure faisant partie du circuit.

La source d'énergie est représentée par un accumulateur.

Lectures faites à la stabilisation du spot :

TABLEAU II

Résistance R en Ohms	Surface variable	Schunt Ohms	Déviations lues sur la règle	Résistance du corps humain Ohms	Observations
20.000	Un doigt de chaque main	2.500	158	17.600	La détermination exacte de la surface de contact nous a paru tellement illusoire, que nous n'avons pas jugé à propos de la traduire par un nombre.
id.	La main jusqu'au poignet Un doigt de l'autre	id.	173	14.600	
id.	La main jusqu'au poignet Deux doigts de l'autre	id.	205	8.300	
id.	La main jusqu'au poignet Quatre doigts de l'autre	id.	227	5.650	
id.	Les deux mains jusqu'aux poignets	id.	239	4.400	

Nous avons exécuté des expériences identiques en remplaçant le mercure par de l'eau acidulée, de l'eau naturelle, les variations de la résistance sont aussi considérables.

Moyennes des résultats obtenus en courant continu

Variations de la résistance du corps humain avec l'état d'humidité des surfaces en contact

Nous répétons notre première expérience en courant continu. Conditions identiques ; mains mouillées avec de l'eau naturelle.

TABLEAU III

Résistance R Ohms	Schunt Ohms	Résistance du corps humain Ohms	Intensité Ampères	Voltage Volts	OBSERVATIONS
100.000	14	5.450	0,0011	5,99	Les lectures sont effectuées après que le spot s'est fixé dans une position invariable sur la règle divisée.
75.000	10	5.000	0,0015	7,50	
60.000	9	4.900	0,0018	8,82	
50.000	7	4.800	0,0021	10,08	Deux secondes environ.
45.000	6	4.700	0,0024	11,28	
40.000	5	4.650	0,0026	12,09	
35.000	5	4.650	0,0032	14,88	
30.000	4	4.500	0,0034	15,30	
25.000	3	4.350	0,0040	17,40	On perçoit nettement l'ouverture et la fermeture du courant.
20.000	3	3.900	0,0050	19,50	
15.000	2	3.600	0,0064	23,04	
12.000	1	3.500	0,0077	26,95	
10.000	1	3.550	0,0087	30,88	Véritables secousses à la fermeture du courant.

CONCLUSIONS

Courant continu.

1° La résistance du corps humain varie en raison inverse de l'intensité du courant qui le traverse.

2° La résistance du corps humain varie en raison inverse de la surface de contact.

3° L'état d'humidité créé par l'eau naturelle abaisse la résistance du corps humain de moitié de sa valeur.

4° La sensation éprouvée au passage du courant pour des intensités d'au moins 10 milliampères, est celle d'une brûlure, plus particulièrement vive à la main correspondant à l'électrode négative.

Moyennes des résultats d'expérience effectuées en courant alternatif

Variations de la résistance du corps humain avec l'intensité du courant

Nous soumettons le sujet à des intensités progressivement croissantes en réduisant la résistance variable R.

La résistance est mesurée entre les mains sèches, tenant modérément serrés (éviter les variations de la surface de contact) deux conducteurs en laiton, cylindriques et polis de 104 millimètres de longueur et 20 millimètres de diamètre. La source d'énergie S est au potentiel de 120 volts.

La fréquence du courant est de : 50 périodes.

Dans toutes nos expériences, le sujet est isolé sur un tabouret avec pieds de verre pour éviter l'influence des courants parasites.

Lectures faites à la stabilisation du spot (5" environ).

TABLEAU IV

Résistance R Ohms	Schunt Ohms	Résistance humaine Ohms	Intensité Ampères	Voltage Volts	OBSERVATIONS
150.000	100	12.000	0,0007	8,8	Très supportable. On lâche les électrodes très facilement.
100.000	80	11.000	0,0010	11	Pas de sudation.
75.000	60	9.450	0,0014	13,2	id.
50.000	40	8.850	0,0020	17,7	id.
35.000	26	7.700	0,0028	21,5	id.
30.000	25	8.600	0,0030	25,8	id.
25.000	17	8.275	0,0036	29,7	id.
20.000	13	7.600	0,0043	32,6	Sensation désagréable. On lâche encore facilement. Pas de sudation.
15.000	12	7.300	0,0053	38,6	id.
13.000	10	7.200	0,0059	42,4	id.
10.000	10	6.900	0,0070	48,3	id.
8.000	9	6.400	0,0083	53,1	Peu de sudation. Sensation très désagréable. On lâche avec difficulté. Articulations douloureuses.
6.000	7	5.600	0,0103	56	id.
5.000	7	5.400	0,0115	59,4	Il est presque impossible de saisir les électrodes sans entraînement. La sensation est très pénible. Contractures très douloureuses. Sueurs presque instantanées et abondantes.
id.	id.	4.950	0,0120	59,4	La résistance baisse de plus de 1000 ohms en une minute environ.
id.	id.	4.400	0,0127	52,8	Au delà, la douleur oblige à interrompre le courant instantanément.
id.	id.	4.300	0,0129	51	

Remarque I. — Nous pouvons nous rendre compte de la sensibilité de notre méthode, en remplaçant en A. B. la résistance du corps humain par une résis-

tance étalon que l'opérateur chargé de la mesure ne connaît pas. Il la détermine dans chaque cas avec une erreur relative qui oscille autour de 4 %.

Remarque II. — Nous n'avons pas pu nous procurer la satisfaction de contrôler à l'aide du milliampéremètre les résultats contenus dans ce tableau. L'appareil dont nous disposions n'était sensible qu'à partir de 20 milliampères.

Moyennes des résultats d'expériences effectuées en courant alternatif

---

Variations de la résistance du corps humain avec la surface de contact

Nous laissons fixe la résistance R pendant toute la durée de l'expérience. Nous agissons sur la surface de contact en trempant successivement un doigt, deux doigts..., la main, dans deux bains de mercure insérés dans le circuit.

La source d'énergie S est au potentiel de huit volts.

Lectures faites à la stabilisation du spot.

TABLEAU V

Résistance R Ohms	Surface variable	Schunt Ohms	Déviations lues sur la règle	Résistance du corps humain Ohms	Observations
20.000	Un doigt de chaque main	2.500	139	20.900	Même observation qu'en courant continu, au sujet de la détermination de la surface de contact.
id.	La main jusqu'au poignet Un doigt de l'autre	id.	181	12.500	
id.	La main jusqu'au poignet Deux doigts de l'autre	id.	206	7.800	
id.	La main jusqu'au poignet Quatre doigts de l'autre	id.	225	4.950	
id.	Les deux mains jusqu'aux poignets	id.	236	3.990	

Nous avons exécuté des expériences identiques en remplaçant le mercure par de l'eau acidulée, de l'eau naturelle, les variations de la résistance sont aussi considérables.

Moyennes de résultats obtenus en courant alternatif

Variations de la résistance du corps humain avec l'état d'humidité des surfaces en contact

Nous répétons notre première expérience en courant alternatif. Conditions identiques ; mains mouillées avec de l'eau naturelle.

TABLEAU VI

Résistance R Ohms	Schunt Ohms	Résistance du corps humain Ohms	Intensité Ampères	Voltage Volts	Observations
100.000	100	4.800	0,0011	5,28	Lectures effectuées après que le spot s'est fixé dans une position invariable 4 secondes environ.
75.000	80	4.600	0,0015	6,90	
50.000	50	4.400	0,0022	9,68	
40.000	40	4.200	0,0027	11,34	
35.000	35	4.000	0,0030	12	
30.000	30	4.000	0,0035	14	
25.000	25	3.700	0,0041	15,17	
20.000	20	3.400	0,0051	17,34	
15.000	15	3.300	0,0065	21,45	
12.000	10	3.000	0,008	24	

CONCLUSIONS

Courant alternatif.

1° La résistance du corps humain varie en raison inverse de l'intensité du courant qui le traverse.

2° La résistance du corps humain varie en raison inverse de la surface de contact.

3° L'état d'humidité créé par l'eau naturelle abaisse la résistance du corps humain de moitié de sa valeur.

4° La sensation éprouvée au passage du courant est inappréciable jusqu'à cinq milliampères.

Elle s'accentue rapidement et les fourmillements perçus vers six milliampères deviennent des douleurs très violentes occupant particulièrement les poignets et les coudes à 10 milliampères.

5° A partir de 10 milliampères, sudation abondante et rapide qui paraît avoir une grosse influence sur la résistance. Celle-ci en effet baisse de plus de 1.500 ohms en une minute au cours d'une même mesure, alors qu'avec des intensités inférieures elle se stabilise en quelques secondes avec des variations insignifiantes.

En d'autres termes, à partir de 10 milliampères, l'établissement du régime permanent est précédé d'une période variable pendant laquelle la résistance du corps humain baisse considérablement.

Le sujet ne peut plus lâcher les électrodes, il y a

contracture et les phénomènes douloureux sont très accusés.

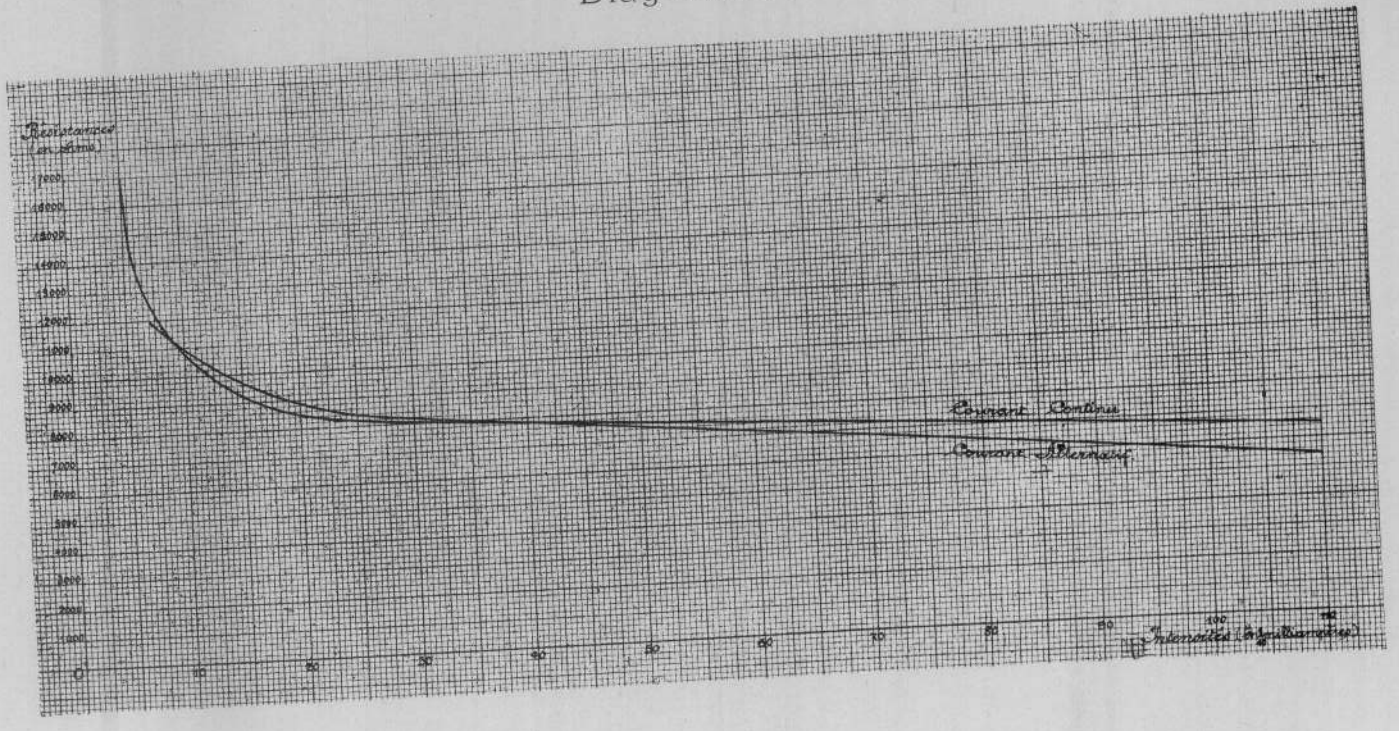
La durée de contact cesse donc d'être négligeable, elle exerce une grande influence sur les variations de la résistance.

Construction des deux courbes R = f (I).

A l'aide des résultats contenus dans les tableaux I et IV, nous avons construit deux courbes, l'une pour le courant continu, l'autre pour le courant alternatif, en portant en abcisses le courant mesure en $\frac{1}{10}$ de milliampère et en ordonnées la résistance correspondante du corps humain mesurée en ohms.

Ce diagramme montre d'une façon saisissante la loi suivant laquelle la résistance du corps humain varie avec l'intensité.

Diagramme


Résistances (en ohms)
Courant Continu
Courant Alternatif
Intensités (en milliampères)

Nous remarquons que la résistance du corps humain mesurée dans les mêmes conditions est sensiblement la même en courant continu et en courant alternatif avec de faibles intensités.

Les différences s'accusent de plus en plus avec l'accroissement de l'intensité.

Les phénomènes de sudation observés avec les courants alternatifs à partir de 10 milliampères suffisent à expliquer ces différences. Peut-être la contracture intervient-elle. Nous ne le pensons pas, puisque les contractions volontaires n'ont aucune influence sur les variations de la résistance.

Conclusions communes aux deux sortes de courants

1° La résistance du corps humain, toutes choses égales d'ailleurs, est la même en courant continu et en courant alternatif pour des intensités inférieures à cinq milliampères. La tache lumineuse se fixe après quelques oscillations dans une position invariable. Avec des courants de cet ordre de grandeur la résistance du corps humain est indépendante de la durée de passage du courant (ni sudations, ni contractures).

2° La résistance du corps humain varie en raison inverse de l'intensité et de la surface.

3° L'état d'humidité diminue dans de fortes pro-

portions, la résistance du corps humain. D'abord l'humidité conductrice augmente la surface de contact, ensuite l'imprégnation liquide crée des échanges qui font varier la composition chimique et le nombre des ions que contient la peau (théorie de Stéphane Leduc).

4° La Θ des liquides qui ont humecté la peau intervient également en activant la sécrétion de la sueur.

5° La pression en faisant varier la surface de contact augmente ou diminue la résistance du corps humain.

OBSERVATIONS

Nous insisterons dans l'exposé de quelques observations choisies, sur les conditions dans lesquelles les accidents se produisent.

Nous montrerons qu'il est souvent possible de conclure fermement à l'accident électrique.

Ensuite nous rapporterons une observation de M. le Professeur Leclercq qui a décelé l'accident électrique dans un cas particulièrement obscur de mort subite et décrit un mécanisme nouveau de la mort par les courants alternatifs à basse tension.

Observation I

Rapportée par le Docteur Fleury, de Versailles, à la Société de Médecine légale de France. Thèse Chapuis, Paris 1919.

« Mme C... est âgée de 35 ans et a toujours joui d'une parfaite santé ; elle a deux enfants, respectivement âgés de sept et onze ans, bien portants. Elle habite une villa avec confort moderne, lumière électrique, salle de bains ; l'installation de celle-ci comprend une baignoire fixe, émaillée, dont le bouchon de vidange métallique est placé au milieu même du fond ; à ce bouchon est fixée une chaînette à laquelle est attaché un flotteur.

A portée de la baignoire, le long du mur, à gauche de la personne qui se baigne, existe un appel de sonnerie électrique, composé d'une chaînette à anneaux métalliques, terminée par une poignée en porcelaine.

Le 20 mai au matin, après avoir pris à 7 heures, trois cuillerées à potage de lait, elle prépare elle-même son bain dont l'eau n'est additionnée d'aucune substance ; il est à 35 degrés, température mesurée au thermomètre. A 8 h. 30 elle entre dans le bain ; elle

reste d'abord seule dix minutes puis appelle sa femme de chambre qui lui apporte, comme elle en avait l'habitude, une injection de deux litres d'eau bouillie, à 45 degrés. La bonne affirme n'avoir ajouté aucun sel à l'eau de l'injection que sa maîtresse, en sa présence aromatise de quelques gouttes d'eau de Cologne.

Mme C... à ce moment, est très gaie et plaisante avec la femme de chambre qui, l'opération terminée, se retire et redescend au rez-de-chaussée.

A peine arrivée en bas, elle entend Mme C... pousser un cri. Le valet de chambre qui est occupé sur le palier du premier étage, entendant des appels désespérés, entre aussitôt dans la salle de bains et voit la baigneuse, la tête hors de l'eau, rejeté en arrière, le visage violacé, les deux mains crispées au cordon de sonnette, laquelle retentit sans désemparer. Affolé, il n'ose intervenir ; mais la bonne qui avait entendu le cri initial, remonte en toute hâte.

Tentant d'arracher du cordon de sonnette, les mains de sa maîtresse, *elle ressent elle-même de fortes secousses.* Pendant ce temps, Mme C..., le visage violacé râle. La bonne n'a plus que le temps d'appuyer la tête de la mourante sur son bras. Mme C... a un dernier râle, ouvre encore les paupières et meurt, tout secours, que peut porter un entourage affolé, reste vain. Le temps qui s'écoule entre le moment où la bonne entend le cri et son retour auprès de sa maîtresse est approximativement de 20 à 25 secondes. »

L'autopsie, pratiquée vingt-neuf heures après, ne montre que les lésions d'asphyxie *et des brûlures superficielles* de la fesse gauche qui appuyait sur le bouchon de vidange de la baignoire.

M. R..., électricien qui avait été commis pour examiner l'installation électrique, procéda, dans la salle de bains, à diverses expériences. C'est ainsi qu'il put allumer une lampe de 110 volts, en mettant le fil de la lampe en contact d'une part avec le cordon de sonnerie électrique, d'autre part avec le bouchon de vidange. Il répéta l'expérience avec une lampe de 200 volts, mais le filament de cette lampe rougit à peine. Le courant qui passait du cordon de sonnerie au bouchon de vidange était donc bien de 110 volts. Voici

du reste la partie de son rapport à retenir : « Par suite de l'abandon de deux fils sous plomb, existant dans le jardin du temps de l'ancien propriétaire, mais restés branchés sur la canalisation intérieure, il se produisait un retour de courant par la terre, sur toutes les parties métalliques de la maison (tuyaux d'eau, de gaz et fils de sonnerie), et ce fait produisait, lorsqu'on les touchait, une commotion désagréable, mais en aucun cas susceptible de provoquer un accident comme celui ci-dessus : 110 volts n'était pas une tension dangereuse ! ! ! »

Remarque. — Il est utile de faire remarquer que cette observation est loin d'être exceptionnelle.

Le Docteur Lutaud rapporte en 1913 à la Société de Médecine Légale une observation en tous points semblable.

La *Revue d'Electricité* publie dans son numéro du 29 janvier 1921 la lettre suivante de M. Barqui, Administrateur délégué de la Société d'Energie Electrique de Chauffailles, la Clayette et extension :

« La note parue dans la « Documentation » de la Revue générale d'électricité du 13 novembre 1920, p. 156. D, sur un accident dû à l'électricité dans une salle de bains me remet en mémoire un accident similaire dont je fus le témoin.

Une personne de ma famille, assise sur une chaise, prenaît un bain de pieds dans un appareil fixe à circulation d'eau chaude et froide. Elle profitait de cette inaction relative pour faire un massage facial, à l'aide d'un vibro-masseur électrique (110 volts).

Sa position la mettait donc en contact parfait avec la terre par l'intermédiaire de l'eau qui recouvrait la bonde de vidange de la cuvette, cette bonde aboutis-

sant à l'appareil mélangeur d'eau (donc relié aux canalisations de l'immeuble).

A un certain moment et par suite *d'un défaut d'isolement du fil torsadé alimentant le masseur*, le bras ou la main fut mis en contact avec le courant.

Les seuls souvenirs précis qui lui restèrent de cet incident, c'est qu'elle *ne put lâcher l'appareil, se sentit immobilisée* et se retrouva... tombée de sa chaise, sur le plancher.

Il est évident qu'elle dut subir une perte momentanée de connaissance, suffisante toutefois pour lui faire perdre l'équilibre, fait auquel elle doit peut-être son salut.

La chute permit, en effet, la rupture du circuit qu'elle formait avec la terre, soit en provoquant la sortie des pieds de l'eau, soit en faisant tendre le fil torsadé qui perdit le contact du bras ».

Discussion

Si nous considérons le tableau (V) montrant l'influence de la surface de contact sur la résistance et le tableau (VI) montrant l'influence de l'état d'humidité, nous devons admettre que la résistance de M^me^ C... était abaissée à l'extrême et que l'intensité du courant qui l'a traversée a du être considérable, certainement mortelle.

Nous avons essayé de nous rendre compte approximativement de cette intensité en nous plaçant, autant que possible, dans les conditions de l'expérience.

Ne connaissant pas la valeur de la surface en contact avec la poignée et le cordon de la sonnette, nous l'avons considérée dans notre expérience aussi petite que possible, 1 cm². Cette hypothèse est évidemment défavorable à notre raisonnement. Nos chiffres ne seront que plus démonstratifs.

Le sujet soumis à l'expérience était branché par l'intermédiaire d'une résistance de protection réglable à volonté sous une tension de 120 volts, 50 périodes.

Il trempait successivement deux doigts, la main, puis l'avant-bras droit dans une grande cuvette remplie d'eau chaude à 35° en communication avec une des bornes du réseau, en appuyant avec l'extrémité d'un doigt de la main gauche (1 cm² de surface en contact) sur un conducteur métallique relié à l'autre borne.

Avec un circuit ainsi constitué, nous avons mesuré la résistance de la personne soumise à l'expérience en nous servant de la méthode que nous avons précédemment exposée.

Voici les nombres que nous avons obtenus :

RÉSISTANCE variable R ohms	SCHUNT ohms	SURFACES EN CONTACT	RÉSISTANCE humaine ohms	INTENSITÉ Ampères	OBSERVATIONS
40.000	28	Extrémité d'un doigt, S = 1 cm² au contact d'une électrode. Deux doigts dans l'eau fermant le circuit.	23.000	0,00190	Sensation peu appréciable.
40.000	28	Extrémité d'un doigt S = 1 cm² au contact d'une électrode. La main dans l'eau fermant le circuit.	22.000	0,00193	id.

RÉSISTANCE variable R ohms	SCHUNT ohms	SURFACES EN CONTACT	RÉSISTANCE humaine ohms	INTENSITÉ Ampères	OBSERVATIONS
40.000	28	Extrémité d'un doigt S = 1 cm² au contact d'une électrode. L'avant-bras dans l'eau fermant le circuit.	19.000	0,0020	Sensation peu appréciable
25.000	30	Extrémité d'un doigt S = 1 cm² au contact d'une électrode. Deux doigts dans l'eau fermant le circuit.	16.500	0,0028	Douleur légère surtout accusée à l'extrémité du doigt touchant le conducteur.
25.000	26	Extrémité d'un doigt S = 1 cm² au contact d'une éléctrode. L'avant-bras dans l'eau fermant le circuit.	12.000	0,0032	id.
15.000	16	Extrémité d'un doigt S = 1 cm² au contact d'une électrode. Deux doigts dans l'eau fermant le circuit.	10.500	0,0047	Douleurs à peu près intolérables à l'extrémité du doigt en contact avec le conducteur. Sensation de brûlure. Grande densité de courant.
15.000	16	Extrémité d'un doigt S = 1 cm² au contact d'une électrode. L'avant-bras dans l'eau fermant le circuit.	3.000	0,0066	id.

La résistance d'une personne supposée hors de l'eau, ne plongeant que l'avant-bras dans la baignoire et communiquant avec la poignée par 1 cm² de surface, sous une tension de 110 volts, n'est donc pas supérieure à 3.000 ohms (dans les conditions de résistance maxima elle serait traversée en effet par un courant égal à $\frac{110}{19000} = 0{,}006$) amp.

Si l'on applique une tension de 110 volts aux extrémités d'un conducteur de 3.000 ohms de résistance, le courant qui traverse le conducteur est de

$$\frac{110}{3000} = 0{,}036 \text{ amp.}$$

D'après nos recherches, nous savons :

1° Que la personne traversée par un courant de 0 amp. 036 ne peut plus lâcher les électrodes.

2° Que la résistance diminuant dans de grandes proportions lorsque la surface augmente (tableau V), la personne plongée dans l'eau jusqu'aux aisselles abaisse sa résistance d'au moins de moitié, soit ici 1.500 ohms et sous 110 volts.

$$I = \frac{110}{1500} = 0{,}072 \text{ amp.}$$

Intensité que nous considérons comme mortelle.

Si nous tenons compte de la diminution de la résistance avec l'intensité et la durée de passage du courant (tableau IV), nous devons admettre que l'intensité du courant qui a traversé le corps de Mme C... a atteint environ 100 milliampères.

OBSERVATION II

Due à l'obligeance de M. le Professeur LECLERCQ

« L'ouvrier B..., qui jouissait d'une excellente santé, était chargé d'effectuer tous les huit jours, à la station électrique de X.., le nettoyage de « l'aspirateur de cendres » des foyers de l'usine. Les cendres sont aspirées par un puissant ventilateur et humidifiées par un procédé spécial d'arrosage.

Lorsque les cendres ont été évacuées, l'ouvrier pénètre dans la cuve par un trou d'homme supérieur et nettoye une tôle perforée couverte de dépôts boueux.

Le 30 juillet, vers 8 h. 1/2 du matin, B... entre dans le réservoir par le trou d'homme pour terminer le travail qu'il venait d'interrompre pour déjeuner.

Vers 8 h. 50, comme il ne répondait pas aux appels d'un camarade, on monte dans l'appareil et on le trouve inanimé, étendu sur le dos non loin du trou d'homme.

Le Docteur X..., commis dans cette affaire, après autopsie conclut que B... est mort asphyxié et que le décès est vraisemblablement dû à l'oxyde de carbone.

Or, le 25 novembre, M. le Professeur Vallée, Professeur de Toxicologie à la Faculté de Médecine de Lille, M. Bazoche, Ingénieur, et M. le Professeur agrégé Leclercq, commis dans cette affaire, par une ordonnance de référé de M. le Président du tribunal civil, en qualité d'experts, concluent dans leur rapport, après une longue et minutieuse enquête : . . . . . .

. . . . . .

« Il résulte de cet ensemble de constatations que la mort de B... ne peut être attribuée ni à une intoxication par l'oxyde de carbone, ni à une asphyxie par l'acide carbonique.

L'état de fonctionnement de l'aspirateur de cendres, l'analyse chimique des prélèvements de gaz effectués dans l'appareil, l'examen spectroscopique du sang prélevé sur le cadavre le prouvent d'une façon indiscutable.

Par contre, les constatations faites au cours des recherches sur

place, ont permis d'établir que la lampe électrique dont se servait l'ouvrier pour s'éclairer au cours du travail pouvait permettre, dans certaines conditions, le passage à travers le corps de ce dernier d'un courant de 127 volts.

En effet, l'ouvrier B... disposait pour s'éclairer au cours de son travail, d'une lampe à incandescence portative, type « Culot Édison à vis » à 220 volts en usage à l'usine.

A trois reprises différentes, le chef mécanicien qui orientait nos recherches et tenait à la main et par le culot cette lampe portative, ressentit une commotion électrique.

C'est donc que dans certaines positions, la lampe pouvait être à la masse et constituer un danger.

La lampe peut être en effet à la masse du fait d'un fil conducteur dénudé à son point de pénétration dans le culot, ou encore du fait d'un contact de l'un des conducteurs avec la bague extérieure.

Il est possible aussi que l'un des deux fils conducteurs de la lampe se soit trouvé dénudé en une région qui ait pu toucher le bord du trou d'homme du réservoir (la vérification de ce qui précède n'a pu être opérée, du fait que la lampe dont se servait B... a été brisée par D... lorsqu'il pénétra dans le réservoir pour secourir son camarade et que les deux fils conducteurs desservant cette lampe n'ont pu être retrouvés).

D'autre part, l'autopsie a permis de découvrir à la face antérieure du poignet droit des *traces de brûlures* intéressant l'épaisseur du derme. A la partie antéro-inférieure de l'avant-bras droit, à 2 centimètres au-dessus de l'interligne articulaire du poignet, on trouve une petite plaque parcheminée, transversale de 1 centimètre de longueur sur 6 m/m de largeur, intéressant toute l'épaisseur du derme avec suffusion sanguine sous-jacente. A 2 centimètres au-dessus de cette première lésion, on trouve une plaque identique, un peu plus oblique, en dedans, de 6 m/m de largeur et 2 cm. 1/2 de longueur. Elle présente les mêmes caractères anatomiques.

De plus, l'autopsie a établi qu'il existait *dans le larynx et dans les bronches* de l'ouvrier un bol alimentaire et des débris d'aliments qui avaient obstrué complètement les voies respiratoires supérieures et avaient amené la mort par asphyxie.

Or, un courant de 127 volts est capable, dans certaines conditions, d'entraîner la mort soit en agissant directement sur le cœur, qui cesse de battre, soit *en provoquant l'obstruction des voies respiratoires par les régurgitations qui se produisent à la suite des contractions qu'il entraîne des muscles et en particulier, du diaphragme.*

C'est cette dernière cause qui est intervenue dans l'accident dont B... a été victime. »

Discussion

Cette observation détaillée nous montre la difficulté que l'on rencontre parfois pour établir l'existence de l'accident électrique. Des expériences précédentes il résulte que la résistance du corps humain devient très faible dès qu'intervient l'humidité et la surface de contact (tableaux V et VI).

L'ouvrier en sandales, sur une grille recouverte de dépôts boueux, travaillant dans l'humidité chaude depuis un moment était dans des conditions favorables à l'électrocution. Sa résistance était abaissée à l'extrême et l'intensité du courant qui l'a traversé a dû être considérable.

Nous pourrions, à l'aide des résultats que nous avons consignés dans ce travail, déterminer la résistance probable du corps d'une personne qui se trouverait placée dans les conditions de l'ouvrier B... au moment de l'accident.

Pour donner une base plus solide à notre discussion, nous avons préféré faire des mesures directes pour l'examen de ce cas particulier en nous plaçant, autant que possible, dans les conditions de l'accident.

Le sujet soumis à l'expérience était branché par

l'intermédiaire d'une résistance de protection réglable à volonté sous une tension de 120 volts, 50 périodes.

Les pieds chaussés de sandales humidifiées avec de l'eau ordinaire reposaient sur une plaque métallique en communication avec une des bornes du réseau, l'autre borne était reliée par l'intermédiaire d'un culot de lampe de 220 volts, à la main légèrement humide du sujet.

Avec un circuit ainsi constitué, nous avons mesuré la résistance de la personne soumise à l'expérience en nous servant de la méthode que nous avons précédemment exposée.

Voici les nombres que nous avons obtenus :

Résistance variable R Ohms	Schunt Ohms	Résistance humaine Ohms	Intensité Ampères	OBSERVATIONS
100.000	80	2.500	0,0011	Sensation peu appréciable.
75.000	80	2.600	0,0015	id.
50.000	54	2.400	0,0022	id.
35.000	30	2.200	0,0032	id.
30.000	30	2.100	0,0037	id.
25.000	25	2.400	0,0043	id.
20.000	20	2.000	0,0054	id.
17.000	15	1.920	0,0063	On perçoit des fourmillements à la main et aux pieds.
16.000	10	1.900	0,0067	On lâche difficilement et la douleur empêche de poursuivre plus loin l'expérience.
15.000	10	1.850	0,0071	

Il est donc possible d'affirmer qu'au moment de l'accident, la résistance du corps de l'ouvrier B... n'était pas supérieure à 1.850 ohms (dans les conditions de résistance maxima il aurait été traversé, en effet, par un courant supérieur à 7 milliampères).

Si on applique une tension de 127 volts aux extrémités d'un conducteur de 1.850 ohms, le courant qui traverse le conducteur est de $\frac{127}{1850} = 0{,}068$ amp.

courant que nous pouvons considérer comme mortel.

De plus, si nous tenons compte de la diminution de la résistance avec l'intensité et de la durée de passage du courant (tableau IV), nous pouvons affirmer que le minimum d'intensité mortel a été dépassé d'au moins 20 milliampères.

OBSERVATION III

Rapportée par Brouardel, dans son livre : Les blessures et les accidents du travail.

« Vers 6 heures du soir, un homme était entré dans le bouilleur d'une chaudière pour en effectuer le nettoyage, il était muni d'une lampe électrique dite *balladeuse* ; au bout de quelques minutes, le chef d'atelier l'appela et ne recevant pas de réponse, il pénétra à son tour dans le bouilleur et trouva l'ouvrier mort, sans raideur musculaire, à côté de la lampe qui continuait à brûler.

L'autopsie fut faite par le Docteur Soquet, sept jours après l'accident ; la putréfaction était très avancée et il ne trouva aucune lésion expliquant la mort.

La veuve prétendit que la mort de son mari était due à l'électricité alimentant la lampe et l'on me commit comme expert. Je

demandai que l'on m'adjoignit M. d'Arsonval, et nous avons montré que le courant qui alimentait la lampe incriminée ne pouvait être mis en cause, car le fonctionnement de la lampe était resté normal et elle marchait avec un courant de 110 volts, insuffisant pour produire un désordre quelconque, même s'il avait traversé le corps de l'ouvrier.

Nous devons donc simplement déclarer que si le courant électrique avait atteint l'ouvrier, il n'aurait pu provoquer qu'une secousse sans importance pour la santé de celui-ci ; qu'en tout cas, son *intensité* ! était insuffisante pour déterminer la mort ! »

Le Docteur Chapuis conclut dans son travail : « Là encore l'électricité a été la cause de la mort.

L'ouvrier n'était pas malade avant l'accident ; il travaillait nu dans une chaudière, appuyé contre les parois et tenant une lampe balladeuse, il meurt subitement ; l'absence de lésions à l'autopsie, le faible voltage du courant ne peuvent suffire à exclure la possibilité d'une électrocution. La résistance de l'ouvrier en sueur et nu était abaissée à l'extrême et l'intensité du courant qui a pu le traverser a dû s'élever à 100 milliampères environ. »

MM. Balthazard, Zimmern et Langlois rapportent, dans une communication récente à l'Académie de Médecine, l'observation identique d'un ouvrier électrocuté par un courant de 130 volts alors qu'il travaillait dans une chaudière tenant à la main une lampe dite « balladeuse ».

M. le Professeur Leclercq observe en 1921 un accident analogue. A l'autopsie, comme dans l'observation N° 2, il trouve encore un bol alimentaire et des débris d'aliments dans le larynx et les bronches.

Il conclut : Contraction des muscles, en particulier du diaphragme, sous l'influence du courant, régurgitations et asphyxie consécutive.

L'accident électrique est indéniable et toutes ces observations ont avec l'observation N° 2 de nombreux points communs.

1° Grande surface de contact.

2° État d'humidité de ces surfaces.

3° Sueurs et contacts excellents.

La tension est peu élevée, 120-130 volts, mais la résistance est faible. L'électrocution est fatale.

CONCLUSIONS

Les nombreuses mesures de résistance du corps humain effectuées au cours de ce travail, montrent que cette résistance peut varier dans des limites très étendues et qu'un grand nombre de facteurs interviennent à des degrés divers dans cette variation.

Trois de ces facteurs semblent jouer un rôle prépondérant dans les phénomènes de l'électrocution : ce sont les surfaces de contact, l'état de ces surfaces et l'intensité du courant.

Dans certains cas, cette résistance peut s'abaisser dans des proportions considérables et l'accident électrique est alors possible même sous de basses tensions.

Le médecin légiste ne doit pas écarter à priori la possibilité de l'accident provoqué par le courant du fait de la basse tension. On doit, en présence d'un cas de ce genre, rechercher d'une façon minutieuse les conditions dans lesquelles l'accident s'est produit et appliquer ensuite la méthode que nous avons décrite à propos de l'observation de M. le Professeur Leclercq.

Il sera toujours possible à l'expert qui se placera sur le terrain solide que nous avons indiqué, de formuler des conclusions fermes et de retenir ou d'écarter l'accident électrique d'une manière indiscutable.

Au cours de l'autopsie, le médecin légiste devra

toujours songer au mécanisme décrit pour la première fois par M. le Professeur Leclercq : Le passage du courant provoque des contractures de tous les muscles et en particulier du diaphragme. Sous l'influence de ces contractures se produisent des régurgitations qui sont susceptibles d'obstruer les voies respiratoires et d'amener une mort rapide par asphyxie mécanique.

Vu :
Le Président de la Thèse,
C. DUBOIS.

Vu :
Le Doyen de la Faculté,
CHARMEIL.

Vu et Permis d'imprimer :
Le Recteur de l'Académie,
G. LYON.

BIBLIOGRAPHIE

CASTEX. — *Nouveau Montpellier Médical*, 1892.

PRÉVOST ET BATTELLI. — *Journal de Physiologie et de Pathologie générale*, 1899-1900.

PRÉVOST ET BATTELLI. — *Compte Rendu à l'Académie des Sciences*, 13 mars 1899.

D'ARSONVAL. — *Société de Biologie*, 20 décembre 1884.

D'ARSONVAL. — *Compte Rendu à l'Académie des Sciences*, 4 avril 1887, page 178 ; 21 mai 1899, page 1139.

JELLINECK. — *Electro-Pathologie*, Stuttgart, 1903.

KAMMERER. — *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, juin-juillet 1904.

ZACON. — *Dangers des courants électriques*, 1909.

MONMERQUÉ. — *Contrôle des installations électriques*. 1909.

WEISS. — *Rapport sur les dangers des courants électriques. C. R. Académie des Sciences.*

BALTHAZARD. — *Traité de Médecine légale.*

BROUARDEL. — *Les blessures et les accidents du travail.*

FLEURY. — *Bulletin de la Société de Médecine légale de France*, année 1913, 2e Série, tome X.

LUTAUD. — *Bulletin de la Société de Médecine légale de France*, année 1913, 2e Série, tome X.

Annales d'Hygiène et de Médecine légale, tome XIII.

Bulletin de la Société Internationale des Electriciens, 3e série, tome No VIII.

BECQ. — *Applications industrielles de l'Electricité.*

CHAPUIS. — *Thèse inaugurale*, Paris, année 1919.

Presse Médicale, janvier 1920.

Revue d'Electricité. — Novembre 1920 (Documentation).

Revue d'Electricité, janvier 1921.

Jaeger H. — *Statistische gesetzmässigkeiten des elektrischen unfalles, statistick der amtlich gemeldten Unfälle in der schweitz von* 1904-1920, Berlin 1921.

Balthazard. — *Bulletin de l'Académie de Médecine*, Paris 1922, page 155.

D'Halluin. — *Bulletin de l'Académie de Médecine*, Paris 1922, page 335.

Langlois. — *Bulletin de l'Académie de Médecine*, Paris 1922, page 158.

Balthazard. — *Paris Médical*, N° 42, octobre 1922.

Zimmern A. — *Médecine-Paris*, 1921-1922, page 684-689.

Battelli F. et Stern L. — *Compte Rendu Société de Biologie*, Paris 1922, page 920.

1165

LILLE, IMP. CAMILLE ROBBA 20625