

XX

ACTION PHYSIOLOGIQUE DES COURANTS ALTERNATIFS A GRANDE FRÉQUENCE

Par M. A. D'ARSONVAL

Dans des travaux antérieurs j'ai fait connaître l'action physiologique des courants alternatifs de forme sinusoïdale à basse fréquence. J'ai montré également, dans le cas d'une excitation unique, l'influence capitale de la forme de l'onde électrique que j'ai appelée *Caractéristique de l'excitation*. J'ai poursuivi ces recherches systématiquement sur les effets de l'électricité en me demandant ce que deviennent les phénomènes d'excitation neuro-musculaire lorsqu'on augmente indéfiniment le nombre des oscillations électriques dans l'unité de temps. Le présent travail a pour but de résumer les phénomènes que j'ai pu jusqu'ici constater en excitant les tissus par des courants à fréquence graduellement croissante. 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 30 excitations à la seconde pour les muscles de l'homme. Lorsque le muscle est tétanisé, si 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 2,500 et 5,000 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 rapides on peut faire passer à travers l'organisme des courants qui ne sont nullement perçus, alors qu'ils seraient foudroyants si 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 (1889-90), 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 10,000 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.

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 2,000 excitations par seconde, que l'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'induc-

teur 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 leur bord, 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 2 en 2 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 100, on en a 100 dans le même temps et les ondes produites ont la même forme, puisque les pôles qui passent devant la bobine fixe, ont la même vitesse et la même aimantation. Avec cet appareil, j'ai pu aller jusqu'à 10,000 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 plus de 40 ans, par Helmholtz et sir W. Thomson, qui en ont donné la loi mathématique. Il consiste en ceci : Si 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 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 communiquants 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 $T = 2\pi \sqrt{L \cdot C}$ 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

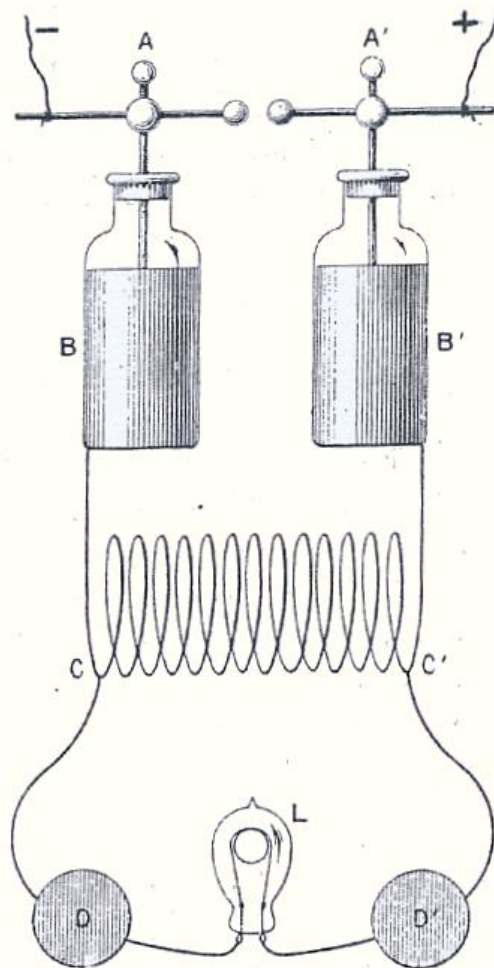


Fig. 1.

en modifiant L et C . Le docteur Hertz a atteint 1 billionième de seconde, et mon ami, M. Potier, 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. 1) les arma-

tures internes de deux bouteilles de Leyde montées en cascade. Les 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 20 tours. Chaque fois qu'une étincelle part entre AA', un courant oscillant extrêmement énergétique prend naissance dans le solénoïde, à tel point qu'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, ainsi que le fait remarquer très judicieusement M. Joubert. 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' du 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 (*fig. 2*), qui l'isole complètement. On obtient ainsi facilement un torrent d'étincelles de 15 à 20 centimètres de longueur.

Effets physiologiques des courants à haute fréquence. — On peut utiliser de deux façons différentes les courants ainsi obtenus: 1° soit en leur faisant traverser *directement* les tissus qu'on veut soumettre à leur action; 2° soit en plongeant ces tissus dans *l'intérieur* du solénoïde, mais sans aucune communication avec lui.

Dans ce second cas les tissus placés dans le solénoïde sont le siège de courants induits extrêmement énergiques, grâce à la fréquence de la source électrique. Ils se comportent comme des conducteurs fermés sur eux-mêmes et sont parcourus par des courants d'induc-

tion d'un grande intensité. Au point de vue physiologique, les effets obtenus sont sensiblement les mêmes dans les deux cas. Voici les principaux : 1° Action nulle sur la sensibilité générale et sur la contractilité musculaire. C'est le phénomène le plus frappant. On a des courants capables de porter à l'incandescence une série de lampes électriques. Ces lampes placées entre deux personnes DD' (*fig. 1*), complétant le circuit s'allument sans que l'on ressent aucune impression sensorielle. Si le courant est très fort on éprouve simplement un peu de chaleur aux points d'entrée et de sortie du courant. J'ai pu faire traverser mon corps par des courants de plus de *trois mille* milliam-pères, alors que des courants d'une intensité dix fois moindre seraient extrêmement dangereux si la fréquence, au lieu d'être de 500,000 à 1 million par seconde, était abaissée à cent, comme cela a lieu pour les courants alternatifs industriels.

On s'est beaucoup inquiété de l'explication à donner de ce résultat paradoxal que j'ai le premier signalé dans mes Leçons du Collège de France (1890) et à la Société de Biologie (24 février, 25 avril et 2 mai 1891) (1). — Dans mes communications à la Société de Biologie j'avais émis deux hypothèses : 1° ou bien ces courants, à cause de leur énorme fréquence, passent exclusivement à la surface du corps; (on sait en effet que les courants à grande fréquence ne *pénètrent pas* et s'écoulent à la surface des conducteurs comme le fait l'électricité statique); ou bien 2° les nerfs sensitifs et moteurs sont organisés pour répondre seulement à des vibrations de fréquence déterminée. C'est ce que nous voyons, par exemple, pour le nerf optique dont les terminaisons sont aveugles pour les ondulations de l'éther d'une période *inférieure* à 497 billions parsecon de (rouge) et *supérieure* à 728 billions par seconde (violet).

Le nerf acoustique se trouve dans le même cas pour les vibrations sonores. En deçà et au delà de certaines périodes vibratoires, les sons musicaux n'existent plus et l'oreille reste insensible à ces excitations. On verra ci-dessous que le corps humain ne se comporte pas comme un conducteur métallique. Les courants à haute fréquence, au lieu de s'écouler par la surface du corps, pénètrent dans l'organisme et vont influencer des centres nerveux profondément situés, soit directement, soit en produisant des courants induits. Que ces excitations soient directes ou induites, la somme d'énergie qui traverse l'organisme reste la même. Et la conclusion est la même dans les deux cas. En employant un courant à haute fréquence, l'organisme est traversé, sans manifester aucune réaction, par des

¹ Voir *l'Industrie électrique* (25 avril 1892), *la Lumière électrique* (16 avril 1892) et *l'Électricien* (16 avril 1872).

courants dont l'énergie le détruirait si la fréquence était abaissée. On peut expliquer cette innocuité par l'absence d'excitation ou mieux encore en admettant que ces courants exercent sur les centres nerveux et sur les muscles cette action particulière si remarquable étudiée par M. Brown-Séguard sous le nom d'*inhibition*. L'expérience démontre en effet de la manière la plus frappante cette action inhibitoire des courants à haute fréquence, comme nous allons le voir :

1° Les tissus traversés par ces courants deviennent rapidement *moins excitable*s aux excitants ordinaires. Cette diminution se traduit même par une *analgésie* remarquable qui frappe les points par où le courant pénètre dans le corps. Cette analgésie persiste, suivant les cas et les sujets, de une à vingt minutes ;

2° le système nerveux vaso-moteur est fortement influencé .Si l'on

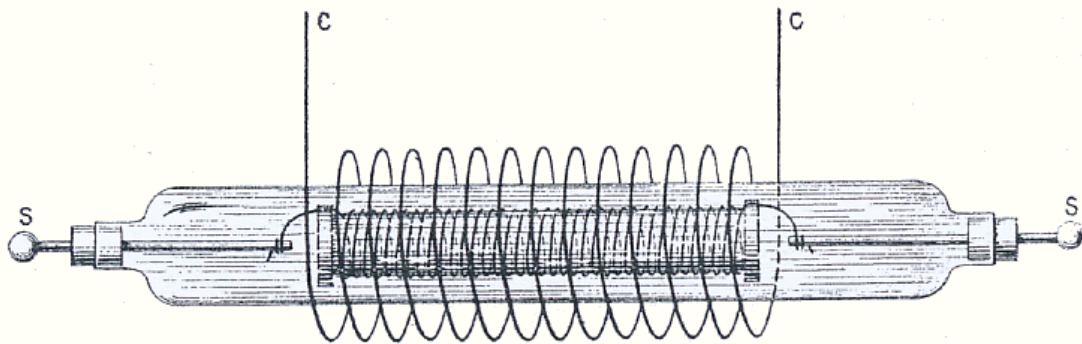


Fig. 2.

place par exemple un manomètre à mercure dans la carotide d'un chien, on voit la pression artérielle tomber de plusieurs centimètres sous l'influence de ce genre d'électrisation. On peut constater le même phénomène chez l'homme à l'aide du sphygmographe de Marey. Il y a donc inhibition manifeste du système nerveux vaso-moteur en dehors de toute sensation consciente. Ce fait prouve que les courants à haute fréquence pénètrent profondément dans l'organisme, comme je l'affirmais plus haut ;

3° En continuant un temps assez long, on voit, chez l'homme, la peau se vasculariser et se couvrir de sueur, conséquence naturelle de l'action sur les vaso-moteurs. On arrive au même résultat en plaçant le sujet sur un tabouret isolant en communication avec une des piles de la bobine à haut potentiel (*fig. 2*), le second pôle étant en communication avec une plaque métallique isolée supportée à une certaine distance de la tête. Le sujet est soumis de la sorte à l'action d'un champ électrique oscillant ;

4° En soumettant un animal entier à ces courants, soit directement, soit en le plongeant dans le solénoïde, on constate une augmentation dans l'intensité des combustions respiratoires. Le thermomètre

montre qu'il n'y a pas élévation de la température centrale. L'excès de chaleur produit est perdu par rayonnement et évaporation, ainsi qu'on le constate (en plaçant l'animal dans un des calorimètres que j'ai décrits antérieurement dans ce recueil (année 1890);

5° Pour étudier l'action de ces courants sur la cellule vivante, j'ai employé la levure de bière, et, en collaboration avec M. Charrin, le bacille pyocyanique. Ces dernières recherches feront l'objet d'un prochain mémoire. — Des recherches cliniques sont entreprises également de divers côtés, à mon instigation.

Les résultats que je viens de signaler brièvement, et ceux déjà obtenus en clinique me donnent le droit d'espérer que nous possédons dans ces diverses modalités de l'énergie électrique, des ressources thérapeutiques considérables. Depuis longues années, j'étudie l'action des agents physiques sur les phénomènes de la vie et j'espère que ces expériences serviront à démontrer objectivement que l'alliance de la physique et de la physiologie permet aujourd'hui de constituer, sous le nom de *Physique biologique*, une science bien autonome.
