

1° *A basse fréquence et à bas potentiel*, son passage à travers l'organisme n'est pas senti, mais il augmente néanmoins considérablement les échanges nutritifs;

2° *A fréquence et à potentiel moyens*, il fait contracter violemment tous les muscles, tant à fibres lisses qu'à fibres striées, et cela sans douleur.

En augmentant le potentiel, comme on le fait dans l'industrie, on a des courants qui *semblent* donner la mort, courants que les Américains ont utilisés dans ce but pour l'exécution des criminels. J'ai montré que dans ce cas la mort n'est le plus souvent *qu'apparente*, étant due à une simple inhibition de la respiration. J'ai ramené les animaux foudroyés à la vie en pratiquant la respiration artificielle. Il en est de même pour l'homme, ainsi que l'ont montré les Américains eux-mêmes, qui ont pu ressusciter, à leur grand étonnement, plusieurs de leurs criminels *électrocutés*, en se conformant à mes indications.

3° *Enfin à fréquence et à potentiel très élevés*, les courants alternatifs sinusoïdaux donnent naissance à des phénomènes si inattendus et si merveilleux que je crois devoir les signaler un peu plus longuement en raison même des espérances légitimes que la thérapeutique peut fonder sur leur emploi.

Nous avons vu qu'avec des ondes sinusoïdales très étalées, le nerf et le muscle ne sont pas excités; il n'y a, dans ce cas, ni douleur, ni contraction musculaire, et le passage du courant s'accuse néanmoins par des modifications profondes de la nutrition, se traduisant par une absorption plus grande d'oxygène et une production plus considérable d'acide carbonique. En changeant la forme de l'onde, chaque onde électrique produira une secousse musculaire. En augmentant leur nombre non seulement le nombre des secousses ira en augmentant, mais les diverses contractions iront en se fusionnant de plus en plus, jusqu'au moment où le muscle restera en contraction permanente. Le muscle est alors tétanisé, il faut pour cela de 20 à 50 excitations à la seconde pour les muscles de l'homme. Lorsque le muscle est tétanisé, si l'on augmente le nombre des ondes, on augmente également l'intensité des phénomènes d'excitation, mais cela n'a pas lieu indéfiniment comme on serait tenté de le croire. A partir d'un maximum qui a lieu entre 2500 et 5000 excitations par seconde, on voit, au contraire, les phénomènes d'excitation décroître avec le nombre des oscillations électriques d'une façon indéfinie. Il en résulte ce phénomène surprenant qu'avec des oscillations suffisamment

concerne les plus récentes publications de l'auteur, Voy. notamment : Relations entre la forme de l'excitation électrique et la réaction névromusculaire, au double point de vue de la physiologie et de la thérapeutique (*Arch. de physiol.*, 1<sup>er</sup> janvier 1889); Recherches d'électrothérapie, la Voltatisation sinusoïdale (*Arch. de physiol.*, 1<sup>er</sup> janvier 1892); Effets physiologiques de la voltatisation sinusoïdale (*Arch. de physiol.*, avril 1895); Sur les effets physiologiques de l'état variable en général et des courants alternatifs en particulier (*Soc. franç. de phys.*, 20 avril 1892). L'auto-conduction ou nouvelle méthode d'électrisation des êtres vivants; mesures des champs magnétiques de grande fréquence (*Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, 5 juillet 1895).

rapides on peut faire passer à travers l'organisme des courants qui ne sont nullement perçus, alors qu'ils seraient foudroyants si l'on abaissait la fréquence. J'avais pressenti ce résultat dès 1888, au cours de mes recherches sur la bobine d'induction, mais je ne pus en donner une première démonstration que dans mon cours du Collège de France (1889-1890), en employant l'alternateur que je vais décrire. Je vis alors clairement que l'excitation diminuait avec la fréquence, mais je ne pus supprimer complètement tout phénomène d'excitation avec l'alternateur en question. Je n'atteignis ce résultat qu'en décembre 1890, en substituant à ma machine, qui ne pouvait guère donner plus de 10000 excitations par seconde, l'admirable appareil que le docteur Hertz venait de combiner et qui peut donner plusieurs *billions* d'excitations électriques dans une seconde. Je communiquai ce fait à la Société de biologie les 24 février et 25 avril 1891, antérieurement, par conséquent, à la première publication, faite par M. Tesla, le 25 mai 1891, à New-York.

PRODUCTION DES COURANTS PÉRIODIQUES. — J'ai employé trois dispositifs différents pour produire des ondes périodiques : 1° la bobine d'induction dite bobine de Ruhmkorff; 2° un alternateur sans fer dont le dispositif principal a été indiqué par M. Gramme en 1870; 3° la décharge oscillante des condensateurs.

1° *Bobine*. — De la bobine, je dirai peu de chose, sinon que c'est un instrument des plus infidèles avec lequel on peut à peine espérer atteindre 2000 excitations par seconde, qu'on emploie comme interrupteur soit le trembleur, soit un interrupteur automatique. Cela tient à la présence du fer doux du noyau qui, s'il se désaimante rapidement, demande, au contraire, un temps assez long pour s'aimanter; ce temps d'aimantation limite rapidement le nombre des ondes qu'on peut obtenir; les ondes dues à l'aimantation sont, en outre, très différentes de celles que produit la désaimantation. De plus, la forme de ces ondes est inconnue et change lorsqu'on veut augmenter leur nombre.

2° *Alternateur*. — Il faut donc rejeter complètement tous les appareils dans lesquels les courants sont produits par les variations d'aimantation du fer. Ce résultat est obtenu avec l'appareil suivant : il se compose d'un inducteur et d'un induit. L'inducteur est formé d'une bobine cylindrique en fer, munie de deux grandes joues en fer, de 50 centimètres de diamètre. Cette bobine peut tourner rapidement autour de son axe monté sur pointes. Autour de l'axe est roulé un fil de cuivre isolé qui, traversé par un courant constant, polarise une des joues nord et l'autre sud. A la face interne des joues, et près de leurs bords, sont implantées cent chevilles en fer, qui se font vis-à-vis deux à deux, en laissant entre chaque couple nord-sud un petit espace libre de 1 centimètre environ. Dans cet espace libre, on maintient, au moyen d'un support fixe, une petite bobine circulaire *sans fer*, ayant la forme d'une galette, constituant le circuit induit. En mettant la grosse bobine en mouvement, chaque paire de pôles qui passe devant la bobine fixe y induit une double



onde sinusoïdale dont on gradue l'énergie, pour une même vitesse de rotation, en modifiant l'intensité du courant qui crée le champ magnétique inducteur. Cet appareil permet de modifier, soit le nombre de périodes par seconde, soit la forme de l'onde. Il a le grand avantage de fournir un nombre d'ondes variable sans en altérer la forme. Il suffit, en effet, tout en laissant la vitesse de rotation constante, d'enlever les chevilles polaires de deux en deux pour diminuer le nombre des courants engendrés pendant un tour complet de l'inducteur. Avec une seule paire de chevilles polaires, on n'a qu'une période par tour; avec cent, on en a cent dans le même temps et les ondes produites ont la même forme, puisque les pôles qui passent devant la bobine fixe ont la même valeur et la même aimantation. Avec cet appareil, j'ai pu aller jusqu'à 10000 alternances à la seconde.

3° *Décharge des condensateurs.* — C'est le phénomène utilisé par le docteur Hertz pour produire des ondulations électriques extrêmement rapides. Ce phénomène a été découvert par Feddersen et étudié, il y a près de quarante ans, par Helmholtz et sir W. Thomson, qui en ont donné la loi mathématique. Il consiste en ceci : Si l'on opère la décharge d'une bouteille de Leyde au moyen d'un conducteur, deux cas très différents peuvent se présenter suivant les valeurs relatives de la capacité C, du coefficient de self-induction L et de la résistance R du système. Si l'on a

$R > \sqrt{\frac{4L}{C}}$ , la décharge est continue; dans le cas contraire, elle est

oscillatoire. Dans le cas de la décharge oscillatoire, les oscillations sont isochrones et leur amplitude décroît suivant les termes d'une progression géométrique. Le mouvement d'un liquide dans des vases communicants fait bien comprendre ce qui se passe avec la bouteille de Leyde. Suivant la résistance offerte au mouvement du liquide le niveau reprend sa position d'équilibre ou bien d'une manière lente et sans la dépasser, ou à la suite d'une série d'oscillations, à amplitude décroissante, qui absorbent toute l'énergie par suite des frottements. On peut mesurer la durée et le nombre des oscillations en examinant la décharge au moyen d'un miroir tournant. Lorsque la résistance est négligeable, la durée d'une oscillation est donnée par la formule de Thomson  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  en fonction de la capacité C et de la self-induction L du système.

On peut, par conséquent, donner à T les valeurs les plus différentes en modifiant L et C. Le docteur Hertz a atteint 1 billionième de seconde et M. Lodge a pu abaisser la période oscillatoire jusqu'à faire rendre à la bouteille de Leyde un son musical perceptible à l'oreille. Dans mes premières expériences je me suis servi du vibreur de Hertz; plus tard j'ai employé le dispositif plus puissant signalé par MM. Elihu-Thomson et Tesla. Enfin, dans mes recherches récentes, j'ai trouvé grand avantage à employer exclusivement l'appareil suivant, dont les expériences de M. Lodge, à propos des paratonnerres, m'ont donné l'idée. Soit AA

(fig. 40) les armatures internes de deux bouteilles de Leyde montées en cascade. Ces armatures sont réunies à une source d'électricité à haut potentiel (machine de Holtz, bobine de Ruhmkorff ou transformateur). Les armatures externes BB' sont réunies entre elles par un solénoïde CC' composé d'un gros fil de cuivre faisant 15 à 50 tours. Chaque fois qu'une étincelle part entre AA', un courant oscillant extrêmement énergique prend

naissance dans le solénoïde, à un tel point que, en prenant comme pôles ses extrémités C, C', on obtient un courant qui peut allumer au blanc une forte lampe à incandescence L, tenue entre deux personnes DD'. L'étincelle qu'on obtient entre CC' est beaucoup plus longue que celle qui éclate entre AA'. Cela tient à ce que, dans ce cas, la décharge des armatures extérieures BB' se fait d'une manière soudaine, tandis que celle des armatures intérieures AA' est préparée, la différence de potentiel entre les boules allant en croissant jusqu'à ce que l'étincelle éclate. Dans ces conditions, la résistance du solénoïde CC' joue un rôle secondaire tandis que sa self-induction devient prépondérante.

On peut rapprocher les effets produits par les décharges très brusques, de ceux donnés en mécanique par les forces instantanées. Placez un bloc de coton-poudre sur une plaque d'acier; il brûle lentement si on l'allume; il brise au contraire la plaque si on le fait détoner au moyen du fulminate de mercure. La même énergie pourtant a été mise en jeu dans les deux cas, mais dans le second la pression développée par les gaz est tellement soudaine que la résistance de l'air devient comparable à celle de l'acier. C'est la différence qui existe dans l'appareil décrit ci-dessus entre la pression électrique développée *graduellement* en AA', *soudainement* au contraire en CC' au moment où la bouteille se décharge. Si l'on veut augmenter la tension du courant il suffit de plonger dans le solénoïde une bobine comprenant un plus grand nombre de tours. Cette bobine est logée dans un tube de verre plein d'huile qui l'isole complètement (Voy. fig. 41). On obtient ainsi facilement un torrent d'étincelles de 15 à 20 centimètres de longueur.

Dans les méthodes précédentes le corps humain est mis en communication matérielle avec la source électrique au moyen de conducteurs

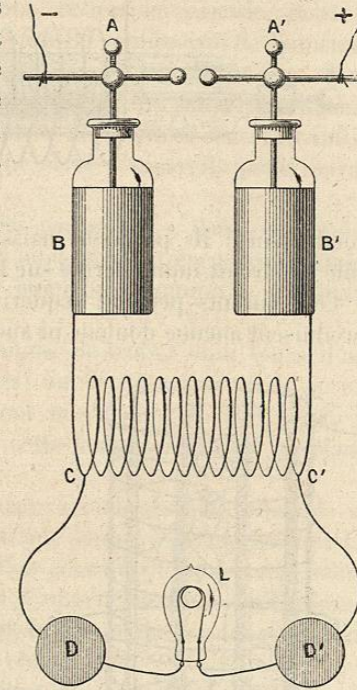


Fig. 40.



appropriés qui constituent les rhéophores. Dans la nouvelle méthode que j'ai décrite sous le nom d'*autoconduction*, il n'en est plus ainsi : l'être en expérience est complètement isolé de la source électrique. Les courants qui circulent dans l'individu ne lui parviennent pas au moyen de

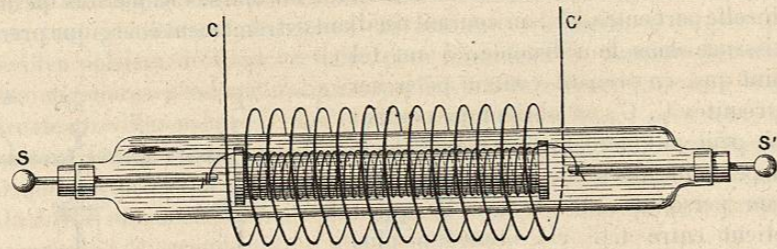


Fig. 41.

conducteurs; ils prennent naissance dans ses propres tissus, jouant le rôle de circuit induit fermé sur lui-même (1).

Ces courants peuvent acquérir une puissance considérable, car ils ne produisent aucune douleur ni aucun phénomène conscient chez l'individu

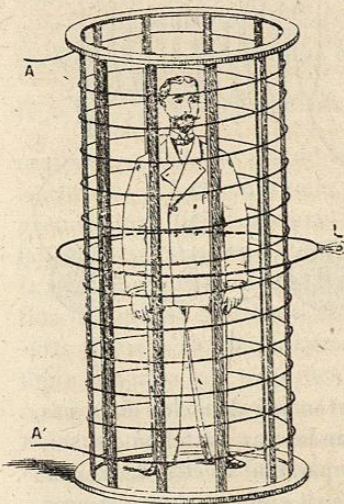


Fig. 42.

qui en est le siège. Ils agissent néanmoins énergiquement sur la vitalité des tissus.

J'obtiens ce résultat en plongeant le sujet tout entier, ou une partie seulement de son corps, dans un champ magnétique oscillant, de très haute fréquence.

Ce champ magnétique alternatif est produit de la façon suivante

(1) Voy. Société de biologie, 4 février 1895.

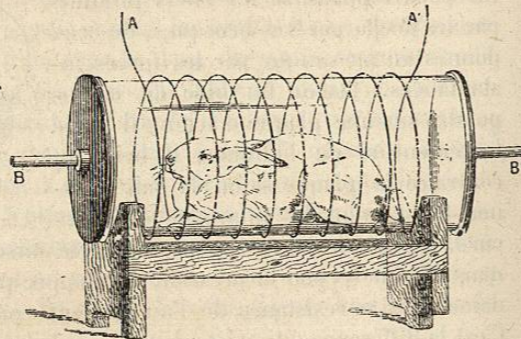


Fig. 43.

(fig. 42 et 43) : sur un cylindre en matière isolante (carton, bois ou verre, suivant les dimensions de l'appareil) est enroulé, en une ou plusieurs couches, un câble à lumière soigneusement isolé. On constitue de la sorte un solénoïde, dans l'intérieur duquel on place le sujet à électriser. Ce solénoïde est traversé par la décharge d'un condensateur, rendue oscillatoire par les procédés décrits ci-dessus.

J'emploie, comme condensateur, de deux à douze bouteilles de Leyde cylindriques, disposées en deux batteries, reliées en cascade, dont la surface couverte a 50 centimètres de haut sur 20 centimètres de diamètre.

La charge est effectuée périodiquement par un transformateur donnant environ 15 000 volts. Ce transformateur est animé par un alternateur pouvant donner, au maximum, un courant de 20 ampères sous 110 volts. J'ai fait disposer par M. Gaiffe toute une série d'appareils pour reproduire facilement ces résultats.

La fréquence est de soixante périodes par seconde. Dans ces conditions, la puissance d'induction du solénoïde, sur tout corps conducteur plongé dans son intérieur, est vraiment étonnante, comme le montrent les expériences suivantes :

1° On plonge dans un solénoïde (composé de trois à cinq tours d'un câble à 10 brins de 8 millimètres carrés) un fil de cuivre roulé en un cercle unique dont les extrémités portent une lampe de 100 bougies, consommant 5 ampères sous 110 volts; cette lampe est portée au blanc éblouissant :

2° Un homme arrondit ses bras de façon à embrasser le solénoïde et tient dans chaque main les extrémités d'une lampe à incandescence. Le circuit formé par les bras est le siège d'un courant induit assez puissant pour allumer cette lampe qui prend 1/10 d'ampère environ. On diminue, autant que possible, la résistance de la peau des mains, en les plongeant dans deux vases contenant de l'eau salée chaude.

L'alternateur peut être remplacé par une puissante bobine de Ruhmkorff qu'animent des accumulateurs pour opérer la charge périodique du condensateur. Les effets sont naturellement moins puissants, mais ce dispositif suffit néanmoins pour mettre en évidence la puissance d'induction du champ magnétique et son action sur l'organisme.

Pour mesurer la puissance de champs magnétiques de cette fréquence, j'ai complètement échoué avec toutes les méthodes de mesure usitées pour les basses fréquences. Cette mesure était essentielle dans mes recherches, pour pouvoir me placer toujours dans des conditions identiques. Je suis parvenu à l'effectuer très simplement en utilisant les courants de Foucault, de la manière suivante :

Dans un petit solénoïde, relié en série au grand qui contient l'animal, je plonge un thermomètre à mercure. Le mercure est le siège de courants de Foucault qui l'échauffent très rapidement. Avec quatre jarres, la température du thermomètre s'élève à plus de 150 degrés en quelques secondes.