

Becquerel a construit son *aiguille thermo-électrique* (Fig. 19), terminée en pointes fines A et B. Faisant pénétrer la soudure A dans la partie du corps dont on veut déterminer la température, on plonge la soudure B dans un bain dont on élève graduellement la température jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre G, intercalé dans le circuit de fermeture (1), indique qu'il ne passe aucun courant. La température du bain, que fait connaître un thermomètre à

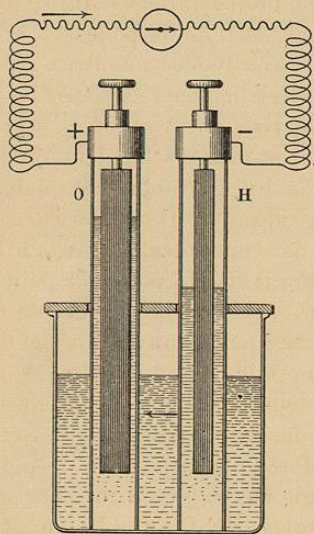


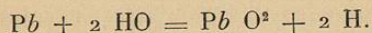
Fig. 20.

mercure, est alors égale à celle du point du corps sur lequel on a placé la pointe A.

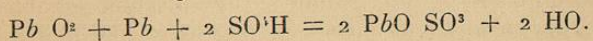
(1) Le galvanomètre, que nous décrirons plus loin, est un instrument qui permet de constater l'existence d'un courant par la déviation que ce courant imprime à l'aiguille aimantée.

30. *Accumulateurs.* — L'électrolyse de l'eau, lorsqu'on l'opère au moyen d'électrodes en platine, qui ne forment aucune combinaison chimique avec les gaz oxygène et hydrogène résultant de la décomposition, permet de recueillir séparément ces deux gaz sous des éprouvettes en verre recouvrant les deux électrodes (Fig. 20) ; on constate ainsi que le volume de l'hydrogène est toujours double de celui de l'oxygène. Nous avons, d'ailleurs, vu précédemment que les bulles gazeuses qui se déposent sur les électrodes ont pour effet de les polariser, en donnant naissance à une force contre-électromotrice ; il est intéressant de démontrer matériellement l'existence de cette force électromotrice de polarisation. A cet effet, supprimons le courant électrolyseur et mettons les deux électrodes en communication avec un galvanomètre, nous constaterons l'existence d'un courant qui va extérieurement de l'anode à la cathode et, par conséquent, traverse le liquide en sens contraire du courant électrolyseur. Ce petit appareil constitue ce que l'on appelle la *pile à gaz* de Grove. On voit l'eau remonter peu à peu jusqu'au sommet des éprouvettes ; il se produit donc une recombinaison des gaz oxygène et hydrogène, effet inverse de l'effet électrolytique. On a donné le nom de *courant secondaire* au courant ainsi produit par la force électromotrice de polarisation ; une partie de l'énergie électrique fournie par la pile *primaire* pendant l'électrolyse de l'eau s'est emmagasinée, pour ainsi dire, dans la pile *secondaire*, par laquelle on la fait restituer ensuite sous forme de courant. La pile à gaz ne peut emmagasiner que peu d'énergie électrique ; dans chaque éprouvette l'action chimique reste confinée sur la courbe d'intersection de la surface horizontale de l'eau et de la surface latérale de l'électrode en platine ; le courant cesse complètement lorsque les gaz recueillis ont achevé leur combinaison.

Gaston Planté a découvert en 1859 que la substitution d'électrodes de plomb aux électrodes de platine permet d'obtenir une pile secondaire beaucoup plus énergique. Tandis que l'hydrogène se dégage, sans exercer d'action chimique, autour de la cathode, l'oxygène attaque l'anode et produit une couche de peroxyde de plomb à laquelle on peut faire acquérir une épaisseur suffisante pour qu'elle protège le reste du métal ; supprimant alors le courant électrolyseur, on se trouve en possession d'une pile secondaire. Les réactions qui se produisent pendant la période de la charge paraissent être en réalité assez complexes, parce que plusieurs oxydes de plomb se forment en même temps ; en supposant, pour simplifier la question, qu'il ne se produise que du peroxyde, on obtiendrait la formule



Si, après avoir chargé la pile secondaire et supprimé le courant électrolyseur, on réunit les deux électrodes par un conducteur extérieur, l'hydrogène, se dégageant sur la lame peroxydée qui remplit alors le rôle de cathode, réduit le peroxyde de plomb en protoxyde qui forme avec l'acide sulfurique, dont on a toujours additionné l'eau, un sulfate soluble ; quant à l'oxygène, qui se dégage sur l'anode, il produit également un protoxyde de plomb donnant un sulfate soluble. La formule relative à la période de décharge devient ainsi



Si nous envoyons par ces plaques sulfatées un nouveau courant de charge, l'oxygène se dégageant à l'anode réduira le sulfate de plomb en peroxyde de plomb et acide sulfurique ; l'hydrogène se dégageant sur la cathode ramènera le plomb à l'état métallique. Une nouvelle charge est, par conséquent, réparatrice de la décharge ; il semble

que l'*accumulateur*, (nom que l'on donne à la pile secondaire) ait repris l'état que lui avait donné la charge primitive ; il y a cependant une différence importante que nous allons indiquer. La quantité de peroxyde de plomb formée sur l'anode est plus considérable que la première fois, parce que la porosité acquise par la couche réduite, permet à l'action chimique d'atteindre le plomb plus profondément ; d'autre part, sur la cathode, la présence d'une couche de plomb pulvérulente produite par la réduction favorise les actions chimiques mieux que ne le faisait la surface lisse de la plaque initiale. Pour ce double motif la seconde charge est plus intense que la première et peut fournir une nouvelle décharge plus puissante. En renouvelant plusieurs fois les opérations successives de charge et de décharge, on arrive à obtenir un maximum d'épaisseur des couches actives. Cette série d'opérations nécessaires pour la *formation* de la pile secondaire exige malheureusement un temps assez long ; Planté a conseillé de commencer par plonger les électrodes, pendant un jour ou deux, dans l'acide nitrique étendu de son volume d'eau qui dissout un peu de zinc et rend les surfaces spongieuses ; même en prenant cette précaution, l'élément Planté demande plusieurs mois de préparation par charges et décharges successives pour acquérir une capacité d'emmagasinement suffisante.

Il importe de donner aux deux électrodes d'un élément d'accumulateur la plus grande surface d'action possible ; il y a intérêt à réduire leur épaisseur sans aller toutefois jusqu'à nuire à leur solidité et à rendre trop courte la durée de leur service ; on doit aussi chercher à rapprocher autant que possible les électrodes l'une de l'autre, afin de réduire au minimum la résistance intérieure de la pile. Une des dispositions imaginées par Planté consiste à superposer l'une à l'autre, en les séparant au moyen de

bandes en caoutchouc, les deux plaques de plomb rectangulaires destinées à fermer les électrodes, et à les enrouler ensemble pour les placer dans un vase cylindrique contenant une solution d'acide sulfurique au dixième ; chacune des électrodes est munie, au moyen d'une soudure autogène, d'une lame de plomb destinée à faire la prise du courant. On peut aussi placer en regard l'une de l'autre, dans une cuve rectangulaire, deux électrodes planes et parallèles. Tout récemment, M. Blot a imaginé une disposition spéciale, dite à *navette*, dans laquelle la multiplication des surfaces s'obtient par rubanage et par gaufrage ; grâce à un très ingénieux système d'attache et de suspension de ces rubans de plomb, on leur donne la liberté de se dilater dans tous les sens, sans fatiguer les soudures et sans déformer le cadre qui les enveloppe. La force électromotrice d'un élément d'accumulateur du genre Planté est généralement voisine de 2 volts ; la capacité de l'élément, c'est-à-dire la quantité d'électricité qu'il peut emmagasiner par kilogramme de plomb, se rapporte ordinairement à l'unité *ampère-heure*, égale à 3.600 coulombs.

On a imaginé divers moyens de remédier aux inconvénients de la formation lente de la pile par les charges et décharges successives ; ces moyens dérivent tous de l'idée d'appliquer directement les matières actives sur les électrodes de plomb. En 1880, M. Faure a recouvert l'anode et la cathode d'une pâte composée d'oxyde de plomb malaxé avec une dissolution d'acide sulfurique qui le transforme partiellement en sulfate ; lorsque ce dépôt a été suffisamment séché à l'air, on immerge les électrodes dans l'eau acidulée et l'on fait passer un courant de charge qui transforme le sulfate en peroxyde de plomb à l'anode et en plomb pulvérulent à la cathode. MM. Sellon et Volkmar ont perfectionné ce système en employant comme élec-

trodes des grilles de plomb fondu, dont les alvéoles reçoivent les pâtes saturnines. Ces accumulateurs Faure-Sellon Volkmar sont généralement désignés sous le nom de *système E. P. S.*, initiales de la compagnie anglaise *Electrical Power Storage*, qui les a construits pour la première fois en 1882. Divers autres accumulateurs, qui diffèrent du précédent par les systèmes de plaques destinées à recevoir les matières actives, portent les noms de leurs inventeurs respectifs, MM. Julien, Gadaud, Tudor, Oerlikon, etc... Tous ont une force électromotrice normale de 2 volts, 10 et une capacité de 6 à 9 ampères-heures par kilogramme de plomb. La grande difficulté à vaincre dans ces accumulateurs à sels de plomb rapportés consiste à obtenir un contact rigoureux et durable entre ces oxydes et les électrodes ; les lames actives subissent, pendant la mise en service, des dilatations et des contractions successives qui désagrègent la pâte et ses alvéoles et déterminent la chute de la matière saturnine ; il en résulte que l'accumulateur présente, au moment de sa formation, une capacité maximum qui décroît en service.

Pendant la période de charge d'un accumulateur EPS, la force électromotrice commence par s'élever rapidement jusqu'à 2 volts, 1, puis plus lentement jusqu'à 2 volts, 2, puis assez vite jusqu'à 2 volts, 5, maximum qu'il convient de ne pas dépasser ; en allant plus loin, on verrait un dégagement de bulles gazeuses se produire dans l'électrolyte ; la résistance intérieure, pendant cette période de charge, est, en moyenne, de 0 ohm, 12 par décimètre carré de surface d'électrode positive. Pendant la période de décharge la force électromotrice commence par tomber rapidement de 2 volts 5 à 2 volts 1 ; elle décroît ensuite très lentement jusqu'à 1 volt 85, limite pratique de la décharge ; en allant plus loin, on verrait les plaques négatives se couvrir d'un sulfate blanchâtre, qui se détacherait par

écaillés et tomberait dans le liquide excitateur ; la résistance intérieure, pendant cette période de décharge est en moyenne, de 0 ohm, 08 par décimètre carré de surface d'électrode positive. Pour obtenir un bon *rendement en énergie*, il faut que l'intensité du courant de décharge soit comprise entre 1 et 2 ampères par kilogramme d'électrodes ; ce rendement peut s'élever, dans ces conditions, à 85 pour 100, si l'accumulateur a été bien fabriqué.

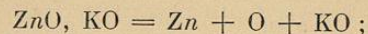
Les accumulateurs sont, en général, des instruments délicats et capricieux, exigeant beaucoup de soins et dont il faut surveiller le régime pour ne pas les exposer à des détériorations fatales. Les régimes anormaux de charge ou de décharge, les courts circuits accidentels, les trop grandes variations de température sont leurs implacables ennemis. Malgré ces sérieux défauts, les accumulateurs sont appelés à rendre tant de services qu'on les regarde aujourd'hui comme indispensables.

C'est évidemment un progrès dans la *formation* de l'accumulateur que de recourir aux dépôts de pâtes saturnines dans des alvéoles de plomb ; mais, si les constructeurs en ont retiré certains avantages, il semble que ce soit aux dépens du *tempérament* de l'appareil, dont ils ont augmenté la débilité. Un accumulateur à sels de plomb rapportés exige des soins pour ainsi dire *hygiéniques*, qui pourront lui être donnés dans une grande usine industrielle mais qui lui manqueront souvent dans un modeste laboratoire où le personnel disponible est très restreint. L'accumulateur, genre Planté proprement dit, qui présente une rusticité plus grande et par suite un tempérament plus solide, est devenu particulièrement recommandable depuis qu'il a été perfectionné par M. Blot. L'*accumulateur à navettes* résiste à l'épreuve des courts circuits ; il conserve sa charge pendant plusieurs mois ; son voltage et sa capacité ne sont pas inférieurs à ceux des

accumulateurs à formation artificielle ; ses régimes de charge et de décharge présentent une grande élasticité ; son rendement est très bon ; ce sont là des qualités précieuses.

Comme les couples d'une pile primaire, les éléments d'un accumulateur peuvent être groupés soit en quantité, soit en tension ; les règles que nous avons indiquées précédemment s'appliquent aussi aux piles secondaires.

Indépendamment des nombreux accumulateurs au plomb qui se font entre eux une active concurrence, il existe un *accumulateur au cuivre*, imaginé par MM. Commelin et Desmazure. L'électrode positive, en cuivre poreux, et l'électrode négative, en tôle de fer étamée, plongent dans une dissolution de zincate de potasse contenue dans un récipient de tôle étamée. Pendant la charge, le zincate de potasse se décompose suivant la formule



le zinc se dépose sur l'électrode négative, l'oxygène attaque l'électrode positive en formant de l'oxyde de cuivre, la potasse mise en liberté se dissout. On obtient ainsi une pile de Lalande et Chaperon, qui peut fournir le courant de décharge en vertu de la réaction suivante



Cette pile, dont la force électromotrice est légèrement inférieure à 1 volt ne donne aucune réaction à circuit ouvert ; il en résulte que l'accumulateur Commelin-Desmazure peut conserver longtemps sa charge.

31. *Effets physiologiques des courants.* — On connaît depuis longtemps l'aptitude des courants pour produire des sensations, des contractions musculaires, des sécrétions, des mouvements du cœur, et en général, des phé-

nomènes analogues à ceux que peut produire aussi l'influence nerveuse. Ces analogies sont assez grandes pour militer en faveur de l'hypothèse, toujours discutée, de l'identité du fluide électrique et du fluide nerveux.

Si l'on fait parcourir un nerf *moteur*, dans le sens de sa longueur, par un courant voltaïque, les contractions musculaires ne se manifestent qu'au moment de la fermeture ou de l'ouverture du circuit. Si le courant est *direct, centrifuge* ou *descendant*, la contraction produite à la fermeture du circuit est plus grande que celle qui a lieu à l'ouverture ; c'est l'inverse qui a lieu si le courant est *inverse, centripète* ou *ascendant*. MM. Onimus et Legros ont conclu, en 1872, de l'ensemble de leurs recherches que *le courant direct ou descendant est celui qui agit le plus énergiquement sur un nerf moteur*. Cette observation explique pourquoi lorsque l'on fait passer un courant continu d'un bras à l'autre (expérience de Marianini), c'est le bras en contact avec l'électrode négative qui éprouve la contraction la plus énergique.

Pfügger a trouvé qu'en plaçant sur un nerf *moteur* les deux pôles d'une pile (excitation *bipolaire*), on obtient les effets suivants :

1<sup>o</sup> Avec un courant *faible*, une secousse à la fermeture et une secousse à l'ouverture, que le courant soit ascendant ou descendant ;

2<sup>o</sup> Avec un courant *moyen*, deux secousses à la fermeture et deux autres à l'ouverture, quelle que soit la direction du courant ;

3<sup>o</sup> Avec un courant *fort*, une secousse à la fermeture du courant descendant, une autre à l'ouverture du courant ascendant.

Malheureusement la définition des courants *faible, moyen* et *fort* n'a pas été donnée par l'auteur de ces recherches.

Erb a repris ces expériences en employant l'excitation *monopolaire*. L'électrode indifférente (grande plaque métallique recouverte d'amadou et humectée) était placée sur le sternum et l'électrode active (tampon de deux à trois centimètres de diamètre) sur le nerf ou le muscle à actionner. Voici les résultats obtenus. Un courant faible, appliqué sur un tronc nerveux, en prenant l'anode comme pôle actif, produit une secousse unique de fermeture ; avec un courant plus fort, on constate une secousse plus forte à la fermeture et, si l'on prend comme pôle actif la cathode au lieu de l'anode, deux secousses apparaissent, l'une à la fermeture et l'autre à l'ouverture ; avec un courant très fort, on obtient, avec la cathode, une contraction permanente (dite *tétanique*) à la fermeture et, avec l'anode, deux secousses musculaires, l'une de fermeture et l'autre d'ouverture.

L'excitation d'un nerf *sensitif* peut produire, d'une part, des phénomènes de douleur et, d'autre part, des contractions par action réflexe. Pour que ces phénomènes se manifestent, il faut nécessairement que le nerf sensitif reste relié à la moelle, de manière à transmettre l'excitation aux cellules nerveuses. Le courant direct détermine fort peu de phénomènes de sensibilité au moment de sa fermeture, il agit plus efficacement au moment de sa rupture. MM. Onimus et Legros ont constaté que *le courant inverse ou ascendant est celui qui agit le plus énergiquement sur un nerf sensitif*. Sur les nerfs des sens, les effets d'un courant continu durent souvent pendant tout le temps de son passage ; un courant voltaïque appliqué d'un côté de la tête fait éprouver dans la bouche un goût métallique, analogue à celui du fer ; appliqué dans le voisinage du nerf acoustique, ce courant produit des bourdonnements dans les oreilles. Le phénomène des phosphènes, que produit l'excitation du nerf optique, n'a lieu

qu'au moment de la fermeture et de la rupture du courant.

Les effets physiologiques que nous venons d'indiquer s'obtiennent soit en mettant les électrodes en contact direct avec les nerfs dénudés, soit en les plaçant suivant le trajet d'un nerf dans une région où il est très superficiel. On obtient des effets assez différents si, plaçant une des électrodes sur le trajet d'un nerf, on place l'autre électrode sur les muscles dans lesquels ce nerf se ramifie. *Lorsque l'on agit ainsi à la fois sur les nerfs et sur les muscles, c'est toujours au moment de la fermeture du courant, quelle que soit sa direction, que se produisent les contractions les plus énergiques.* Quand la sensibilité est conservée, le courant ascendant a plus d'action que le courant descendant ; les contractions qu'il produit sont dues à des actions réflexes et parfois aussi à un phénomène particulier, appelé *contraction induite* (1), qui a été observé pour la première fois par Du Bois-Raymond.

Un courant continu traversant la moelle épinière produit à la fois la douleur et les contractions violentes ; si ce courant est *descendant*, il agit directement sur les nerfs moteurs et il diminue l'excitabilité de la moelle ; s'il est *ascendant*, il agit sur les nerfs moteurs par action réflexe et il augmente l'excitabilité de la moelle.

Les courants continus exercent, d'autre part, sur les tissus organiques diverses actions chimiques. On peut électrolyser un fragment de muscle et produire ainsi la décomposition des sels qu'il renferme ; les alcalis se portent vers l'électrode négative et les acides vers l'électrode positive. Une électrolyse de ce genre se produit lorsqu'on lance un courant continu par deux électrodes appliquées sur deux

(1) L'excitation électrique d'un nerf détermine dans un nerf voisin, avec lequel il est en contact, un état d'activité en vertu duquel ce nerf fait contracter le muscle auquel il est attaché.

points du corps humain ; du côté de l'anode ou électrode positive, on observe une eschare sèche et exsangue, offrant les caractères de la cautérisation par un acide ; l'eschare qui se forme du côté de la cathode ou électrode négative est, au contraire, molle et peu rétractile, de nature alcaline. Indépendamment de ces effets locaux, il paraît démontré, d'après les récents travaux de M. le professeur Weiss, que le courant continu produit une sorte d'électrolyse des muscles sur tout son parcours, à la condition qu'il ait une durée et une intensité suffisantes. Il résulte des recherches personnelles du docteur André Lucas que c'est au facteur intensité qu'incombe la prédominance (1). Certaines observations conduisent, d'ailleurs, à penser que le courant peut produire, sur tout son parcours, des effets antiseptiques, destructeurs des microbes (Docteur Le Blond).

Toute matière albumineuse traversée par un courant continu se coagule près de l'électrode positive. Il en est ainsi pour le sang ; Petrequin a regardé cette propriété comme utilisable pour la guérison de certaines tumeurs anévrysmales.

Des phénomènes de transport de diverses matières par les courants continus peuvent se produire à travers les tissus vivants. MM. Vergnès et Poey ont essayé d'extraire ainsi du corps d'un malade certaines substances métalliques qu'il avait absorbées comme médicaments. MM. Onimus et Legros ont fait à ce sujet, dans leur *Traité d'électricité médicale*, les judicieuses réflexions suivantes : « quoique théoriquement cette application soit juste, il est impossible de l'employer en pratique. On ne songe pas à la petite quantité métallique qui se trouve dans le corps, soit dans l'intoxication saturnine, soit dans l'intoxica-

(1) *Contribution à l'étude des actions chimiques des courants électriques sur les tissus vivants.* Thèse pour le Doctorat en médecine,

« tion mercurielle. Pour amener ces corps hors de l'organisme, il faudrait employer un courant d'une intensité « telle qu'il serait impossible de le supporter. D'ailleurs « le métal le plus répandu dans l'économie animale, le fer, « serait également amené au dehors et le remède serait « ainsi pire que le mal ».

Inversement, on peut se servir du courant continu pour introduire diverses substances dans les profondeurs de l'organisme. Prenons, par exemple, pour électrode positive une lame de platine posée sur un linge imbibé d'une solution d'iodure de potassium et appliqué sur la peau, et adoptons comme électrode négative un petit faisceau d'aiguilles enfoncées dans les tissus par les procédés de l'acupuncture ; en faisant passer le courant, nous pourrions transporter l'iode à travers les tissus jusqu'à ces aiguilles qui nous révéleront sa présence.

**32. Résistances du corps humain.** — La résistance électrique d'un fil conducteur homogène est facile à définir, à cause de la simplicité des lois de la propagation linéaire du courant électrique. La propagation de l'électricité dans une surface métallique homogène (conducteur à deux dimensions) est régie par des lois beaucoup moins simples ; la complication devient naturellement plus grande encore lorsqu'il s'agit d'un conducteur à trois dimensions. Les travaux d'Ohm et de Kirchhoff ont conduit à la loi fondamentale suivante : *Le flux d'électricité qui traverse pendant l'unité de temps un élément de surface quelconque est parallèle et proportionnel au flux de force électrique correspondant.* Comme l'électricité ne peut pas s'accumuler, pendant le régime permanent, dans un élément de volume, il se trouve à chaque instant dans cet élément des quantités égales d'électricité positive et d'électricité négative, circulant en sens contraires sans influencer sur la valeur

du potentiel électrique relative au centre de l'élément. Il en est autrement à la surface du conducteur, sur laquelle sont distribuées des masses électriques qui contribuent à la création du potentiel du champ électrique. On peut considérer dans un conducteur à trois dimensions, des surfaces de niveau, à potentiel constant, normales en chaque point au flux d'électricité correspondant. La nature et la répartition de ces surfaces dépendent de la forme du conducteur, des points ou régions par lesquelles entre ou sort le courant électrique ; si le conducteur n'est pas homogène, sa constitution intervient pour compliquer singulièrement la question de la propagation de l'électricité.

Le corps humain est un conducteur à trois dimensions essentiellement hétérogène ; cette simple remarque suffit pour démontrer qu'il ne serait pas raisonnable de lui attribuer une résistance électrique aussi précise et déterminée que peut l'être celle d'un simple fil conducteur. Cependant ils ne sont pas rares les auteurs qui ont indiqué un nombre d'ohms représentant cette prétendue résistance ; l'accord entre ces auteurs est d'ailleurs loin d'être parfait, car le nombre d'ohms qu'ils nous font connaître varie depuis mille jusqu'à des centaines de mille ; on n'a vraiment que l'embarras du choix, mais quel embarras !

Au lieu de poursuivre la recherche de *la résistance* du corps humain, cet absolu qui n'existe pas, il est plus sage d'étudier *les résistances* de l'organisme, question complexe et difficile, mais non insoluble.

Le corps est composé de plusieurs tissus qui diffèrent entre eux par leurs qualités physiques et notamment par leurs résistances électriques spécifiques. Aucun de ces tissus n'est ce que les médecins appellent un bon conducteur, mais ce n'est pas non plus un isolant. Eckardt et Ziemsen ont pris, en 1856 des mesures comparatives dont ils ont tiré les conclusions suivantes.

La résistance spécifique des *muscles* étant représentée par 1, celle des *nerfs, tendons et cartilages* est de 1,8 à 2,5 et celle des *os* est de 16 à 22. On peut remarquer que les muscles contiennent 78 pour 100 d'eau, tandis que les nerfs, tendons et cartilages n'en contiennent que de 62 à 70 pour 100, et les os 7 pour 100 seulement ; il paraît donc que la résistance spécifique augmente quand la proportion d'eau diminue, mais c'est là, à notre avis, une observation de peu d'importance. Il serait intéressant de connaître le rapport de la résistance spécifique d'un muscle à celle d'un métal usuel ; nous ne sommes pas en possession d'une donnée précise, à ce sujet ; nous savons seulement que le muscle est au moins 100 000 fois plus résistant que le mercure.

La résistance de l'*épiderme sec* est si considérable qu'il peut être assimilé à un isolant ; il est donc important, lorsque l'on veut faire passer un courant électrique dans une partie du corps humain au moyen de deux électrodes respectivement appliquées sur deux points de l'épiderme, il est donc important, disons-nous, si l'on veut agir profondément, d'humecter préalablement l'épiderme avec de l'eau pure, ou mieux avec de l'eau salée ou légèrement acidulée. Grâce à cette précaution, on peut faire agir le courant sur les muscles, tandis qu'un épiderme sec et épais obligerait l'électricité à rester à la superficie, n'exerçant son action que sur les nerfs cutanés. Il résulte d'expériences récentes de M. le professeur Weiss que la résistance de l'épiderme diminue lorsque l'on augmente l'intensité du courant et lorsque l'on prolonge son application. Le nombre d'ohms que l'on obtient, pour mesure de la résistance d'une partie du corps dépend beaucoup de l'état de l'épiderme aux points où sont appliquées les électrodes. Ajoutons que ce nombre d'ohms dépend aussi des surfaces recouvertes par les électrodes,

Il est évident que la propagation du courant entre les deux électrodes ne se fait pas en ligne droite, comme beaucoup de personnes le croient encore aujourd'hui ; le flux d'électricité va de l'anode vers la cathode, en présentant au départ et à l'arrivée une densité maximum et en s'épanouissant, pour ainsi dire, dans l'intervalle ; les lignes de force sont toujours courbes et souvent ondulées ; l'électricité tend naturellement à passer par les tissus les moins résistants, plutôt par les muscles que par les nerfs. Pour électriser directement ces derniers, il faut employer des courants de grande tension et rapprocher le plus possible les nerfs des électrodes. Ajoutons qu'un nerf n'a pas besoin d'être traversé par le courant dans toute sa longueur pour réagir sous l'influence de l'électricité ; Du Bois Raymond a, en effet, découvert le phénomène de l'*électrotonus*, en vertu duquel il suffit d'envoyer un courant électrique entre deux points quelconques d'un cordon nerveux pour développer dans toute la longueur du nerf un courant de même sens que celui de la pile ; nous avons d'ailleurs parlé précédemment du phénomène de l'*excitation induite*, en vertu duquel un nerf parcouru par un courant électrique détermine l'état d'activité dans un nerf voisin en contact avec lui.

Les effets électrolytiques que le courant continu produit sur son parcours ont pour conséquence la *polarisation* des tissus et, par suite, la création d'une force contre-électromotrice ; la polarisation au niveau des électrodes étant beaucoup plus intense que la polarisation des tissus interpolaires rend assez difficile la constatation et la mesure de cette dernière. M. le professeur agrégé Weiss a imaginé une méthode ingénieuse et délicate pour évaluer la force contre-électromotrice que fait naître la polarisation interpolaire ; ses expériences ont conduit à une valeur de 0,20 à 0,25 volt.



Un autre fait dont on peut avoir à tenir compte dans l'application des courants électriques au corps humain, c'est que ce corps est un *condensateur* dont la capacité électrique est considérable. Cette capacité serait de 0,0025 microfarad d'après M. Bordier (1) et de 0,165 microfarad d'après M. Dubois (2) de Berne; ce sont là deux nombres peu concordants, car le second est égal à 66 fois le premier; la capacité de 0,0025 microfarad est celle d'un conducteur sphérique ayant un rayon de 22 m. 5 de longueur; celle de 0,165 correspondrait à un conducteur sphérique de 1.485 mètres de rayon, ce qui paraît bien excessif.

Les diverses considérations que nous venons d'exposer font entrevoir l'importance et la multiplicité des difficultés à vaincre pour arriver à des notions précises sur les résistances du corps humain. Les connaissances actuellement acquises sur ce vaste sujet ne représentent qu'une faible partie de celles qu'il faudrait posséder. Les valeurs relatives des nombres obtenus par un même expérimentateur dans une série d'observations sont, en général, beaucoup plus certaines que les valeurs absolues de ces mêmes nombres. C'est sous cette réserve que nous allons citer quelques chiffres.

Le docteur Bardet, opérant sur la jambe en appliquant les électrodes l'une à la partie supérieure et l'autre à la partie inférieure du mollet, a mesuré les résistances suivantes :

- 1° peau sèche . . . . . 2.200 ohms;
- 2° peau frottée d'eau de savon . . . . . 1.500 ohms;
- 3° peau frottée d'alcool. . . . . 800 ohms.

On voit, par ces chiffres, combien est variable la résistance de l'épiderme suivant que la peau est sèche ou

(1) Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1<sup>er</sup> juillet 1895.  
 (2) Comptes rendus de l'Académie des sciences, 20 juin 1898.

humectée. Il est certain que la résistance diminuerait encore si la peau était dénudée par un vésicatoire avant d'appliquer l'électrode.

M. le professeur agrégé Weiss a étudié l'influence de l'intensité du courant sur la diminution de la résistance. Le courant était envoyé d'une main à l'autre de la personne soumise aux expériences. Voici les exemples qu'il a cités :

L. M.		H. R.	
INTENSITÉ	RÉSISTANCE	INTENSITÉ	RÉSISTANCE
2,75	1330	3	1200
6	1250	6,50	1110
11,50	1170	10	1065
18,50	1145	19,50	1040
11,50	1160	9,40	1100
5,50	1210	5,50	1160
2,25	1260	2,25	1220

M. T.		G. W.	
INTENSITÉ	RÉSISTANCE	INTENSITÉ	RÉSISTANCE
4	1360	5	1570
13	1330	10	1350
24	1290	23	1160
12	1320	10	1260
5	1340	6	1340

Les intensités sont évidemment évaluées en milliampères et les résistances en ohms.

M. Le docteur Dubois (de Berne), en étudiant les résistances du corps humain dans la période d'état variable d'un courant galvanique, a fait varier le segment du corps interposé entre les électrodes; il a obtenu les résultats suivants :

- Du poignet à l'avant-bras . . . . . 400 ohms.
- Du poignet au bras . . . . . 460 —

Du poignet à la nuque. . . . .	690 ohms.
Du poignet à la plante du pied. . . . .	900 —
D'un pied à l'autre. . . . .	900 —
D'une main à l'autre. . . . .	900 —

On voit que la méthode de mesure adoptée a conduit à des chiffres relativement faibles.

Le même expérimentateur, en employant successivement diverses électrodes dont les surfaces étaient représentées par les nombres 4, 36 et 64, a trouvé pour valeurs correspondantes des résistances d'un même segment du corps 2100, 700 et 400 ohms (1).

En résumé, nous arrivons aux conclusions suivantes :

La résistance que le corps humain oppose au passage d'un courant continu dépend :

Des deux points choisis sur la surface du corps pour appliquer les deux électrodes ;

De l'état de siccité ou d'humectation de l'épiderme aux points d'application ;

Des surfaces de contact de l'épiderme avec les électrodes ;

De l'intensité et de la durée du courant.

Il serait à désirer que les expérimentateurs indiquassent toujours aussi exactement que possible les natures ou les valeurs de ces variables, lorsqu'ils publient le résultat d'une mesure de résistance. Le groupement d'observations nombreuses et variées faites dans ces conditions permettrait peut-être de découvrir quelques lois empiriques du phénomène dont il s'agit. Les données actuelles sont incomplètes et insuffisantes.

(1) Comptes-rendus de l'Académie des sciences, 20 juin 1898.

## CHAPITRE III

### COURANTS INDUITS

Champ magnétique. — Flux de force. — Electro-magnétisme. — Aimantation par les courants. — Courants d'induction. — Self-induction. — Extra-courants. — Générateurs d'électricité. — Induction mutuelle de deux courants. — Principe des transformateurs. — Bobine de Ruhmkorff. — Courants à grande fréquence. — Rayons X.

**33. Champ magnétique.** — Les courants électriques destinés aux grandes applications industrielles s'obtiennent généralement au moyen de machines rotatives spéciales, commandées par des moteurs ; c'est une *énergie mécanique* que l'on transforme ainsi en énergie électrique, en vertu des phénomènes d'*induction*, dont la découverte est due à Faraday et remonte à 1831.

Pour bien saisir le mécanisme de ces phénomènes, il faut posséder préalablement la notion de ce que l'on appelle un *champ magnétique*.

On sait que l'étude expérimentale des barreaux aimantés a conduit les physiciens à assimiler un tel barreau à une masse inerte présentant vers ses extrémités deux centres d'action appelés *pôles* de l'aimant ; on peut faire abstraction par la pensée de la matière même du barreau et reporter la cause de ses propriétés sur ses deux pôles, considérés comme deux points géométriques sur chacun desquels serait concentrée une *masse magnétique*. Suspendons ce barreau aimanté de manière qu'il puisse