

changement ; car, ce qui est capital, c'est la réaction de l'individu. Sous l'influence du refroidissement, par exemple, les capillaires de la peau se resserrent, les organes profonds reçoivent une plus grande quantité de sang. La fonction sudorale est supprimée, les produits excrémentiels ne sont plus résorbés, la calorification est modifiée. Un trouble, même local, réagit sur tout l'organisme. Brown-Séguard constate que la réfrigération d'une main amène un abaissement thermique de la main du côté opposé. On connaît le retentissement sur le pharynx, le larynx du refroidissement des extrémités. Pasteur, en refroidissant une poule, rend possible l'infection charbonneuse. M. Bouchard démontre que l'abaissement de la température centrale diminue la diapédèse. Ce même savant a fait voir également que sous l'influence d'une réfrigération un peu intense le sang normalement aseptique contenait des germes.

Ces exemples suffisent pour mettre en évidence le rôle des agents extérieurs sur le terrain. Ils expliquent qu'une même cause (le refroidissement, par exemple) agissant sur cent individus à la fois, les résultats soient différents pour chacun. Chaque être réagit contre les actions venues du dehors avec ses moyens de défense propres, selon sa vitalité, selon la sensibilité spéciale de son système nerveux, et s'il devient malade les organes prédisposés seront atteints de préférence. La majorité des individus cependant pourra demeurer indemne, seuls ceux qui étaient en état de débilitation seront touchés ; ils le seront dans leur point de moindre résistance et par les micro-organismes qui seront en eux et qui, eux aussi, agiront selon leur degré de virulence variable d'un sujet à un autre. Ces faits nous permettent de comprendre que, en somme, la maladie soit l'exception, bien que les conditions capables de la faire naître soient réalisées à chaque instant. Ne savons-nous pas d'ailleurs que les expériences entreprises pour reproduire les maladies sous l'influence du refroidissement sans faire intervenir le microbe ont constamment échoué (Heidenhain, Massalongo.)

Ce qu'on a dit du froid peut être dit des autres agents météorologiques, bien que l'action en soit moins facile à démontrer. Ainsi, en éclairant peu à peu la notion ancienne du génie épidémique ⁽¹⁾, on voit que si les acquisitions de la bactériologie, les travaux de physiologie, les recherches de laboratoire de toute nature ont permis d'entrer dans le détail des phénomènes, les connaissances acquises par l'observation séculaire de la médecine ont conservé toute leur valeur. L'interprétation seule a changé.

Il ne faudrait pas croire cependant que les notions nouvelles soient restées sans résultats pratiques. Elles ont, au contraire, singulièrement contribué à montrer le rôle de l'hygiène ; elles permettent de saisir tout le profit que la thérapeutique pourra tirer de ces agents atmosphériques pour la prophylaxie et le traitement des maladies.

⁽¹⁾ CHARRIN, *Semaine médicale*, 1895. — *Revue d'hygiène*, février 1894.

LES AGENTS PHYSIQUES

II

L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ET LA MATIÈRE VIVANTE

Par M. le Professeur d'ARSONVAL

De l'Institut.

Nous vivons dans deux mondes distincts : le monde de la matière et le monde de l'énergie. Les corps simples : carbone, azote, oxygène, hydrogène, etc., dont est composé l'être vivant appartiennent au monde de la matière ; le travail, la chaleur, l'électricité et d'autres manifestations plus compliquées dont cet être vivant est le siège appartiennent au monde de l'énergie. En dehors de l'être vivant, ces deux mondes, qui ont leur histoire et leurs phénomènes distincts, intéressent des sciences différentes : la chimie s'occupe du monde de la matière ; la physique, du monde de l'énergie.

Si ces deux mondes sont distincts, ils sont néanmoins gouvernés par une loi identique : *on ne peut ni créer, ni détruire de la matière ; on ne peut ni créer, ni détruire de l'énergie.*

Il suit de là que le physiologiste qui étudie l'être vivant, que le médecin qui a pour but de rétablir son fonctionnement troublé par la maladie, doivent l'un et l'autre connaître également bien ces deux mondes. Inutile de dire que nous sommes encore loin d'un pareil état de choses ; mais, depuis Lavoisier, nous nous y acheminons graduellement. *La matière est le support de l'énergie, mais en reste distincte.* Une masse d'eau s'écoulant d'une montagne peut mettre en mouvement une usine tout entière dans la vallée. Elle possédait donc une certaine quantité d'énergie. En haut de la montagne l'eau renferme de l'énergie en puissance (énergie potentielle) ; en faisant tourner les turbines dans la vallée, cette énergie potentielle se transforme en énergie mécanique. A sa sortie des turbines, l'eau a exactement toutes les propriétés, *en tant que matière*, qu'elle avait au sommet de la montagne ; le plus habile chimiste ne pourrait trouver la plus petite différence ni dans sa masse, ni dans ses réactions, ni dans sa composition. Une bouteille de Leyde est chargée d'électricité ;

nous réunissons ses deux armatures par un conducteur. Cette décharge donne lieu à des phénomènes lumineux, calorifiques, mécaniques, physiologiques, etc. Après la décharge, rien n'est changé non plus, *au point de vue matériel*, dans la bouteille de Leyde. Un animal est devant nous bien vivant, capable de développer de la chaleur, du travail mécanique et ces mille manifestations que nous appelons vitales; c'est, en un mot, un réservoir d'énergie à l'état potentiel. Un physiologiste, avec une pointe d'aiguille, touche un point du système nerveux: le nœud vital, et subitement cet être s'effondre. Rien n'est changé en lui, en tant que matière, et pourtant il n'est plus qu'un corps inerte, un cadavre privé de toute énergie.

L'énergie est donc une sorte d'être immatériel que nous reconnaissons à ses manifestations diverses. Comme la matière, cet être peut revêtir un grand nombre de formes, *mais jamais l'énergie ne peut se transformer en matière ni la matière se transformer en énergie.*

Jusqu'à ces derniers temps on ne connaissait que trois formes de l'énergie :

1° L'énergie mécanique; 2° l'énergie thermique; 3° l'énergie chimique, ou encore le travail, la chaleur et l'affinité chimique.

Les phénomènes électriques, mieux étudiés et surtout mieux compris, ont mis à notre disposition une *forme nouvelle* de l'énergie qui constitue l'énergie électrique.

La découverte de l'électricité est une découverte faite dans le monde de l'énergie et point du tout dans le monde de la matière. Cette quatrième forme de l'énergie n'est certainement pas la dernière que nous aurons à découvrir. Je suis convaincu que le domaine de *la vie* nous réserve bien des surprises à cet égard. Quoi qu'il en soit, l'électricité n'est pas seulement la dernière connue des formes de l'énergie, elle en est aussi la plus précieuse et la plus parfaite, parce que :

1° Elle renferme toutes les formes anciennement connues de l'énergie;

2° Toutes les autres formes de l'énergie peuvent se transformer en électricité.

Dans tout être vivant, de même que dans le monde inorganique, il y a donc à étudier les transformations de la matière d'une part, les transformations de l'énergie d'autre part. Il y a donc une *chimie* et une *physique biologiques* qui sont aussi distinctes l'une de l'autre que le monde de la matière est distinct du monde de l'énergie.

Au point de vue de la physique biologique qui seule nous intéresse ici, nous considérerons l'être vivant comme un *transformateur* d'énergie ayant un *modus faciendi* qui lui est propre.

Là encore l'électricité jouit d'un privilège remarquable : *celui de pouvoir mettre en jeu toutes les propriétés dites vitales de la matière organisée.*

Pour nous conformer à l'esprit de cette publication, nous nous bornons à exposer les actions les plus générales de l'agent électrique sur la matière vivante.

L'électricité révolutionne actuellement la mécanique, la physique, la chimie et toutes les industries qui dérivent de ces sciences. Cela n'est pas étonnant, puisque nous savons que cette nouvelle forme de l'énergie peut se transformer dans toutes les autres dont l'étude constituait autrefois un domaine à part pour chacune d'elles, avec des lois et des applications distinctes.

Il ne faut pas être grand prophète pour prédire qu'il en sera de même pour la médecine quand le médecin, imitant le mécanicien, le physicien et le chimiste, aura fait connaissance, autrement que par un grossier empirisme, avec l'agent nouveau.

On sait que l'action d'un médicament dépend à la fois et de sa dose et de la façon dont il est administré; cette notion banale de thérapeutique devient un axiome quand il s'agit de l'électricité. Suivant qu'on donne à l'énergie électrique telle ou telle modalité physique, on peut produire les effets les plus divers, et même les plus opposés, sur les êtres vivants.

Sans connaître la nature de l'agent électrique, qui n'est d'ailleurs ni plus ni moins mystérieux que les autres agents physiques, nous pouvons tout d'abord établir une division fondamentale au point de vue de ses effets physiologiques. L'électricité peut traverser le corps ou sous forme de *courant permanent* ou sous forme de *courant variable*.

L'état *permanent* et l'état *variable* produisent des effets tellement différents que cette distinction s'impose par l'examen, même le plus superficiel.

L'état *variable*, sur un être vivant, se traduit par une excitation très violente des nerfs et des muscles qui entrent en contraction, tandis que tout reste au repos si l'on emploie l'état *permanent* en faisant usage d'un courant modéré.

Une expérience très élégante de Claude Bernard met bien ce fait en lumière. On place dans le circuit d'une pile un interrupteur, un voltamètre et une patte de grenouille. En laissant l'interrupteur immobile on fait passer le courant à travers les trois appareils à la fois: l'eau est décomposée dans le voltamètre, qui se remplit de gaz, la patte de grenouille reste immobile. Vient-on, au contraire, à mettre l'interrupteur en mouvement, le développement gazeux cesse presque complètement, mais la patte entre en contraction violente. Le courant qui la traverse est pourtant beaucoup plus faible que dans le premier cas, mais on a les effets physiologiques dus à l'état variable. Cette simple expérience nous montre, en outre, que les effets physiologiques du courant (action sur la sensibilité et la motricité) ne sont nullement sous la dépendance de son intensité absolue. Si le courant continu est très fort les tissus sont décomposés, comme l'eau du voltamètre, et les produits de la décomposition, agissant alors en tant que substances chimiques, peuvent mettre en action les tissus. Dans ces conditions, ce n'est pas l'électricité qui agit, mais bien les produits chimiques libérés par son passage.

C'est sur cette action électrolytique spéciale que Ciniselli et A. Tripier

ont fondé une branche importante de l'électrothérapie : l'électrolyse ou destruction des tissus par l'électricité.

Cette action dépend uniquement de l'intensité du courant, c'est-à-dire de la quantité d'électricité qui traverse le tissu, conformément aux lois de Faraday.

Il sera donc facile de doser les effets de l'état permanent en intercalant dans le circuit un mesureur de quantité ou ampèremètre, et en prenant la surface du tissu intéressé, c'est-à-dire la densité du courant à ses points d'entrée et de sortie. C'est ce que font aujourd'hui tous les praticiens spécialistes, depuis le Congrès de 1881, où je fis adopter ces mesures par la Commission internationale d'électrophysiologie. Les observations médicales y ont gagné en précision et en unité. Ce progrès est tout à fait semblable à celui qu'a réalisé l'emploi du thermomètre pour la mesure des températures morbides.

L'électrométrie clinique est même beaucoup plus importante que la thermométrie clinique, en raison des nombreux accidents que peut causer l'absence de dosage de l'électricité.

L'état permanent peut être appliqué à basse ou à haute tension. Dans le premier cas, on emploie généralement la pile comme source d'électricité. Pour produire l'état permanent à haute tension, on se sert des machines statiques, et le courant traverse alors le corps, soit en employant l'effluve, soit en recourant au bain appelé très improprement statique. Quand l'état permanent est produit par la pile, on appelle *voltatisation* ce procédé d'électrisation. Il prend le nom de *franklinisation*, quand la source électrique est une machine statique.

En dehors de l'action électrolytique produite par l'état permanent, nous savons très peu de chose sur les modifications ultérieures qu'entraîne son application. Le seul résultat expérimental un peu net, c'est que le courant continu modifie l'excitabilité du nerf moteur au voisinage des électrodes. L'excitabilité est augmentée au voisinage de l'électrode négative et diminuée au voisinage de l'électrode positive. C'est là tout ce qu'il faut retenir de la fameuse théorie allemande de l'*Electrotonus*. Il est très probable d'ailleurs que cette modification tient uniquement à l'action des produits chimiques de l'électrolyse et nullement à l'agent électrique lui-même. Quant au bain statique, il augmente légèrement les échanges gazeux respiratoires, ainsi que me l'ont montré des analyses directes faites sur moi-même, et cela en dehors de la production d'ozone.

Si nous savons à quelles conditions physiques rapporter les effets physiologiques de l'état permanent, si nous pouvons surtout aisément les mesurer, il n'en est pas de même pour l'état variable. Par quel facteur devons-nous définir la puissance physiologique d'une excitation électrique? Cette importante question a été agitée en 1881 au Congrès international d'électrophysiologie, mais ne put donner lieu alors qu'à un échange de vues plus ou moins hypothétiques; la base expérimentale manquait. C'est depuis cette époque que j'entrepris sur ce sujet une

série d'expériences systématiques qui m'ont conduit à formuler les lois générales que je vais rapidement exposer.

J'ai montré qu'une excitation électrique est complètement définie lorsqu'on connaît la loi de *variation de la tension électrique* au point excité *en fonction du temps*, c'est-à-dire la *forme physique de l'onde d'excitation*. C'est cette courbe particulière à chaque excitation électrique que j'ai appelée *la caractéristique de l'excitation*.

Par des dispositifs spéciaux que je ne peux décrire ici, je suis arrivé à tracer automatiquement cette courbe et à enregistrer au-dessous la contraction musculaire qui en résulte. La comparaison de ces deux courbes, tracées dans les conditions les plus variées, m'a amené à formuler la loi suivante : *L'intensité de la réaction motrice ou sensitive est proportionnelle à la variation du potentiel au point excité*.

C'est ainsi que j'ai pu introduire en médecine la notion fondamentale de la forme des courants utilisés et montrer qu'une excitation électrique donne des résultats toujours les mêmes quand sa forme est la même, que cette excitation provienne d'une source électrique quelconque : machine statique, pile, bobine d'induction, etc.

Ainsi tombe cette notion erronée qu'il y a plusieurs espèces d'électricité, donnant des résultats physiologiques différents suivant la source électrique employée. Le fait reste vrai, mais l'explication était fautive. Entre deux masses électriques égales, lancées à travers l'organisme l'une par un élément de pile, l'autre par une bouteille de Leyde par exemple, il y a la même différence qu'entre une balle lancée à la main ou par un fusil Lebel. C'est la même balle, mais combien le choc produit est différent dans les deux cas ! Si l'on inscrit la trajectoire de la balle, on fera ce que j'ai fait en traçant la caractéristique d'excitation.

La forme d'un courant est définie par la variation, en fonction du temps, de la pression électrique (différence de potentiel) qui produit ce courant. Quelques dessins éclairciront cette notion.

La planche ci-jointe (fig. 58) contient quatre figures donnant des caractéristiques différentes :

La première courbe, située à la partie supérieure, représente les variations du potentiel électrique lorsqu'on établit et qu'on supprime ensuite le courant d'une pile. Au moment de la fermeture en *O* le courant est nul; sa pression monte graduellement de *o* en *a* (état variable de fermeture), reste constante de *a* en *b* (état permanent) et redescend graduellement à zéro de *b* en *c* (état variable de rupture). Si ce courant est appliqué au nerf ou au muscle, nous aurons une contraction due à l'état variable qui dure un temps *oa'*, un repos pendant le temps *a'b'*, une nouvelle contraction pour le temps *b'c*. Cette dernière contraction sera même plus forte généralement parce que le temps de cette variation *b'c* est plus court que celui de la variation de fermeture *oa'*.

Si nous rapprochons suffisamment les deux variations, nous pourrions supprimer l'état permanent et avoir une *variation continue*, comme dans

le cas de la troisième courbe *oac* qui donnera naissance à une seule excitation. La deuxième courbe représente une variation de *o* en *a*, puis, à partir de *a* : un état permanent avec légères variations ondulatoires ; c'est la courbe que donne une machine Gramme.

Enfin la quatrième courbe représente une variation rectiligne régulière se faisant alternativement dans le sens positif et dans le sens négatif. Il

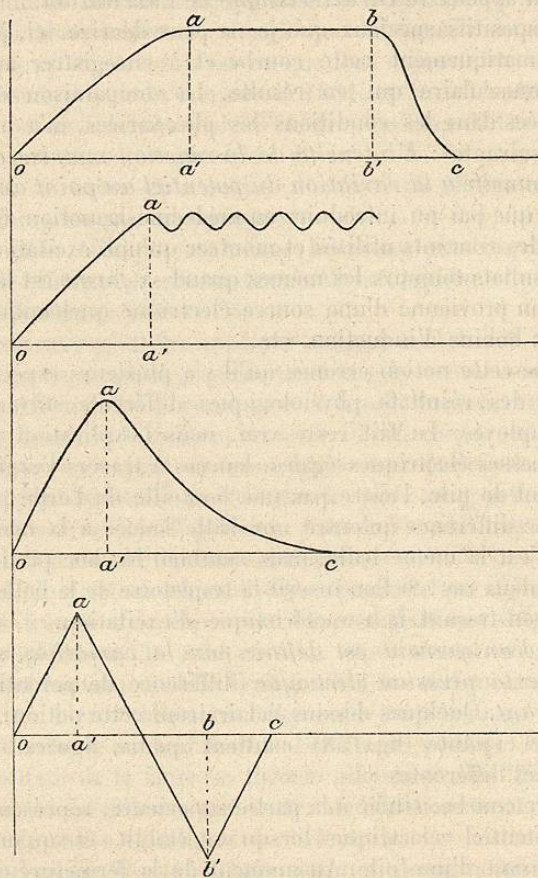


Fig. 58.

est facile de comprendre qu'on peut avoir des courbes affectant une forme quelconque, et qu'on peut se donner d'avance, en employant certains dispositifs mécaniques que j'ai fait connaître.

Mais on comprendra également qu'il y a grand avantage à prendre pour excitant physiologique une forme de courant telle que son passage à travers l'organisme ne détermine aucune destruction par électrolyse. Pour cela, il suffit que l'excitation soit produite par deux courants identiques, mais de sens inverses, se succédant sans interruption à travers les

tissus : c'est ce qui m'a amené à introduire en électrothérapie l'usage exclusif des courants alternatifs sinusoïdaux, pour l'état variable. La forme d'un pareil courant est représentée par la figure 59 ci-dessous.

La variation électrique part de zéro au point A, croît graduellement dans le sens positif, jusqu'en E où elle atteint un maximum EP, revient ensuite à zéro au point B, pour croître dans le sens négatif, jusqu'en E' et repasser par zéro au point C. Une pareille courbe, régulière, continue et parfaitement symétrique, constitue une sinusoïde. On voit que les quantités d'électricité représentées par les surfaces AEB et BE'C sont égales, mais de signes différents.

Le temps AC, employé à tracer cette double courbe, s'appelle la période de la sinusoïde ; le temps AB d'une demi-période est la fréquence.

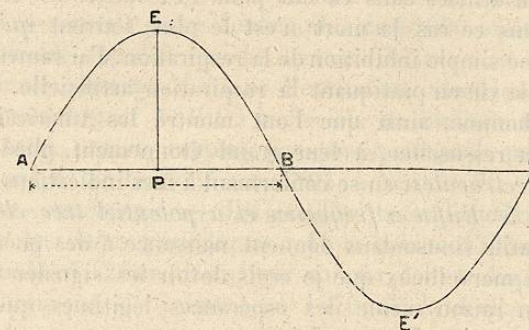


Fig. 59.

Dans ce cas, l'onde électrique qui constitue la caractéristique d'excitation est définie par deux facteurs : 1° la fréquence (ligne AB) ; 2° l'ordonnée maxima (ligne EP), qui représente le facteur physiologique le plus important, c'est-à-dire la variation maxima du potentiel ou pression électrique.

Les quantités d'électricité traversant les tissus étant égales et de signes contraires, les effets secondaires dus au passage du courant se trouvent éliminés et il reste seulement l'action excitante propre à l'électricité.

On voit que la fréquence AB, c'est-à-dire, le nombre d'excitations par seconde, est le double de la période AC.

Dans la pratique médicale, il est essentiel de pouvoir faire varier à volonté la fréquence et l'ordonnée maxima EP, indépendamment l'une de l'autre. J'ai réalisé différents appareils qui résolvent ce problème. Grâce à cette étude, l'état variable peut donc se définir et se mesurer avec la même exactitude que l'état permanent. Le médecin pourra dire par exemple : tel muscle se contracte sous l'influence d'un courant sinusoïdal de fréquence 40 et de potentiel 5. Tout sera défini et n'importe quel observateur pourra répéter l'expérience.

Le courant sinusoïdal alternatif jouit de propriétés très précieuses qui, depuis que je les ai signalées, l'ont fait rapidement adopter par tous les électrothérapeutes (1).

(1) Voy. : Soc. de biologie, 1882 ; Académie des sciences de Paris ; Société française de physique ; Arch. de physiologie de Brown-Séquard ; Lumière électrique, etc. En ce qui