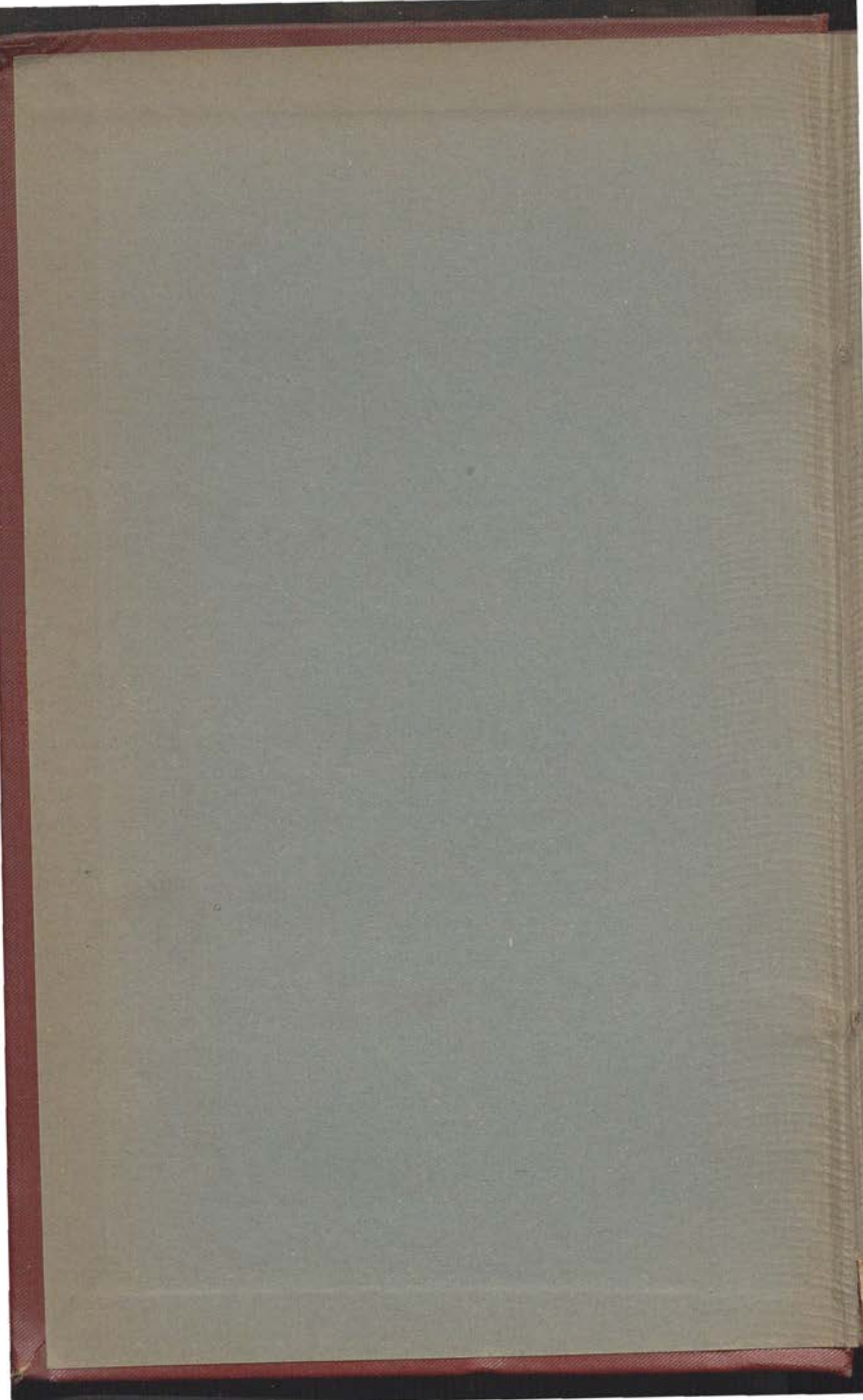


FÉLIX LUCAS ET ANDRÉ LUCAS

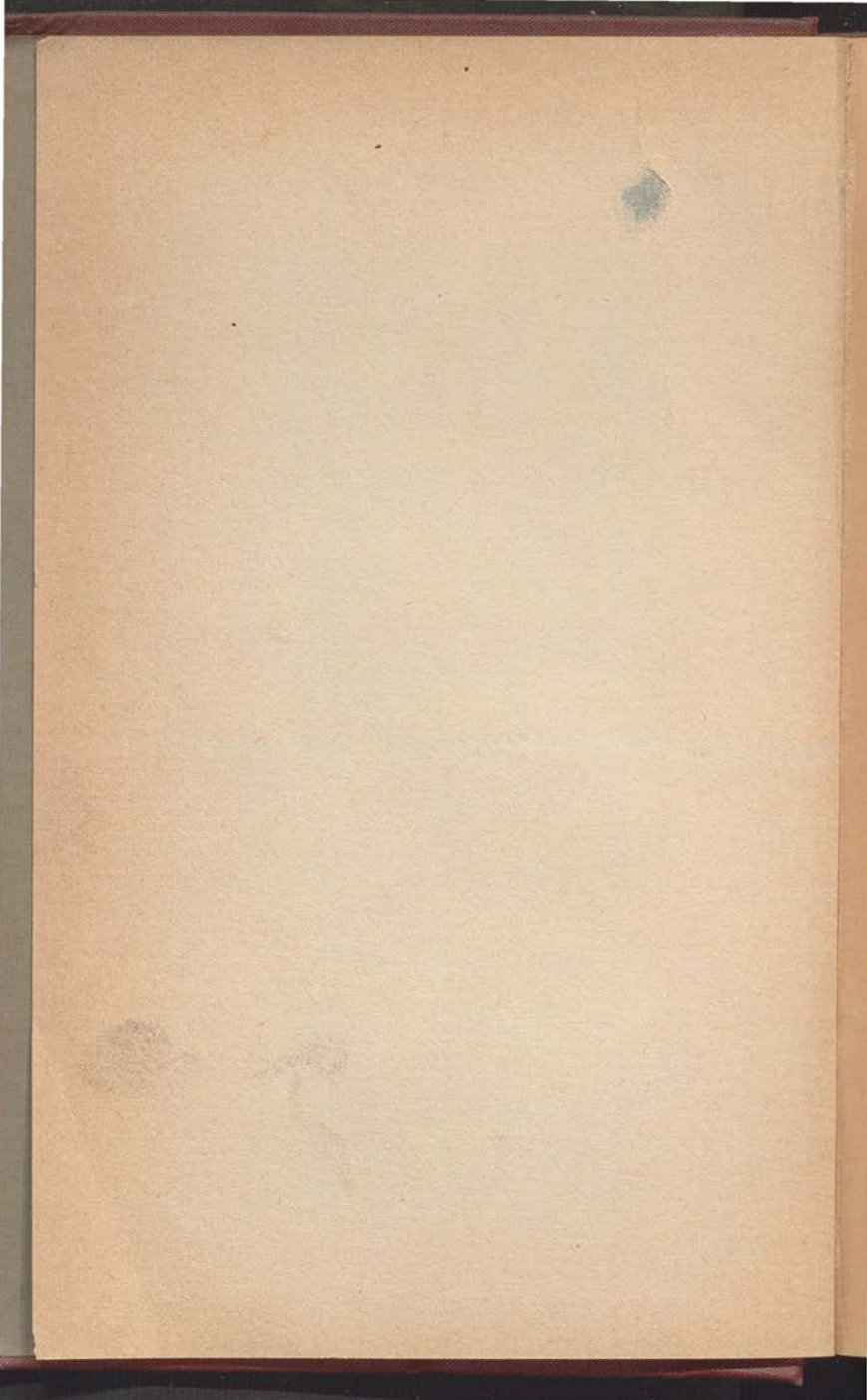
ÉLECTRICITÉ MÉDICALE

PARIS

CH. BÉRANGER EDITEUR



ee



ÉLECTRICITÉ MÉDICALE

1862

1862

36869

ÉLECTRICITÉ MÉDICALE

ENTRÉ SOUS LE N° 36,869
Traité Théorique et Pratique

PRÉCIS D'ÉLECTRICITÉ
APPAREILS ET INSTRUMENTS ÉLECTRO-MÉDICAUX
APPLICATIONS THÉRAPEUTIQUES

PAR

FÉLIX LUCAS

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées en retraite
Chevalier de la Légion d'Honneur
Membre fondateur de la Société internationale des Electriciens



ET

Le Docteur ANDRÉ LUCAS

Ancien interne à Saint-Lazare
Ancien moniteur de la Clinique de gynécologie
et d'accouchements de la Faculté

124 figures intercalées dans le texte

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

Successeur de BAUDRY & C^e

15, Rue des Saints-Pères, 15

MÊME MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21

1900

Tous droits réservés

UNIVERSITY OF MICHIGAN LIBRARY

ANN ARBOR, MICHIGAN

1900



1900

1900

1900

1900

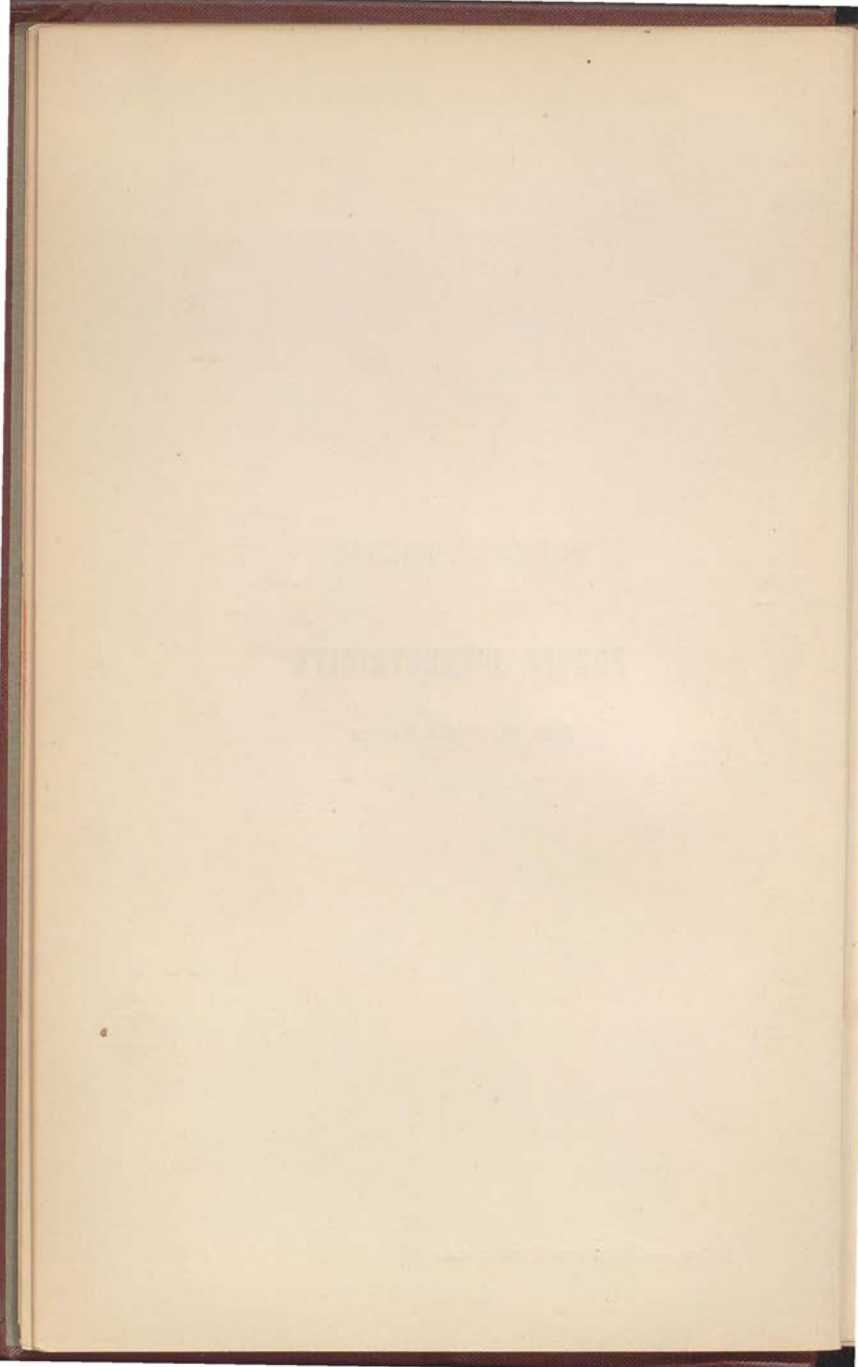
1900

1900

PREMIÈRE PARTIE

PRÉCIS D'ÉLECTRICITÉ

Par M. Félix Lucas



AVANT-PROPOS

Ce qui peut tuer peut aussi guérir. Les venins et les poisons, convenablement préparés et dosés, deviennent, entre les mains du médecin, des médicaments précieux. De même la foudre meurtrière, asservie par l'homme sous le nom d'électricité, met à notre service ses vertus curatives, toujours prête à obéir à nos ordres pourvu qu'ils soient compatibles avec les lois qui la régissent.

Ces lois, c'est aux pionniers de la science, expérimentateurs et théoriciens, qu'il appartient de les rechercher, les découvrir et les formuler. Bien que nul ne puisse entrevoir encore les limites inaccessibles du domaine à explorer, l'œuvre accomplie déjà est cependant considérable. Il mérite vraiment l'admiration cet édifice actuel de la science électrique, sur le fronton duquel sont inscrits les noms immortels des Franklin, des Galvani, des Volta et des Faraday. Le médecin ne doit pas aujourd'hui rester étranger à cette science ; il peut et doit mettre à profit les prodigieuses ressources qu'offre à la thérapeutique le plus puissant et le plus souple des agents naturels.

M. le professeur d'Arsonval a écrit, dans la préface du traité d'électrothérapie du docteur Bordier : « Espérons
« que, dans un avenir prochain, nous ne verrons plus
« aucun clinicien avoir des connaissances au-dessous de
« celles de l'infirmier, en face d'un appareil électrothé-
« ronique. » C'est exprimer avec trop de pessimisme une légitime espérance ; c'est reprocher à ceux qui ne savent

pas assez peut-être de ne savoir absolument rien. Restons dans la note vraie en disant simplement que le médecin a grand intérêt aujourd'hui à se remémorer et à compléter ses connaissances en matière de science électrique ; c'est à cela que peut lui servir le *Précis d'Électricité* qui constitue la première partie de cet ouvrage.

La seconde partie, consacrée aux *Appareils et instruments électro-médicaux*, indique les moyens de produire l'électricité sous diverses formes caractérisées par des modalités distinctes ; — décrit les balances spéciales (ampèremètres, voltmètres, etc.), qui servent à doser, pour ainsi dire, et à mesurer l'électricité ; — énumère les ingénieux instruments (excitateurs, électrodes, endoscopes, etc.) qui permettent d'utiliser méthodiquement la protéiforme énergie électrique.

L'électrothérapie, fille de l'empirisme, repose essentiellement sur les recherches physiologiques et sur l'expérimentation clinique. C'est, par conséquent, la compilation méthodique et critique des observations faites par les physiologistes et par les cliniciens qui a dû constituer la base essentielle de la troisième partie de cet ouvrage intitulée *Applications thérapeutiques*, dans laquelle s'affirme la puissance curative de l'électricité.

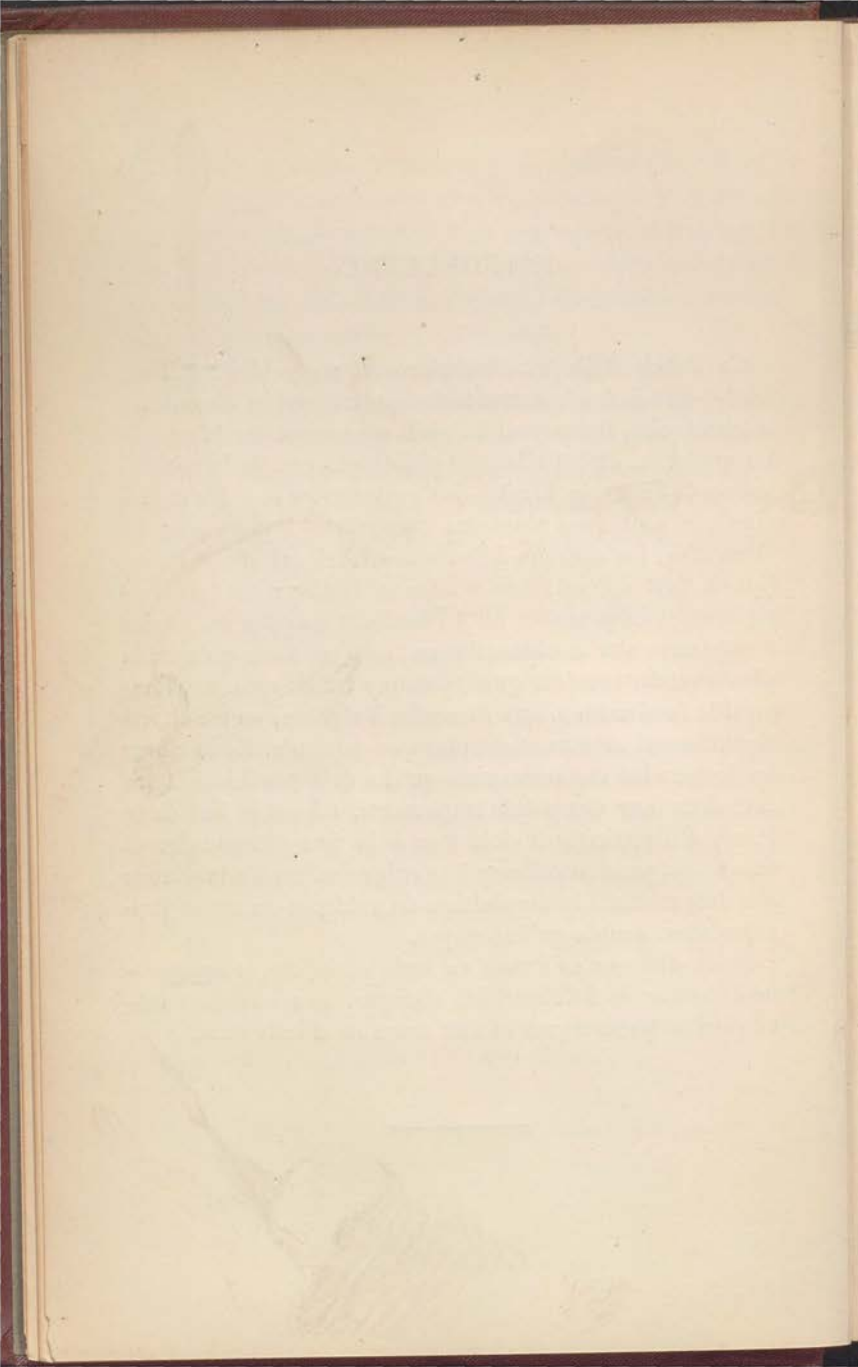
Nous avons rassemblé bien des matières dans ce volume, en nous efforçant d'unir la clarté à la concision ; s'il est vraiment utile au public médical, nous nous estimerons grandement récompensés de nos efforts.

FÉLIX ET ANDRÉ LUCAS.

INTRODUCTION

Ce Précis d'Electricité s'adressant au public médical, c'est-à-dire à des hommes techniques d'une haute culture intellectuelle, il convient d'établir ses assises sur la grande loi moderne, essentiellement philosophique, de la conservation de l'énergie. C'est à des anatomistes et à des médecins que sont dues plusieurs découvertes importantes en électricité; les aperçus historiques offriront donc ici un intérêt tout spécial. Les études médicales n'ont laissé ou ne laissent au praticien ou à l'étudiant que peu de loisirs à consacrer aux mathématiques; ce n'est donc qu'avec la plus grande sobriété que nous pourrons recourir, lorsqu'il le faudra bien, aux formules d'algèbre, en les choisissant aussi courtes et simples que possible. Remémorer au lecteur les connaissances qu'il a déjà possédées et les compléter sur des points importants, tel est le but de ce Précis d'Electricité; il doit être à la fois élémentaire et théorique, pour contribuer à la vulgarisation d'une science qui doit mettre à la disposition du médecin un agent physique aussi souple qu'énergique.

Nous divisons ce Précis en trois chapitres, respectivement consacrés à l'électricité statique, aux courants voltaïques ou galvaniques et aux courants d'induction.



CHAPITRE PREMIER

ÉLECTRICITÉ STATIQUE

Coup d'œil historique. — Loi de Coulomb. — Distribution électrique. — Potentiel électrique. — Définition mathématique. — Méthode expérimentale. — Unités de masse électrique et de potentiel. — Electrification par influence. — Capacité d'un conducteur. — Machines électriques. — Condensateurs. — Énergie électrique. — Batteries électriques. — Décharge d'un condensateur. — Effets physiologiques de l'électricité statique.

1. *Coup d'œil historique.* — Le radical grec du mot *électricité* est ἤλεκτρον, nom du succin ou ambre jaune; simple remarque faite pour évoquer le souvenir de cette découverte, si modeste en apparence, qu'un morceau d'ambre jaune acquiert par le frottement la propriété d'attirer les corps légers. Cette découverte, attribuée à Thalès de Milet, remonte à 600 ans avant l'ère chrétienne; Théophraste en a fait mention dans son *Traité des pierres précieuses*; elle a constitué pendant plus de deux mille ans l'unique phénomène d'électricité connu des anciens. Gilbert, physicien anglais, a montré, au seizième siècle, que la propriété de s'électriser par frottement, appartient aussi à la résine, au soufre, au verre et à la plupart des pierres précieuses. Ainsi se généralisait un peu l'importante notion de l'*attraction électrique*.

Au milieu du dix-septième siècle, Otto de Guéricke, bourgmestre de Magdebourg, entreprit une série d'expériences au moyen d'un globe de soufre qu'il faisait rapidement tourner autour d'un de ses diamètres, tandis

qu'un aide appliquait les mains sur sa surface pour exercer un frottement énergique ; la première *machine électrique* se trouvait inventée. En présentant à ce globe tournant quelques corps légers, l'habile expérimentateur constata que ces corps, d'abord attirés par le soufre, s'éloignaient de lui après avoir touché sa surface ; ainsi fut découvert le phénomène nouveau de la *répulsion électrique*. En opérant dans l'obscurité, Otto de Guéricke observa l'apparition d'une *étincelle électrique* lorsqu'il approchait le doigt du globe électrisé. Ayant eu l'idée de mettre en contact avec ce globe une des extrémités d'une corde de chanvre suspendue par des fils de soie, il constata que cette corde acquérait ainsi la propriété d'attirer les corps légers ; de là cette nouvelle découverte fort importante, que la vertu attractive peut se propager dans certains corps. Otto de Guéricke laissait donc à sa mort, survenue en 1686, la voie largement ouverte aux investigations de la science.

A la suite de nombreuses expériences, le physicien anglais Gray proposa, en 1727, de classer les corps en *mauvais conducteurs* et *bons conducteurs* de l'électricité ; les premiers peuvent s'électriser par le frottement et s'opposent à la propagation du *fluide électrique*, ce qui permet d'en faire des *isoloirs* ; les seconds laissent, au contraire, facilement passer le fluide et ne paraissent pas s'électriser par le frottement. Gray, ayant d'autre part beaucoup étudié les *lueurs*, *aigrettes* et *étincelles électriques*, ainsi que les craquements et crépitations qui les accompagnent, a eu dès 1734 cette intuition prophétique qu'il pouvait y avoir identité de nature entre l'électricité et la foudre.

Le physicien français Dufay, contemporain et émule de Gray, a, de son côté, découvert la *dualité électrique*, c'est-à-dire la différence et même l'antagonisme des deux

électricités que l'on obtient en frottant avec un morceau de laine, d'une part, une baguette de verre poli et, d'autre part, un bâton de résine; de là la division en électricité *vitrée* ou *positive* et électricité *résineuse* ou *negative*, qui a servi de base à la théorie des deux fluides. Gray avait eu l'idée de transmettre l'électricité d'un bloc de résine au corps d'un enfant couché sur des cordons de soie tendus horizontalement; Dufay procéda à des expériences du même genre, en électrisant une personne montée sur un plateau de bois suspendu par des cordons isolants, et excita l'admiration générale en tirant des étincelles du corps de cette personne; on remplace aujourd'hui le plateau de balance par un *tabouret isolant*.

Pour compléter ce rapide aperçu historique, nous rappellerons qu'en 1744 le médecin allemand Ludolf démontra la présence de la chaleur dans l'étincelle électrique en lui faisant enflammer l'éther.

Récapitulons, en les précisant, les faits qui résultent de ces anciennes expériences.

Deux corps électrisés par frottement, rapprochés l'un de l'autre, s'attirent s'ils sont chargés d'électricités contraires et se repoussent s'ils sont chargés de la même électricité. Il est naturel d'admettre que ces actions mutuelles s'exercent entre les fluides électriques eux-mêmes; par conséquent *les fluides de même nom se repoussent, tandis que les fluides de noms contraires s'attirent*. Il est à remarquer que le frottement de deux corps développe simultanément les deux fluides, qui se portent respectivement l'un sur le corps frotté et l'autre sur le corps frottant; dans les nombreux cas où l'on n'observe qu'un seul fluide, c'est parce que l'autre est reçu par un corps non isolé qui le transmet à la terre et le laisse ainsi perdre dans le *réservoir commun*,

2. *Loi de Coulomb.* — Les masses électriques obéissent à la loi de l'attraction universelle découverte par Newton ; de là le théorème suivant :

La force agissant entre deux très petites masses électriques est dirigée suivant la ligne droite qui les joint : elle est proportionnelle au produit de ces deux masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance.

Coulomb a découvert expérimentalement cette loi fondamentale en électrisant des petites sphères en moelle de sureau et en mesurant leurs actions mutuelles au moyen de la *balance de torsion*. On admet que les masses électriques peuvent se mouvoir librement sur la surface et à l'intérieur des corps dits *conducteurs* ; la loi de Coulomb permet de démontrer que *l'électricité se porte toujours à la surface de ces corps* ; c'est ce que l'on peut vérifier expérimentalement de plusieurs manières ; il suffit, par exemple, de recouvrir par deux hémisphères isolés la surface d'une sphère électrisée et de retirer ensuite ces deux hémisphères pour enlever complètement l'électricité de la sphère. Partant de cette observation, on peut assimiler une charge électrique à une couche très mince d'électricité répandue sur la surface du conducteur. Pour un conducteur sphérique la couche est évidemment uniforme, c'est-à-dire d'épaisseur constante ; l'électricité accumulée en un point quelconque de la surface, étant repoussée par celle de tous les autres points, tend à s'échapper normalement à la sphère, mais elle est arrêtée par l'air sec, qui est mauvais conducteur ; cet effort auquel l'air résiste constitue ce que l'on appelle la *pression électrostatique* au point considéré ; on démontre mathématiquement que *la pression électrostatique est proportionnelle au carré de l'épaisseur de la couche électrique.*

3. *Distribution électrique.* — La distribution de l'électricité à la surface d'un conducteur n'est pas uniforme si cette surface n'est pas sphérique ; l'épaisseur de la couche électrique, et, par suite, la pression électrostatique, qui est proportionnelle au carré de cette épaisseur, varient d'un point à un autre ; s'agit-il par exemple, d'un ellipsoïde de révolution très allongé, l'épaisseur de la couche est beaucoup plus grande aux sommets aigus qu'à l'équateur ; supposons que l'axe de révolution s'allonge de plus en plus, la pression électrostatique aux sommets ira en croissant et finira par vaincre la résistance de l'air, en sorte que l'électricité s'échappera en formant une *aigrette* ou *effluve électrique*. Coulomb a étudié expérimentalement la distribution de l'électricité sur des conducteurs de formes diverses ; il employait, à cet effet, un *plan d'épreuve*, petit disque de clinquant fixé à l'extrémité d'une tige isolante de gomme laque ; en appliquant ce disque sur la surface électrisée et le retirant ensuite, on emporte avec lui la charge correspondant à la petite aire qu'il a recouverte ; il ne reste donc qu'à mesurer la charge de ce plan d'épreuve, ce que l'on peut faire au moyen d'une balance de torsion. Poisson a, de son côté, résolu mathématiquement plusieurs problèmes de distribution électrique. Le calcul et l'expérience donnent des résultats concordants.

4. *Potentiel électrique.* — Prenons un conducteur électrisé d'une forme quelconque et mettons un de ses points en communication, au moyen d'un long fil métallique de faible diamètre, avec un électromètre à feuilles d'or, appareil simple et trop connu pour qu'il soit utile de le décrire ici. Nous pourrions constater ce fait capital que *l'écart des feuilles d'or est toujours le même, quel que soit le point du conducteur que touche l'extrémité libre*

du fil métallique. Si, par exemple, on prend pour conducteur un ellipsoïde de révolution très allongé, un point de l'équateur, où la densité électrique ou épaisseur de la couche est un minimum, donnera le même écartement des feuilles que l'un des sommets du grand axe, où la densité électrique est un maximum. Ces expériences nous révèlent l'existence d'un état particulier d'un conducteur électrisé, état qu'elles caractérisent, tout en montrant qu'il est mesurable, et que l'on a appelé le *potentiel de ce conducteur électrisé.*

Le *potentiel* est pour un état électrique, une caractéristique analogue à celle qu'est la *température* pour un état calorifique. Mettons en présence l'un de l'autre deux corps chauds à températures inégales; celui qui a la température la plus élevée cédera de la chaleur à l'autre. Prenons deux conducteurs électrisés à potentiels inégaux et mettons-les en communication par un fil métallique, celui dont le potentiel est le plus élevé cédera de l'électricité à l'autre et les deux potentiels deviendront égaux. Ajoutons que le passage de l'électricité à travers le fil conducteur, passage presque instantané, constitue un *courant électrique*, phénomène fondamental de l'électrodynamique ou science de l'électricité en mouvement; nous voyons dès à présent que la *différence de potentiel*, à laquelle on donne souvent le nom de *force électromotrice*, doit être considérée comme la cause qui peut faire mouvoir le fluide électrique.

5. *Définition mathématique.* — La loi de Coulomb concernant les attractions et répulsions électriques s'exprime par la formule

$$\varphi = - \frac{mm'}{r^2}$$

dans laquelle m et m' désignent les deux masses électriques

infiniment petites que l'on met en présence, (en regardant chaque masse comme positive ou comme négative, suivant que son électricité est vitrée ou résineuse).

r désigne la distance des deux masses électriques; φ désigne leur action mutuelle, considérée comme négative s'il y a répulsion et comme positive s'il y a attraction.

Si l'on prend pour valeur de m' l'unité de masse positive, l'action attractive ou répulsive de la masse m sur cette unité sera représentée par

$$\varphi = -\frac{m}{r^2}$$

et dépendra de la distance r que l'on peut regarder comme une variable. En un mot cette action φ est une fonction de r ; elle a pour fonction primitive

$$\frac{m}{r}.$$

Cela posé, supposons qu'au lieu d'une seule masse agissante m , il y en ait un système quelconque $m, m', m'' \dots$, dont les distances à la masse-unité considérée soient respectivement $r, r', r'' \dots$; nous pourrons former la somme

$$V = \frac{m}{r} + \frac{m'}{r'} + \frac{m''}{r''} + \dots$$

à laquelle on donne le nom de *fonction potentielle* ou de *potentiel* du système des masses agissantes relativement à la masse-unité. Ce potentiel est une *fonction-de-point*, dont la valeur dépend de la position, ou, en d'autres termes, des coordonnées rectangulaires x, y, z de la masse-unité; on démontre aisément que les trois dérivées partielles de cette fonction relativement à x, y, z expriment les valeurs des trois composantes, parallèlement aux axes des coordon-

nées, de l'action totale exercée par les masses agissantes sur la masse unité.

En faisant varier la position (x, y, z) de cette masse-unité, on fait aussi varier, en général, la valeur du potentiel. Le lieu géométrique des points de l'espace pour lesquels le potentiel conserve une valeur constante est désigné sous le nom de *surface de niveau*; on démontre que *la force électrique correspondant à un point quelconque d'une surface de niveau est normale à cette surface*.

On peut prendre comme système $m, m', m'' \dots$, de masses agissantes les masses qui forment la couche électrique superficielle d'un conducteur électrisé. On démontre que la surface de ce conducteur est une surface de niveau, à laquelle correspond une valeur déterminée du potentiel; cette valeur est celle de ce que nous avons appelé le *potentiel du conducteur électrisé*.

On démontre en outre que la valeur constante du potentiel à la surface se conserve intégralement à l'intérieur du conducteur, dont le volume pourrait être, pour ce motif, appelé *volume de niveau*. En d'autres termes, la fonction

$$V = \sum \frac{m}{r}$$

conserve une valeur constante pour tous les points situés à l'intérieur du conducteur électrisé.

Dans le cas particulier où ce conducteur est sphérique, on peut déterminer la valeur de son potentiel en prenant celle de la fonction V pour le centre de la sphère; toutes les distances r devient alors égales au rayon R de cette sphère, en sorte que l'on a

$$V = \frac{\sum m}{R};$$

et comme la somme des masses m est égale à la charge

électrique M du conducteur, on obtient la formule très simple

$$V = \frac{M}{R}$$

qui se traduit en langage ordinaire par le théorème suivant : *Le potentiel d'un conducteur sphérique électrisé est égal au rapport de sa charge à son rayon.*

6. Méthode expérimentale. — Ces considérations théoriques, abrégées autant que possible et réduites à leur plus simple expression, ont le grand avantage de mettre en relief la nature intime du potentiel, de le définir avec une précision rigoureuse et de conduire directement au théorème qui fait connaître sa valeur pour les conducteurs sphériques. Mais comme elles peuvent échapper ou déplaire à un lecteur peu familiarisé avec les mathématiques, il convient de ne pas les regarder ici comme indispensables et d'indiquer une méthode expérimentale qui puisse leur être substituée.

Reprenons l'électroscope à feuilles d'or que nous pouvons mettre en communication, au moyen d'un fil métallique, avec un conducteur électrisé. Si nous doublons, triplons..., la charge de ce conducteur, (ce qui a pour effet de doubler, tripler, en un point quelconque, l'épaisseur mesurable de la couche électrique), l'écart indiqué par l'électromètre correspondra à une charge double, triple..., des feuilles d'or ; par conséquent *le potentiel d'un conducteur électrisé quelconque est proportionnel à la charge de ce conducteur.*

Supprimant la communication du conducteur avec l'électromètre, faisons-le communiquer, au moyen d'un fil métallique, avec un conducteur sphérique non électrisé ; l'électricité du conducteur chargé passera, en partie et

avec une grande rapidité, sur la sphère métallique, de façon que l'équilibre électrostatique s'établisse; les deux conducteurs (non sphérique et sphérique) posséderont alors le même potentiel. Nous pourrons, au moyen du plan d'épreuve, mesurer la charge réduite du premier conducteur et connaître son rapport à la charge primitive; si le potentiel de la sphère nous était connu, il suffirait de le multiplier par l'inverse de ce rapport pour obtenir le potentiel primitif du conducteur non sphérique. Si même nous augmentions la charge totale du système des deux conducteurs de manière à rendre au premier sa charge primitive, en produisant un nouvel équilibre électrostatique, il nous suffirait de connaître le potentiel du conducteur sphérique pour connaître le potentiel, absolument égal, que le conducteur non sphérique possédait dans son état primitif. Par conséquent *la mesure du potentiel d'un conducteur électrisé de forme quelconque peut se ramener à la mesure du potentiel d'un conducteur sphérique convenablement électrisé.*

Nous n'avons maintenant à nous occuper que des conducteurs sphériques. Prenons-en deux, ayant des rayons différents et portant des charges électriques quelconques; mettons-les en communication par un fil métallique, de manière à établir entr'eux l'équilibre électrostatique. Au moyen du plan d'épreuve, nous mesurerons la densité ou épaisseur de la couche électrique pour l'un de ces conducteurs et nous obtiendrons sa charge totale en multipliant cette densité par sa surface sphérique; nous agirons de même pour l'autre conducteur; nous pourrons ensuite constater que le rapport des deux charges est égal au rapport des rayons. Par conséquent *lorsque des conducteurs sphériques électrisés ont le même potentiel, leurs charges sont proportionnelles à leurs rayons.* Il est évident que la connaissance de la charge et du rayon d'un conduc-

teur sphérique suffit pour déterminer complètement son état électrique et, par conséquent, son potentiel ; nous venons de voir que pour que ce potentiel reste invariable lorsque la charge et le rayon varient en même temps, il faut et il suffit que le rapport de ces deux variables reste constant ; nous retrouvons donc ce théorème, déjà énoncé plus haut : *Le potentiel d'un conducteur sphérique électrisé est égal au rapport de sa charge à son rayon.*

Si le rayon de la sphère augmente indéfiniment, le rapport dont il s'agit tend vers zéro, quelle que soit la charge supposée constante : il en résulte que l'on peut considérer comme nul le potentiel du globe terrestre. Ainsi s'explique cette propriété du *réservoir commun* d'enlever toute électrisation aux conducteurs mis en communication avec le sol.

7. *Unités de masse électrique et de potentiel.* — On peut énoncer la loi de Coulomb, relative à l'action mutuelle de deux masses électriques sous la forme suivante. *Le produit des deux masses électriques est égal au produit de leur action mutuelle par le carré de la distance qui les sépare.* Dans le cas particulier où les deux masses sont parfaitement égales et de même signe, leur produit équivaut au carré de l'une d'elles et l'on voit que *la valeur commune de deux masses électriques égales et positives est égale au produit de la distance qui les sépare par la racine carrée de leur force répulsive.* Nous pouvons donc définir l'unité de masse électrique celle qui agissant à l'unité de distance sur une masse identique exerce sur elle une répulsion égale à l'unité de force.

Dans le système dit CGS (initiales des mots centimètre, gramme, seconde), on adopte pour unité de longueur le centimètre, pour unité de temps la seconde, et pour unité de force la dyne qui agissant sur la masse d'un gramme

lui communiquerait une accélération d'un centimètre par seconde. Il en résulte que l'unité CGS électrostatique est celle d'une masse électrique qui agissant à un centimètre de distance sur une masse identique la repousserait avec la force d'une dyne. Comme cette unité représente une quantité d'électricité excessivement petite, on la multiplie par le nombre 3×10^9 pour obtenir une unité *pratique* à laquelle on donne le nom de *coulomb*. Le coulomb vaut, par conséquent trois milliards d'unités CGS.

Puisque le potentiel d'une sphère électrisée a pour mesure le rapport de sa charge à son rayon, on peut prendre comme unité CGS de potentiel celui d'un conducteur sphérique ayant un rayon d'un centimètre et portant une charge égale à l'unité CGS de masse électrique. L'unité *pratique* de potentiel a reçu le nom de *volt* ; elle est 300 fois plus petite que l'unité CGS.

8. *Electrisation par influence*. — Lorsqu'un corps est placé dans le voisinage d'un corps électrisé, il s'électrise lui-même *par influence*. La découverte de ce phénomène remonte à 1738, elle est attribuée à Canton.

Le phénomène est surtout sensible lorsqu'il s'agit d'un corps conducteur. Si le corps influencé est primitivement à l'état neutre, les quantités d'électricité positive et d'électricité négative qui deviennent actives sont égales en valeur absolue, en sorte que la charge totale est nulle ; les deux plages positive et négative se trouvent séparées, sur la surface de ce corps, par une ligne *neutre* dépourvue d'électricité.

Lorsqu'un conducteur isolé présente une cavité intérieure, il suffit d'introduire dans cette cavité (figure 1) ; une masse électrique m pour obtenir l'électrisation par influence. Supposons, pour fixer les idées, que cette masse m soit positive. La surface intérieure S' du conducteur se

chargera d'une couche d'électricité négative tandis que la surface extérieure S se chargera d'une couche d'électricité positive. Les charges de ces deux surfaces S et S' sont égales en valeur absolue, et cette valeur est celle de m . La

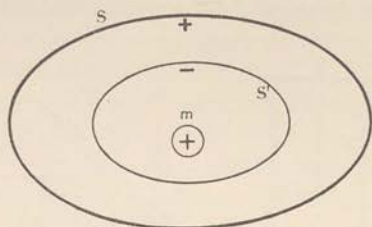


Fig. 1.

charge négative de la surface intérieure S' et la masse influençante m se font équilibre pour tout point extérieur; il en résulte que la distribution électrique sur S' dépend de la position de m ; il en résulte aussi que l'action exercée par le système sur un point extérieur se réduit à celle de la charge positive de S ; cette charge est en équilibre spontané sur la surface extérieure du conducteur, en sorte que sa distribution est indépendante de la position de la masse inductrice m .

Il est clair qu'une cavité entièrement close, comme celle qu'indique la figure théorique ci-dessus ne permettrait pas de réaliser les expériences. On fait disparaître cette difficulté en prenant pour corps influencé un cylindre métallique creux (figure 2), appelé *cylindre de Faraday*, à l'intérieur duquel il est facile d'introduire une petite sphère influençante m , attachée par un fil de soie ou munie d'un petit manche isolant. On peut mettre la surface extérieure S en communication avec un électroscope à feuille d'or. Dès que la sphère m commence à pénétrer dans le cylindre, les feuilles de l'électromètre commencent à diver-

ger ; l'écart atteint son maximum dès que m est à une certaine distance de l'orifice ; on constate alors que cet écart reste invariable lorsque l'on déplace m à l'intérieur du cylindre, et même lorsqu'on lui fait toucher la surface S' . Le contact de m est de S' a pour effet de neutraliser la

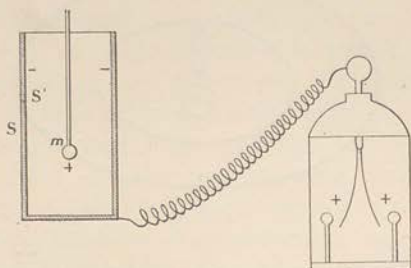


Fig. 2.

sphère influençante, dont la charge positive se combine avec la charge négative de S' ; la charge positive de S subsiste seule, en sorte que les choses sont les mêmes que si la sphère avait simplement cédé sa charge au cylindre. En retirant la sphère du cylindre, la chargeant de nouveau, la réintroduisant et lui faisant encore toucher la surface S' , on communiquera sa nouvelle charge au cylindre. Comme cette opération peut être indéfiniment renouvelée, nous possédons un moyen simple d'accumuler sur le cylindre conducteur une charge de plus en plus grande d'électricité.

Nous avons supposé que la sphère m était conductrice ; on peut aussi employer une sphère isolante pour obtenir les effets d'induction sur le cylindre. Dans ce cas, le simple contact de cette sphère avec la surface intérieure S' ne suffirait pas pour obtenir sa neutralisation ; mais on peut arriver au même résultat, sans recourir au contact, en

armant la surface S' de pointes très fines, analogues à des pointes d'aiguilles. Une pointe peut être assimilée à un ellipsoïde de révolution très allongé, en sorte que, la pression électrostatique étant excessive à son extrémité, l'électricité s'échappe dans l'air ambiant et produit ce que l'on appelle le *vent électrique*. Par conséquent il suffira d'introduire la sphère m dans le cylindre de Faraday, sans lui faire toucher la surface intérieure S' , pour que l'électricité négative de cette surface s'échappe par les pointes et vienne neutraliser l'électricité positive de la sphère. On pourra, comme précédemment, répéter plusieurs fois l'opération et accumuler une charge croissante d'électricité positive sur la surface extérieure S du cylindre de Faraday.

Dans cette expérience, l'influence ou *induction électrique* ne contribue pas réellement à la production de l'électricité ; la charge que l'on accumule sur la surface extérieure S du cylindre n'est, en définitive, que la somme des charges successives qu'il faut donner extérieurement à la sphère inductrice. On peut, au moyen de l'*électrophore*, employer une charge initiale que l'on ne renouvelle pas pour obtenir par influence une quantité indéfinie d'électricité. L'invention de l'électrophore remonte à 1776 ; elle est attribuée au Suédois Wilke. Cet appareil se compose d'un gâteau de résine, coulé dans un moule cylindrique de bois ou de métal, et d'un plateau à surface métallique muni d'un manche isolant. On électrise négativement le gâteau de résine en le battant avec une peau de chat, pour qu'il puisse remplir le rôle d'inducteur. Posons le plateau sur ce gâteau ; il s'électrisera par influence ; il suffit de le toucher avec le doigt pour faire jaillir une étincelle et enlever ainsi son électricité négative. Enlevons ensuite ce plateau en le tirant par son manche isolant ; il emporte avec lui une charge d'électricité positive, disponible au gré de l'opérateur et pouvant, par exemple, être transmise à un

collecteur. Redevenu neutre, le plateau peut, par la même petite manœuvre, recevoir une nouvelle charge positive qui sera transmise au collecteur. L'opération peut être répétée un grand nombre de fois sans qu'il soit nécessaire de réélectriser le gâteau de résine. On peut donc ainsi se servir d'une petite quantité d'électricité pour en produire une quantité pour ainsi dire indéfinie. On serait tenté de croire à une véritable création d'électricité, n'exigeant aucune dépense d'énergie extérieure ; c'est là cependant une chose impossible ; il suffit, pour dissiper l'illusion trompeuse, de remarquer que les déplacements nécessaires du plateau exigent de la part de l'opérateur un certain travail mécanique qui représente la dépense d'énergie extérieure indispensable pour la production de l'énergie électrique.

Terminons cette étude de l'électrisation par influence, par une observation très générale.

Mettons en présence les uns des autres plusieurs conducteurs communiquant tous avec le sol, à l'exception d'un seul auquel nous donnerons une charge quelconque. Lorsque l'équilibre est établi, le conducteur isolé a un potentiel déterminé, tandis que tous les autres ont un potentiel nul. On démontre, dans ce cas, que *chacun des conducteurs communiquant avec le sol est chargé d'électricité contraire à celle du conducteur isolé et que sa charge n'est qu'une fraction de la charge de ce dernier.*

9. *Capacité d'un conducteur.* — On appelle *capacité* d'un conducteur *la charge nécessaire pour rendre son potentiel égal à l'unité lorsque tous les conducteurs qui l'entourent sont mis en communication avec le sol.*

Cette capacité électrique dépend non seulement de la forme du conducteur, mais encore des formes et situations relatives de tous les conducteurs avoisinants.

Désignons cette capacité par C . Pour multiplier le po-

tentiel, actuellement égal à l'unité, par le nombre quelconque V , il suffirait de multiplier par ce même nombre la densité superficielle en chaque point (ce qui n'altérerait pas l'équilibre du système); on remplacerait ainsi la charge primitive C par la charge M égale à CV . La capacité peut donc se définir, en considérant un état d'équilibre quelconque, par *le rapport de la charge du conducteur à son potentiel*.

La capacité d'un conducteur ne dépend absolument que de sa forme, lorsqu'il est suffisamment éloigné de tout autre conducteur pour que l'influence électrique ne puisse par s'exercer. Si ce conducteur est *sphérique*, de rayon R , sa charge M correspond au potentiel $\frac{M}{R}$, en sorte que sa *capacité* (rapport de la charge au potentiel) *est égale à son rayon R* . Pour porter cette sphère au potentiel unité, il faut lui donner une charge contenant autant d'unités CGS d'électricité qu'il y a de centimètres dans la longueur de son rayon.

L'unité CGS de capacité est la capacité d'un conducteur auquel une charge égal à l'unité CGS d'électricité ferait acquérir l'unité CGS de potentiel. On emploie dans la pratique une unité 900 milliards de fois plus grande, à laquelle on donne le nom de *farad*; c'est la capacité d'un conducteur auquel la charge d'un coulomb ferait acquérir le potentiel d'un volt. On appelle *microfarad* la millionième partie d'un farad, soit 900.000 unités CGS.

La capacité du globe terrestre est de 637.200.000 CGS ou de 708 microfarads.

10. Machines électriques. — Ces machines se ramènent à deux types, *machines à frottement* et *machines à induction*.

Les premières sont à peu près abandonnées aujourd'hui,

parce que les secondes leur sont supérieures, mais elles ont un grand intérêt historique. On trouve dans tous les cabinets de physique la *machine de Ramsden*, qui date de 1766 et dont nous rappellerons sommairement les dispositions. Un grand plateau de verre, mobile autour d'un axe horizontal au moyen d'une manivelle, s'électrise en frottant contre deux paires de coussins, en cuir rembourré saupoudré d'or mussif, respectivement placées en haut et en bas de son diamètre vertical ; ces coussins sont appuyés sur le plateau et maintenus en contact avec lui par des ressorts flexibles. Le plateau de verre passe d'ailleurs, sans contact, entre deux conducteurs en fer à cheval, placés sur son diamètre horizontal ; ces conducteurs sont munis intérieurement de peignes à dents pointues. L'électricité développée par le frottement du verre sur les coussins est transportée par le plateau entre les peignes qui la neutralisent et font acquérir une charge égale d'électricité positive aux conducteurs isolés avec lesquels ils sont en communication ; bien qu'il ne s'agisse pas ici de conducteurs fermés, l'influence électrique remplit un rôle analogue à celui que nous avons précédemment décrit (n° 8) à propos du cylindre de Faraday. Le plateau de verre tournant est *producteur* d'électricité en frottant contre les coussins et *transmetteur* en passant près des peignes ; les conducteurs communiquant avec ces derniers forment un *collecteur* d'électricité. On fait ordinairement communiquer les coussins avec le sol pour envoyer au réservoir commun l'électricité négative dont ils se chargent et pour annuler leur potentiel. C'est l'électricité positive accumulée sur le collecteur qui sert aux expériences. Avec une machine de Ramsden dont le plateau de verre a 80 centimètres de diamètre, on peut obtenir des étincelles de 10 centimètres. Lorsque l'on arrête le mouvement du plateau, la déperdition de

l'électricité se produit d'autant plus vite que l'air ambiant est plus humide (1).

L'énergie électrique communiquée au collecteur est une transformation du travail mécanique nécessaire pour transporter l'électricité du plateau depuis les coussins producteurs qui l'attirent jusqu'aux collecteurs qui la repoussent. Le travail mécanique que coûte le frottement se transforme principalement en chaleur; il en résulte que les machines à frottement n'ont qu'un faible rendement utile. Nous voyons ainsi qu'au lieu de recourir au frottement pour produire la totalité de l'électricité, que la machine doit rendre disponible, il doit être plus avantageux de recourir au principe de l'électrophore, qui permet d'obtenir par induction une quantité indéfinie d'électricité, au moyen d'une faible charge préalablement donnée à un corps isolant servant d'*amorce*. Tel est, en effet, le principe fondamental des *machines à induction* que l'on peut considérer comme des *multiplicateurs d'électricité*.

Voici une observation qu'il est utile de faire tout d'abord. C'est ordinairement un plateau *conducteur* que l'on fait influencer par le gâteau de résine électrisé de l'électrophore; si l'on remplaçait la substance conductrice de ce plateau par un corps mauvais conducteur, celui-ci, soumis à l'influence, se comporterait comme un assemblage de particules conductrices séparées les unes des autres par un milieu isolant; chacune de ces particules se chargerait des deux électricités, de manière que l'électricité négative (de même nature que celle de la résine influençante) occuperait, sur la surface de cette particule, la région la plus

(1) Deux autres machines à frottement, inventées postérieurement à celle de Ramsden, doivent être citées ici, ne fut-ce que pour mémoire. Ce sont la *machine de Van Marum*, qui donne à volonté l'une ou l'autre électricité, et la *machine de Nairne* qui donne en même temps les deux électricités. On trouve leur description dans la plupart des traités de physique.

éloignée du gâteau ; si donc le plateau est très-mince, il fonctionnera presque comme s'il était conducteur, se chargeant d'électricité positive sur la face touchant le gâteau et d'électricité négative sur l'autre face.

La *machine de Carré* (fig. 3) est une bonne machine à induction ; son *amorçeur* (qui doit remplir le rôle induc-

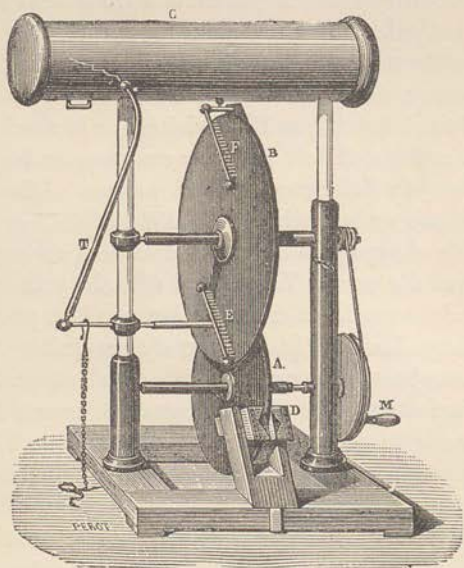


Fig. 3.

teur du gâteau de résine), est un petit disque de verre A qui se charge d'électricité *positive* en frottant sur une paire de coussins analogues à ceux de la machine de Ramsden ; ce petit disque, mis en mouvement par l'axe de la poulie à gorge qui actionne le disque principal B, tourne beaucoup moins vite que ce dernier, son frottement contre les coussins ayant seulement pour objet de compenser les déper-

ditions lentes, mais inévitables, de sa petite charge électrique. C'est cette petite charge de l'amorceur qui, par la mise en œuvre des phénomènes de l'influence, sert de base à la production d'une quantité indéfinie d'électricité. Le grand disque B fait office de *multiplicateur* et de *transmetteur*. A cet effet, sa partie inférieure passe, sans contact, entre l'amorceur A et un peigne E relié à la terre, tandis que sa partie supérieure passe très près d'un peigne F attaché au conducteur cylindrique C, destiné à remplir l'office de *collecteur*. Le jeu de la machine est facile à comprendre. La partie inférieure du mince et large disque B (en gutta-percha ou en ébonite), s'électrise par influence; son électricité positive est neutralisée par l'action du peigne E, en sorte qu'elle reste chargée d'électricité négative que la rotation du disque fait bientôt arriver en face du peigne F; là cette petite charge est neutralisée sur le disque; mais, en même temps, le collecteur C emmagasine une charge égale et de même signe. Comme les mêmes faits se réitèrent constamment, par suite de la rotation rapide du disque B, la charge du collecteur augmente de plus en plus. Ajoutons qu'un exciteur T, attaché à la tige conductrice qui porte le peigne E et pouvant tourner autour de cette tige, sert à tirer de longues étincelles du cylindre collecteur.

Parlons maintenant de la *machine de Wimshurst*, dont la vogue est aujourd'hui supérieure à celle de la machine Carré. Comme le mode de fonctionnement de cette nouvelle machine est assez difficile à saisir et surtout à décrire directement, il est bon d'atténuer cette difficulté en considérant d'abord un petit appareil de faible puissance, mais très ingénieux, auquel Sir W. Thomson, son inventeur, a donné le nom de *replenisher*. La figure 4 représente une coupe horizontale de cet appareil; A et B sont deux portions de cylindres verticaux, métalliques et isolées, ayant

même axe O ; autour de cet axe peut tourner un système de deux lames métalliques cylindriques P et Q , isolées l'une de l'autre, qui peuvent toucher, pendant leur rotation dans le sens indiqué par la flèche, quatre ressorts métalliques, a et b appartenant respectivement aux portions de cylindre A et B , c et d communiquant entre eux au moyen

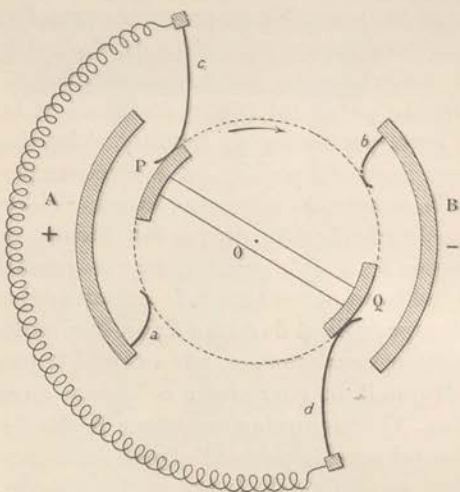


Fig. 4.

d'un conducteur métallique. Supposons que A soit chargé d'électricité positive ; la lame P , dans la position qu'elle occupe sur la figure, s'électrise par influence, cède son électricité positive au ressort c et reste chargée d'électricité négative qu'elle emporte avec elle jusqu'à ce qu'elle vienne rencontrer le ressort b qui lui fait céder toute sa charge au cylindre B ; dans cette première phase du mouvement A a rempli le rôle d'*inducteur* et B celui de *collecteur*, mais ces deux rôles vont maintenant s'invertir, car

P, continuant à tourner, s'électrise sous l'influence de B, cède son électricité négative au ressort *d* et emporte une charge d'électricité positive qu'il transmet au cylindre A en touchant le ressort *a*. La lame Q agit de la même manière que la lame P, et les effets de ces deux actions s'ajoutent. Remarquons d'ailleurs que la répartition des rôles d'inducteur et de collecteur entre les deux cylindres A et B est faite simultanément des deux façons inverses par les actions respectives des lames P et Q. Cette petite machine n'a pas besoin d'être amorcée, parce qu'un conducteur n'est jamais complètement à l'état neutre ; la moindre trace d'électricité suffit pour que l'action commence et que les cylindres A et B se chargent respectivement d'électricité positive et

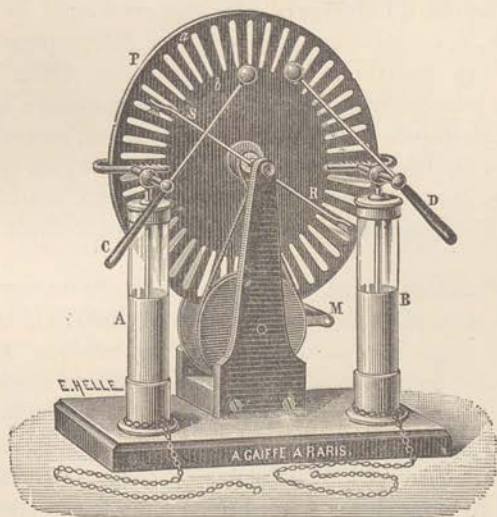


Fig. 5.

d'électricité négative en quantités croissantes. Cela posé, revenons à la machine Wimshurst (fig. 5). Elle se compose

de deux disques parallèles, en verre ou en ébonite, tournant en sens inverses et portant chacun, vers la périphérie de sa face extérieure, une série de secteurs d'étain *ab* équidistants. A chaque plateau correspond un conducteur diamétral SR, non isolé et armé à ses deux extrémités de pinceaux de clinquant en contact avec la surface du disque ; ces deux conducteurs diamétraux, respectivement attribués aux deux disques, sont inclinés à 45 degrés sur l'horizon et perpendiculaires l'un à l'autre. Deux peignes métalliques, isolés par leurs supports A et B et placés aux extrémités du diamètre horizontal, embrassent chacun les deux plateaux. La théorie de cette machine peut se déduire de celle du replenisher. Les secteurs d'étain d'un plateau servent d'inducteurs par rapport à ceux de l'autre plateau, et inversement ; les pinceaux de clinquant jouent le rôle des ressorts *a* et *b* ; les peignes, en raison du pouvoir de leurs pointes, jouent le rôle des ressorts *c* et *d*. Des bras métalliques C et D reliés à ces peignes, recueillent les charges électriques obtenues par influence ; on peut leur ajouter des collecteurs cylindriques. Cette machine s'amorce d'elle-même et fonctionne remarquablement bien.

11. *Condensateurs*. — On appelle *condensateur* un appareil composé de deux conducteurs, séparés l'un de l'autre par un corps non conducteur ou *diélectrique* de faible épaisseur ; cette disposition a pour but d'augmenter notablement la capacité électrique de l'un des conducteurs.

Voici comment le phénomène de la condensation a été découvert. En 1746, Muschenbrock, célèbre professeur de Leyde, préoccupé des déperditions d'électricité que subissent au contact de l'air les corps électrisés, pensa qu'il serait possible de remédier à cet inconvénient en renfermant ces corps dans des vases isolants. Il voulut savoir si l'eau renfermée dans une bouteille de verre pourrait être élec-

trisée plus fortement que lorsqu'elle était contenue dans un vase moins mauvais conducteur. Comme Otto de Guérick, il employait pour générateur d'électricité un globe de soufre tournant et frottant contre les mains d'un aide-opérateur ; un cylindre de fer-blanc, suspendu horizontalement par des cordons de soie recueillait l'électricité au moyen d'une chaîne descendant près de la surface de ce globe. Muschenbrock, tenant de la main droite sa bouteille, dans l'eau de laquelle plongeait une petite chaîne enroulée sur le conducteur par son autre extrémité, voulut, après quelques instants, arrêter l'électrisation qu'il jugeait suffisante. Pour obtenir ce résultat, il suffisait de faire sortir de l'eau la petite chaîne plongeante ; Muschenbrock aurait pu y arriver en abaissant suffisamment sa bouteille, mais, au lieu d'agir ainsi, il voulut sortir la chaîne en la soulevant de la main gauche ; il reçut aussitôt une commotion si énergique qu'il en fut vraiment épouvanté ; quelques jours après il déclarait à Réaumur qu'il ne voudrait point recommencer même au prix de la couronne de France. Deux de ses amis, Cunéus et Allaman, témoins de cette expérience, furent frappés de la nouveauté et de l'intérêt du phénomène qui venait de se produire et le jugèrent digne d'une étude sérieuse. Allaman eut l'idée de plonger la bouteille dans une cuve d'eau, au lieu de la tenir à la main, pour électriser son eau intérieure par le même procédé que Muschenbrock ; ayant alors touché d'une main l'eau de la cuve tandis que de l'autre il touchait la chaîne, il reçut une forte commotion. Le principe du condensateur était ainsi découvert ; l'eau intérieure à la bouteille et l'eau de la cuve constituaient deux conducteurs séparés par un diélectrique en verre. Bevis remplaça ensuite l'eau intérieure par des feuilles de clinquant et l'eau extérieure par une feuille d'étain collée sur la surface de la bouteille ; telle est encore aujourd'hui la disposition de la *bouteille de*

Leyde; une tige de cuivre recourbée, traversant le goulot, communique avec l'armature de clinquant.

Exposons brièvement la théorie de cette appareil. Les deux armatures intérieure et extérieure, séparées l'une de l'autre par le *diélectrique* (fig. 6) portent respectivement les nom de *collecteur* et de *condenseur*. On met le collec-

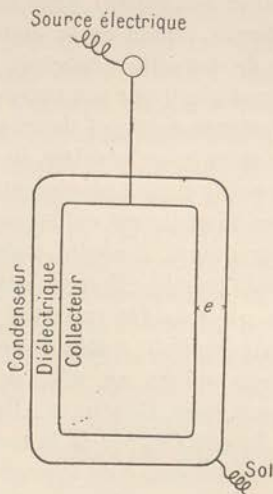


Fig. 6.

teur en communication avec une source électrique et le condenseur en communication avec le sol. Désignons par e l'épaisseur, supposée constante, du diélectrique. La source électrique, mise temporairement en œuvre, a communiqué au collecteur une charge M , répandue sur sa surface extérieure, en le portant au potentiel V ; ce collecteur, agissant par influence sur le condenseur, induit sur sa surface extérieure une charge M , qui se dégage dans le sol, et sur sa surface intérieure une charge $-M$, égale

et de signe contraire, qui reste sur cette surface; le potentiel du condensateur est maintenu à zéro par sa communication avec le sol. La valeur de la capacité électrique C du collecteur est donnée par la formule

$$C = \frac{M}{V};$$

cette capacité, en présence du condensateur communiquant avec le sol, est nécessairement supérieure à ce que serait la capacité du collecteur s'il était infiniment éloigné de tout autre conducteur. Désignons par σ la densité ou épaisseur de la couche électrique sur la surface interne du collecteur et par S cette surface; nous aurons évidemment

$$M = S\sigma;$$

on démontre d'ailleurs mathématiquement que le potentiel de ce collecteur a pour valeur

$$V = 4\pi e\sigma,$$

π désignant le rapport numérique 3,141592... de la circonférence au diamètre. Par conséquent la capacité électrique C a pour valeur

$$C = \frac{S\sigma}{4\pi e\sigma} = \frac{S}{4\pi e};$$

on voit ainsi que la *capacité du collecteur est proportionnelle à la surface de l'appareil et inversement proportionnelle à l'épaisseur du diélectrique*. Il y a, par conséquent, intérêt à prendre pour diélectrique une lame aussi mince que possible, mais en donnant à cette lame isolante une épaisseur trop faible on s'exposerait à la voir percer par une décharge intérieure.

Pour obtenir la *décharge brusque* d'un condensateur,

on met en communication ses deux armatures au moyen de l'*excitateur électrique*, sorte de conducteur formé de deux tiges courbes articulées, munies chacune d'un manche de verre. On peut aussi opérer une *décharge lente*, en enlevant successivement à chacune des armatures l'électricité qui y devient libre lorsque l'on touche l'armature opposée ; théoriquement la décharge complète par ce procédé exigerait un nombre infini de contacts successifs.

L'expérience suivante montre que les électricités des deux armatures se portent en partie sur les deux faces du diélectrique, qui ont tendance à la retenir. On prend un condensateur démontable dont le diélectrique est un gobelet de verre et dont les deux armatures sont des gobelets de métal ; le diélectrique s'introduit avec contact dans le condensateur, et le collecteur s'introduit avec contact dans le diélectrique. Après avoir chargé ce condensateur à la manière ordinaire, on enlève ses deux armatures, on les décharge en les mettant en communication avec le sol, puis on remonte l'appareil ; on peut alors obtenir une étincelle de décharge presque aussi forte que si l'on avait pas démonté le condensateur.

Nous avons dit que la capacité du collecteur est inversement proportionnelle à l'épaisseur du diélectrique ; si donc cette épaisseur est rendue double, triple,.... la capacité se réduira à la moitié, au tiers,..... de sa valeur primitive. Il en est ainsi à la condition que l'essence du diélectrique, (air sec, ébonite, soufre, verre), reste la même quand on fait varier l'épaisseur. A égalité d'épaisseur de la lame isolante, la capacité d'un condensateur est modifiée lorsque l'on change la nature du diélectrique ; on a donné le nom de *pouvoir inducteur spécifique* d'une substance diélectrique au nombre par lequel il faudrait multiplier la capacité d'un condensateur à air sec pour obtenir celle du même condensateur dans lequel on aurait remplacé la couche d'air par

une lame de même épaisseur de la substance dont il s'agit ; les valeurs de ce pouvoir inducteur sont, par exemple,

Pour l'ébonite, de 2,2 à 2,7.

Pour le soufre. de 3,8.

Pour le verre, de 5,8 à 6,3 ;

on voit que l'emploi du verre est particulièrement avantageux pour la construction des condensateurs.

12. *Energie électrique.* — Tout conducteur électrisé constitue une source d'énergie électrique, susceptible de se transformer en travail mécanique ou en énergie calorifique, lorsque l'on ramène ce conducteur à l'état neutre. On démontre que *l'énergie d'un conducteur électrisé est égale à la moitié du produit de sa charge par son potentiel.*

Désignons cette énergie par W , nous aurons

$$W = \frac{1}{2} MV$$

M et V étant la charge et le potentiel du conducteur. En remarquant que la capacité C de ce conducteur a pour valeur,

$$C = \frac{M}{V}$$

on arrive aisément aux formules

$$W = \frac{1}{2} \frac{M^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2$$

par conséquent *l'énergie électrique est proportionnelle au carré de la charge ou au carré du potentiel.*

Le *travail mécanique*, qui est une des formes de l'énergie, se mesure en faisant le produit d'une force par le

chemin que son point d'application parcourt dans sa direction. L'unité CGS de travail mécanique est, par conséquent, le travail d'une force égale à une *dyne* dont le point d'application parcourt un *centimètre* ; cette unité a reçu le nom d'*erg* ; on pourrait dire que l'*erg* est une *dyne-centimètre*. L'énergie électrique, qui équivaut toujours à un travail mécanique, peut s'exprimer en *ergs* ; mais on remplace souvent cette unité CGS par une unité pratique cent millions de fois plus forte à laquelle on a donné le nom de *joule* ;

L'énergie électrique d'un condensateur, ne diffère pas de celle de son collecteur ; elle est donnée par la formule, applicable à tout conducteur électrisé,

$$W = \frac{1}{2} MV = \frac{1}{2} CV^2 ;$$

en recourant aux formules précédemment établies

$$M = S \sigma$$

$$V = 4 \pi e \sigma$$

$$C = \frac{M}{V} = \frac{S}{4 \pi e}$$

on trouve

$$W = \frac{1}{2} \frac{S}{4 \pi e} V^2$$

par conséquent, *l'énergie électrique d'un condensateur est proportionnelle à sa surface, inversement proportionnelle à l'épaisseur de son diélectrique et proportionnelle au carré du potentiel de son collecteur.*

On augmente cette énergie en diminuant l'épaisseur de la lame isolante, mais nous avons fait remarquer qu'il y a pratiquement une limite à cette diminution ; c'est donc surtout en augmentant la surface des armatures que l'on peut accroître l'énergie électrique d'un condensateur.

13. *Batteries électriques.* — On fabrique couramment aujourd'hui des *jarres* ou bouteilles de Leyde d'assez grande surface, mais sans toutefois leur donner des dimensions trop grandes pour qu'elles cessent d'être portatives et deviennent par trop encombrantes; de même qu'il y a une limite pratique à la minceur de la couche isolante, de même il y a une limite pratique au volume du condensateur.

On peut néanmoins augmenter autant qu'on le veut la surface et par conséquent la puissance de l'appareil, en associant un nombre suffisant de jarres, ordinairement toutes identiques. On forme ainsi ce que l'on appelle une *batterie électrique*.

C'est à Bevis et Watson qu'appartient l'idée première de réunir plusieurs jarres dans une boîte doublée d'étain; une chaîne fait communiquer avec le sol l'étain de cette boîte et, par conséquent, tous les condensateurs (armatures extérieures) des jarres; les collecteurs (armatures intérieures) sont mis en communication entre eux par la réunion de tringles métalliques horizontales fixées à leurs tiges. C'est ainsi que l'on constitue une *batterie en surface*. On démontre facilement que *la capacité d'une batterie en surface est égale à autant de fois la capacité d'un des condensateurs qui la composent qu'il y a d'unités dans le nombre de ces condensateurs*. Cette capacité de la batterie équivaut à celle d'une jarre unique dont la surface aurait été multipliée par ce nombre. *L'énergie électrique de la batterie est la somme des énergies électriques de ses éléments*. Dans la seconde moitié du dix-huitième siècle, on avait construit à Harlem une batterie de 58 mètres carrés de surface dont la commotion foudroyait un bœuf. Désignons par n le nombre des jarres, par C leur capacité commune, par M et V la charge et le potentiel de chacune d'elles; l'énergie W de la batterie aura pour valeur.

$$W = \frac{1}{2} nMV = \frac{1}{2} nCV^2;$$

par conséquent, *pour un potentiel donné, l'énergie est proportionnelle au nombre des bouteilles.* La charge totale Q de la batterie, charge fournie par la source d'électricité que l'on a mise en œuvre, étant égale à n fois la charge M de chaque bouteille, on a

$$M = \frac{Q}{n};$$

on en déduit

$$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} n \frac{M^2}{C} = \frac{1}{2n} \frac{Q^2}{C};$$

par conséquent, *pour une charge totale donnée de la batterie, l'énergie est inversement proportionnelle au nombre des bouteilles.*

Au lieu de constituer une batterie en surface, on peut constituer une *batterie en cascade*. Pour cela on isole toutes les bouteilles; on fait communiquer le collecteur de la première avec la source d'électricité et son condensateur avec le collecteur de la seconde; le condensateur de celle-ci est mis en communication avec le collecteur de la troisième, et ainsi de suite; enfin le condensateur de la dernière bouteille est mis en communication avec le sol. Le potentiel du collecteur décroît d'une bouteille à l'autre, à partir de la valeur V qu'il prend sur la première bouteille; on pourrait dire que le potentiel tombe par cascades. La charge totale Q se réduit à la charge M du collecteur de la première bouteille. Chaque système d'armatures extérieure et intérieure communiquant constitue un système électrisé par influence dont la charge totale est nulle, en sorte qu'il ne contribue pas à l'énergie électrique W de la batterie; l'armature extérieure de la dernière bouteille étant au poten-

tiel zéro, par suite de sa communication avec le sol, ne contribue pas non plus à cette valeur ; l'énergie totale de la batterie est par conséquent

$$W = \frac{1}{2} MV = \frac{1}{2} QV.$$

On démontre d'ailleurs que *la capacité du système s'obtient en divisant celle d'une des bouteilles par le nombre de ces bouteilles*, en sorte que l'on a

$$\frac{C}{n} = \frac{Q}{V},$$

en désignant par C la capacité électrique d'une des jarres ; on en déduit

$$Q = \frac{CV}{n}$$

$$V = \frac{nQ}{C};$$

en substituant ces valeurs dans celle de W', on trouve

$$W' = \frac{1}{2} \frac{CV^2}{n} = \frac{1}{2} \frac{nQ^2}{C}$$

Nous voyons ainsi que *pour un potentiel donné, l'énergie électrique de la batterie est inversement proportionnelle au nombre des bouteilles*, et que *pour une charge totale donnée, l'énergie est proportionnelle au nombre de ces bouteilles*.

Le groupement en cascade conduit, par conséquent, à des résultats inverses de ceux qui résultent du groupement en surface.

Si l'on ne disposait que d'une quantité fixe d'électricité Q, il y aurait intérêt à adopter la batterie en cascade préférablement à la batterie en surface, car l'énergie W' ob-

tenue dans le premier groupement serait n^2 fois plus grande que l'énergie W correspondant au second.

14. *Décharge d'un condensateur.* — Établissons la communication entre les deux armatures d'un condensateur au moyen de deux conducteurs métalliques, partant respectivement de chacune d'elles et dont les extrémités libres arrivent en regard l'une de l'autre, de manière que leurs boules terminales laissent entre elles un petit intervalle d'une largeur convenablement choisie. Dans ces conditions, les deux armatures communiquent par un conducteur composé de deux parties métalliques et d'une couche d'air intercalée de faible épaisseur. Chargeons alors le condensateur au moyen d'une machine électrique dont les pôles seront mis en communication avec les armatures; aussitôt que la différence de potentiel entre les deux armatures du condensateur atteindra une valeur déterminée, une vive étincelle éclatera brusquement entre les deux boules de décharge. En faisant tourner régulièrement et sans interruption le plateau de la machine électrique, le condensateur sera périodiquement chargé par cette machine et déchargé par les boules.

La différence de potentiel nécessaire entre les deux électrodes pour que l'étincelle jaillisse dépend de la distance des deux boules et croît avec elle. M. Mascart a obtenu les résultats suivants, en opérant dans l'air sec avec deux boules de 22 millimètres de diamètre.

| Distances en centimètres | Différences de potentiels en volts |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| 0,1 | 5.490 |
| 0,5 | 26.730 |
| 1,0 | 48.600 |
| 1,5 | 57.000 |
| 2,0 | 64.800 |

| Distances en centimètres | Différences de potentiels en volts |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| 3,0 | 76.800 |
| 5,0 | 94.800 |
| 10,0 | 119.100 |
| 15,0 | 127.300 |

Le diamètre des boules de décharge exerce sensiblement son influence sur les résultats. Pour une même distance explosive, la différence de potentiel diminue ou augmente suivant que les boules sont plus petites ou plus grosses. Indiquons à ce sujet que MM. Thomson, Mascart et Baillet ont opéré sur des boules d'un centimètre de diamètre, en faisant varier la distance explosive depuis un dixième de millimètre jusqu'à 5 millimètres; les différences de potentiel correspondantes ont varié depuis 804 jusqu'à 17.290 volts. Nous voyons que, pour cette dernière distance de 5 millimètres, la tension ou différence de potentiel correspondante est de 17.290 volts avec les boules de 1 cm. et de 26.730 avec les boules de 2 cm. 2. En somme cette influence des diamètres des boules explosives n'est pas assez considérable pour que l'on doive lui attribuer un intérêt de premier ordre.

La décharge du condensateur par les deux boules se fait pour ainsi dire instantanément, tant sa durée est courte. Pour se rendre compte de la durée de cette décharge, il est intéressant de mesurer la *durée lumineuse* de l'étincelle explosive. En 1862, Felici a essayé d'évaluer approximativement cette durée, en employant un disque de verre recouvert sur l'une de ses faces d'un vernis opaque sur lequel un grand nombre de traits transparents très-fins, (360 par exemple), avaient été régulièrement gravés près de la circonférence périphérique; l'étincelle éclatant en face des divisions de ce disque, tournant autour de son

centre à 200 tours par seconde, était visée au moyen d'un microscope dont l'oculaire portait un micromètre, c'est-à-dire une lame de verre divisée en parties égales par des traits excessivement fins. L'observation consistait à compter le nombre des divisions du micromètre couvertes, au moment où jaillissait l'étincelle, par l'apparence lumineuse d'un trait en mouvement; en retranchant de ce nombre observé le nombre, égal à 3, des divisions du micromètre couvertes par un trait en repos, on obtenait une différence d'où l'on pouvait théoriquement déduire la durée lumineuse de l'étincelle. Quelque ingénieuse que soit cette méthode, Felici n'a tiré de ses observations aucune loi numérique, parce qu'il lui était impossible d'arriver à la précision dans ses mesures. L'image d'un trait en mouvement apparaît élargie, par suite de la persistance de l'impression optique, et c'est cet élargissement qu'il s'agirait de mesurer; or l'un des bords de cette image, celui qui est en arrière par rapport au sens de la rotation du disque, offre bien une assez grande netteté, mais celui qui est en avant est pâle et très mal déterminé; d'autre part l'étincelle éclate à l'imprévu et la vision de son image ne dure qu'une fraction de seconde, il est donc impossible à l'observateur de compter exactement le nombre assez grand, (18, par exemple), des divisions du micromètre que recouvre l'image lumineuse; les expériences de Felici ne pouvaient donc pas être bien précises.

L'un des auteurs de cet ouvrage, M. Félix Lucas, a entrepris en 1870, en collaboration avec M. A. Cazin, de nouvelles recherches sur la durée lumineuse de l'étincelle électrique. L'emploi d'un *disque divisé tournant* a été combiné avec celui d'un *chronoscope à étincelles*, fondé sur une propriété du vernier. Nous ne donnerons pas ici la description de cette nouvelle méthode; le lecteur pourra la trouver soit dans les *Comptes rendus de l'Académie des*

Sciences (25 avril 1870), soit dans les *Mémoires des savants étrangers* (tome XXII), soit dans les *Annales de Physique et de Chimie* (tome XXVI, 4^e série). Cette méthode a permis de mesurer la durée de l'étincelle en *millionièmes de seconde* avec précision. On a fait varier la vitesse de rotation du disque en mica verni, qui avait 11 centimètres de diamètre et portait 180 traits transparents, depuis 50 jusqu'à 400 tours par seconde; le vernier du chronoscope portait six traits transparents équidistants correspondant à cinq traits consécutifs du disque; les deux boules entre lesquelles on faisait jaillir l'étincelle étaient portées par un micromètre permettant de mesurer exactement leur distance; le condensateur consistait en une batterie de neuf jarres ayant chacune une armature extérieure de 1.243 centimètres carrés; on chargeait ce condensateur au moyen d'une machine électrique de Holtz construite par Ruhmkorff; un moteur à gaz construit par M. Hugon servait à faire tourner le chronoscope et la machine électrique. On a fait varier dans les expériences, la surface de la batterie (depuis 1 jarre jusqu'à 9 jarres), la distance explosive (depuis 2 jusqu'à 22 millimètres), et la résistance du circuit conducteur interposé entre les armatures de la batterie et les boules de décharge; les expérimentateurs ont constaté que la durée lumineuse de l'étincelle est une fonction de ces trois variables et ont pu déterminer la nature de cette fonction (1). Les durées lumineuses observées

(1) Voici la formule obtenue

$$t = H \frac{(1 - a^x)(1 - by)}{1 + c\varepsilon \frac{4}{5}};$$

t durée lumineuse de l'étincelle,

x surface du condensateur,

y distance explosive,

ε résistance du circuit conducteur métallique,

a, b, c, H constantes. La valeur de H dépend de la substance des boules de décharge, ainsi que de l'état physique de leur surface.

dans le cours de ces recherches ont varié depuis 3 millièmes de seconde jusqu'à 70 millièmes. Les étincelles que l'on tirerait directement de la machine électrique, sans charger un condensateur intermédiaire, peuvent avoir des durées inférieures au dix-millionième et même au cent-millionième de seconde.

Il ne suffit pas d'avoir étudié la décharge électrique au point de vue de sa durée ; il importe aussi d'en analyser la nature intime. Une étude spéciale de l'étincelle a été faite, dans ce but, par Feddersen en 1857. Ce physicien observait les apparences lumineuses vues par réflexion dans un petit miroir plan, en métal, tournant autour d'une droite située dans son plan avec une vitesse qui a pu être poussée jusqu'à 800 tours par seconde ; il a réussi à photographier quelques-unes de ces apparences. Ces expériences ont montré que la décharge peut être, suivant les cas, soit *continue*, soit *oscillante*. L'étincelle explosive qui correspond à la décharge *continue* se compose d'un trait de feu, dont la durée est pour ainsi dire inappréciable, et de deux lueurs d'une durée plus sensible, qui apparaissent respectivement sur les boules de décharge. L'étincelle de la décharge *oscillante* se compose de cônes lumineux, allant successivement d'une boule à l'autre et se succédant avec une rapidité vertigineuse. Les oscillations de la décharge produisent dans le milieu ambiant de véritables ondes électriques (analogues à des ondes lumineuses), dont l'étude a fait l'objet des célèbres expériences de M. Hertz ; c'est au moyen de la décharge oscillante que l'on peut obtenir les précieux courants alternatifs à haute fréquence dont nous parlerons plus loin. La théorie de la décharge d'un condensateur présente par conséquent un intérêt de premier ordre ; l'exposé de cette théorie, qui exige une analyse mathématique d'un ordre assez élevé, ne rentre pas

dans le cadre de cet ouvrage (1). Nous nous bornerons à indiquer qu'elle conduit aux résultats suivants.

Désignons par C la *capacité* du condensateur, par R et L la *résistance* et la *self-induction* (quantités que nous définirons plus loin, dans un autre chapitre) du circuit de décharge qui fait communiquer les deux armatures du condensateur. Si ces trois quantités satisfont à l'inégalité

$$L < \frac{CR^2}{4},$$

la décharge est *continue*, en sorte que la charge du condensateur décroît constamment jusqu'à zéro. Si l'on a, au contraire,

$$L > \frac{CR^2}{4},$$

la décharge est *oscillante*, et la période t de l'oscillation est donnée par la formule

$$t = 4\pi L \sqrt{\frac{C}{4L - CR^2}}.$$

Cette durée de la période, lorsque C et R restent constants, varie avec la self-induction L du circuit; elle devient maximum lorsque l'on a

$$L = \frac{CR^2}{2}$$

et prend alors la valeur

$$t = 2\pi CR.$$

M. Lodge, en faisant varier C , R , L dans une série d'ex-

(1) Le lecteur que cette théorie intéresserait pourra en trouver l'exposé dans le *Traité théorique et pratique d'électricité* de M. Félix Lucas, édité par Baudry et Cie,

périences, a pu faire décroître la durée de la période depuis un cinq centième de seconde jusqu'à un cent millionième de seconde. Elles sont bien rapides ces oscillations électriques et cependant elles paraissent lentes lorsqu'on les compare aux vibrations lumineuses ; les moins rapides de ces dernières, c'est-à-dire les vibrations rouges, atteignent le nombre fantastique de cinq cents trillions par seconde.

15. *Effets physiologiques de l'électricité statique.* — En s'approchant du cylindre collecteur d'une machine électrostatique, on éprouve au visage et aux mains une sensation particulière, analogue au contact léger d'une *toile d'araignée* ; cette sensation est simplement due au mouvement des molécules de l'air ambiant, molécules entre lesquelles s'exercent des actions répulsives par suite de leur électrisation.

Si l'on met en communication avec le collecteur de la machine une personne montée sur un *tabouret isolant* (petite table à pieds de verre), cette personne éprouve la sensation de *toile d'araignée* ; ses cheveux se hérissent et leurs extrémités peuvent devenir lumineuses dans l'obscurité, par suite de l'écoulement du fluide. Cette sorte de *bain électrique* paraît exercer une action stimulante sur les tempéraments nerveux. On peut tirer des étincelles de toutes les parties du corps de la personne électrisée. Ces expériences étaient fort à la mode vers le milieu du siècle dernier. Bridone, installant deux personnes sur le tabouret isolant, recommandait à l'une d'elles de passer un peigne dans l'abondante chevelure de l'autre ; chaque coup de peigne produisait une lueur. Le professeur Bose, de Wittemberg, plaçait une couronne de métal à pointes mousses sur la tête d'une personne électrisée sur le tabouret isolant ; on voyait, dans l'obscurité, des aigrettes lumineuses sortir des pointes de la couronne en figurant par

leur ensemble une auréole ; Bose appelait cette expérience la *béatification électrique*.

Le collecteur d'une machine électrostatique ne porte ordinairement qu'une charge assez faible avec un potentiel élevé ; on peut, en approchant la main, tirer de ce collecteur une longue étincelle, pâle et grêle, dont l'effet physiologique n'a rien de redoutable, alors même que cette étincelle serait de trente centimètres. La commotion que l'on éprouve se fait surtout sentir dans les articulations du bras et arrive souvent jusque dans la poitrine.

Plus dangereuse est l'étincelle courte, mais brillante et bien nourrie, que l'on peut tirer d'un condensateur à grande surface. Nous avons dit quelle terreur éprouva Muschenbrock lorsqu'il reçut à l'improviste la commotion de cette bouteille de Leyde que constituait sa bouteille d'eau électrisée. Quelque intéressante, en même temps que fâcheuse, que lui parut cette aventure, il n'en avait pas la primeur, car un an avant, un évêque poméranien nommé von Kleist avait éprouvé une commotion violente, en touchant accidentellement le conducteur d'une machine avec laquelle il électrisait le mercure contenu dans une bouteille de verre qu'il tenait à la main. On ne tarda pas, d'ailleurs, à se familiariser avec cette expérience primitivement si redoutée ; Nollet la répéta un jour sur trois cents gardes du roi qui formaient la chaîne, en se donnant la main deux à deux, et qui ressentirent tous simultanément la commotion. Un condensateur à grande surface reçoit généralement une forte charge avec un potentiel médiocre, inversement à ce qui se passe pour le condensateur d'une machine ; c'est pourquoi la décharge de ce condensateur peut être dangereuse. Cette décharge peut foudroyer un être vivant ; il est à remarquer que les animaux à sang froid résistent mieux que les autres, car, d'après Priestley, une grenouille

peut supporter impunément une décharge qui tuerait un chat.

Les effets physiologiques de la foudre sont comparables à ceux d'une décharge électrique dans laquelle le potentiel et surtout la quantité d'électricité auraient des valeurs considérables. Lorsqu'un homme est tué par la foudre, son cadavre entre rapidement en putréfaction ; le sang extrait de ses veines a perdu la faculté de se coaguler. Si la commotion n'a pas été mortelle, la personne atteinte peut conserver longtemps une grande faiblesse par suite de l'ébranlement du système nerveux. C'est peut-être à la foudre que sont dus les premiers effets *thérapeutiques* de l'électricité : nous lisons dans le *Traité de Physique de Daguin*, qu'en 1762 un pasteur de Kent fut guéri par un coup de foudre d'une paralysie et qu'en 1819 un Niortais aurait été débarrassé, également par la foudre, d'un rhumatisme au bras gauche dont il souffrait depuis plusieurs années.

CHAPITRE II

COURANTS VOLTAÏQUES

Courant électrique. — Pile de Volta. — Propagation de l'électricité. — Circuits multiples. — Lois de Kirchhoff. — Loi de Joule. — Résistance intérieure d'une pile. — Electrolyse. — Polarisation des électrodes. — Force électromotrice et polarisation de la pile. — Piles à deux liquides. — Groupement des éléments de pile. — Applications. — Thermo-électricité. — Accumulateurs. — Effets physiologiques des courants. — Résistances du corps humain.

16. *Courant électrique.* — Prenons deux conducteurs sphériques, de même nature et de même diamètre, et donnons leur des charges égales d'électricité, positive sur le premier et négative sur le second. S'ils sont mis instantanément en communication par un fil de cuivre, touchant respectivement leurs surfaces par ses deux bouts, il semblera que les deux électricités contraires voyagent rapidement à travers le fil pour arriver à s'entredétruire. Ce double voyage des fluides antagonistes nous donne nettement l'idée d'un *courant électrique*. La durée de ce courant est bien éphémère, il est pour ainsi dire instantané ; mais supposons que, par un moyen quelconque, nous puissions compenser constamment les pertes de charge des deux sphères, de façon à conserver aux deux charges leurs valeurs primitives, nous obtiendrons un courant électrique durable et permanent. Nous aurons à la fois un débit continu d'électricité positive allant de l'origine du fil de cuivre vers son extrémité, et un débit continu d'électricité

négative allant de l'extrémité de ce fil vers son origine. A travers une section droite de ce fil conducteur, il passe à chaque instant des quantités égales de fluide positif et de fluide négatif ; il suffit donc, pour caractériser ce double courant, d'indiquer le sens du courant positif et son débit par seconde.

Comparons ce phénomène à celui d'un écoulement liquide dans un petit tuyau cylindrique faisant communiquer entre eux deux vases remplis d'eau dont la différence de niveau est maintenue constante par un approvisionnement extérieur. La cause de l'écoulement du liquide est la différence des niveaux des surfaces de l'eau dans les deux vases ; la cause du courant électrique est la différence des potentiels des deux conducteurs sphériques. Pour obtenir l'écoulement liquide continu, il faut disposer d'une différence de niveau ou *hauteur de chute* et d'une *source alimentaire* ; de même, pour obtenir le courant électrique continu, il faut disposer d'une différence de potentiel ou *force électromotrice* et d'une *source d'électricité* ; ces deux facteurs nécessaires, une pile électrique peut les fournir.

17. *Pile de Volta*. — Sulzer a publié en 1767, dans sa *Théorie générale du plaisir*, l'expérience suivante. Prenant deux petits disques, l'un de zinc et l'autre de cuivre, on les place respectivement des deux côtés de la langue, puis on rapproche leurs bords extérieurs jusqu'au contact ; on ressent aussitôt une saveur acide au point de la langue touché par le zinc et une saveur alcaline au point touché par le cuivre. Cette expérience parut sans doute intéressante et peut-être amusante, mais on ne soupçonna pas, à cette époque, qu'elle avait une haute portée et renfermait implicitement la découverte de la pile. La force électromotrice est produite par le contact des deux métaux

zinc et cuivre ; la source d'électricité réside dans les actions chimiques des humeurs de la langue sur les deux métaux ; il suffirait, au lieu de faire toucher les deux rondelles métalliques par leurs bords extérieurs, de faire communiquer leurs surfaces libres au moyen d'un fil de cuivre pour obtenir un petit courant électrique dans ce conducteur ; tout cela est facile à saisir aujourd'hui, mais il aurait fallu du génie pour s'en rendre compte au temps de Sulzer ; on possédait un trésor, mais sa valeur intrinsèque restait ignorée.

Une vingtaine d'années plus tard, en 1786, Galvani, professeur d'anatomie à Padoue, qui faisait des recherches expérimentales en vue d'établir l'identité de l'électricité et du fluide nerveux, observa par hasard un fait singulier. Voulant savoir quels effets la décharge des nuages orageux produirait sur les membres dépouillés d'une grenouille fraîchement tuée, il avait suspendu les membres inférieurs de cet animal au balcon d'une terrasse, au moyen d'un crochet de cuivre qui traversait la colonne vertébrale. Il vit avec surprise une agitation convulsive se produire en l'absence de tout orage et constata que les convulsions correspondaient aux contacts accidentels des pattes de la grenouille avec le fer du balcon. Cette observation suggéra à Galvani la célèbre expérience qui consiste à mettre en communication les muscles et les nerfs lombaires d'une grenouille au moyen d'un arc métallique ; les contractions musculaires se produisent au moment même où l'on établit cette communication ; elles deviennent plus vives si l'arc conducteur, au lieu d'être homogène, est formé de deux branches en métaux différents.

L'explication que Galvani donna au sujet de ce singulier phénomène peut se résumer ainsi : *il y a, dans les nerfs de la grenouille, un fluide vital identique avec le fluide électrique, qui produit la commotion en passant des*

nerfs dans les muscles au moyen du conducteur métallique. Le succès de cette théorie fut d'abord très-grand, mais il ne fut pas durable.

En 1794, Volta, professeur à Pavie, qui répétait soigneusement les expériences de Galvani, dirigea principalement ses méditations sur la nécessité d'employer deux métaux différents dans le conducteur pour obtenir des contractions énergiques et proposa à l'explication suivante : *le contact des deux métaux, détruisant l'équilibre de leur fluide neutre, électrise l'un deux positivement et l'autre négativement ; c'est en se recombinaut dans le corps de la grenouille que ces deux fluides déterminent les contractions.* Volta donnait à cette action mystérieuse du contact de deux métaux le nom de *force électromotrice* que la science a conservé.

Il est aujourd'hui bien constaté que *le simple contact de deux métaux différents suffit pour créer une différence entre leurs potentiels respectifs.* Cette différence est indépendante de la forme et de l'étendue du contact, mais elle dépend de l'état des surfaces des deux métaux.

Soient A et B deux métaux en contact et désignons par le symbole $A|B$ la variation de potentiel qui se produit en faveur de A ; on a identiquement

$$B|A = - A|B.$$

Formons une chaîne de métaux A, B, C, L, M, avec contacts successifs ; la différence de potentiel entre les deux métaux extrêmes A et M sera

$$A|B + B|C + \dots + L|M ;$$

cette valeur est indépendante de la forme de la chaîne. Mettons maintenant le métal M en contact avec le premier métal A, en fermant la chaîne sur elle même ; la force électromotrice totale sera nécessairement nulle dans ce circuit

fermé; s'il en était autrement, on obtiendrait dans ce circuit un courant électrique permanent, sans faire aucune dépense d'énergie, en sorte que l'on aurait résolu l'insoluble et chimérique problème du mouvement perpétuel. On a, par conséquent,

$$A|B + B|C + \dots + L|M + M|A = 0,$$

d'où l'on déduit

$$A|B + B|C + \dots + L|M = -M|A = A|M;$$

par conséquent, *la différence des potentiels des métaux extrêmes A et M est la même que si ces deux métaux étaient directement en contact. C'est là ce qu'on appelle la loi des contacts successifs.*

Le contact du zinc et du cuivre donne, en faveur du zinc, un excédant de potentiel de 0 volt 86 si les surfaces des deux métaux sont écrouies, et de 0 volt 68 si elles ne le sont pas.

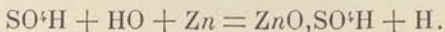
C'était donc une découverte bien réelle que celle de la force électromotrice de contact, dont Volta nous a révélé l'existence; cela donnait un grand poids à l'explication, incomplète cependant, qu'il avait donnée au sujet des contractions musculaires de la grenouille. Mais, de son côté, Galvani continuait à préconiser sa théorie du fluide vital; aidé dans ses expériences par son neveu Aldini, il obtint un jour les contractions sans le secours d'aucun arc métallique, en mettant directement quelques parties des muscles de la grenouille en contact avec ses nerfs lombaires. Cette nouvelle expérience, qui semblait à première vue, renverser la théorie de Volta, ne fit qu'en provoquer la généralisation suivante: *c'est non seulement le contact de deux métaux, mais plus généralement le contact de deux corps hétérogènes quelconques qui produit une force électromotrice.*

Les discussions continuèrent longtemps encore entre les deux écoles qui avaient respectivement pour chef Galvani et Volta. Elles cessèrent lorsque ce dernier découvrit que les convulsions de la grenouille se produisent aussi bien lorsque l'on supprime la communication des muscles et des nerfs que lorsqu'on l'établit, fait que la théorie de Galvani ne put expliquer.

Cet aperçu historique permet d'apprécier les droits respectifs des hommes de génie aux travaux desquels nous devons la découverte de la pile électrique. C'est à juste titre que les noms de Galvani et de Volta sont immortalisés ; peut-être a-t-on trop laissé dans l'oubli celui de Sulzer.

Prenons deux rondelles de même diamètre, l'une de zinc et l'autre de cuivre, intercalons entre elles une rondelle de drap humectée d'eau acidulée à l'acide sulfurique et faisons communiquer les surfaces métalliques extérieures des deux rondelles au moyen d'un fil de cuivre. Nous aurons une pile électrique à laquelle on donne le nom de *couple Volta*. La force électromotrice est développée par le contact du fil de cuivre avec la rondelle de zinc ; l'action chimique de l'acide sulfurique sur le zinc engendre une énergie chimique qui se transforme en *énergie électrique* et constitue la source d'électricité ; nous nous trouvons donc en possession des deux facteurs nécessaires pour qu'un courant se produise et passe dans le fil conducteur. Substituons, dans l'expérience indiquée par Sulzer, une rondelle de drap humide à la langue d'un homme, nous obtenons un couple Volta ; nous trouvons ainsi dans une expérience de physiologie l'origine de la pile électrique.

La combinaison de l'acide sulfurique hydraté avec le zinc produit du sulfate de zinc et dégage de l'hydrogène, suivant la formule chimique.



Cette combinaison est *exothermique*, c'est-à-dire qu'elle se fait avec dégagement de chaleur. Nous trouvons, dans les tables thermo-chimiques de l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, les indications suivantes relatives à cette réaction.

| | Calories gramme (1) |
|--|------------------------|
| La formation d'un équivalent d'oxyde de zinc ($ZnO = 40 \text{ gr. } 5$), dégage..... | 43.200 |
| La combinaison de cet oxyde de zinc avec un équivalent d'acide sulfurique ($SO^2H = 49 \text{ gr.}$) dégage..... | 11.700 |
| Total dégagé.... | <u>54.900</u> |
| La décomposition d'un équivalent d'eau ($HO = 9 \text{ gr.}$) absorbe..... | 34.500 |
| Différence ou quantité de chaleur dégagée..... | <u>20.400</u> |

Ces 20.400 calories-gramme représentent l'énergie calorifique développée par la réaction chimique dont il s'agit. Or, d'après les expériences de Joule et Clausius pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur, la calorie-gramme équivaut à un travail mécanique de 41.700.000 ergs ou, ce qui revient au même, de 4,17 joules. Par conséquent les 20.400 calories dégagés dans la réaction chimique précédente équivalent à une énergie mécanique ou électrique de 85.068 joules. C'est cette énergie disponible qui peut constituer la source d'électricité nécessaire pour la création d'un courant.

La première pile construite par Volta, en l'année 1800, a reçu le nom de *pile à colonne* ; elle résulte de la superposition verticale d'un certain nombre d'éléments de pile

(1) La *petite calorie* ou *calorie-gramme*, est la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'un gramme d'eau.

cuivre-zinc-drap mouillé. Commençons par une rondelle de cuivre en la plaçant sur un socle isolant et soit V son potentiel ; la rondelle de zinc que nous lui superposons avec contact direct prend un potentiel plus élevé $V + a$; la rondelle mouillée qui vient ensuite et la nouvelle rondelle de cuivre qui la surmonte se comportent comme de simples conducteurs sans créer aucune force électromotrice, en sorte que cette seconde rondelle de cuivre est portée au même potentiel $V + a$ que la première rondelle de zinc ; si donc nous ajoutons une nouvelle rondelle de zinc, elle prendra le potentiel $V + 2a$ qui se transmettra intégralement à la seconde rondelle de drap mouillé. Ajoutons un troisième système cuivre-zinc-drap mouillé, nous obtiendrons sur sa rondelle humide le potentiel $V + 3a$. L'addition d'un quatrième élément de pile donnera naissance au potentiel $V + 4a$, et ainsi de suite. En désignant par n le nombre des piles élémentaires que nous ferons entrer dans la construction de la pile à colonne (1), nous aurons à la base de cette pile le potentiel V et à son sommet le potentiel $V + na$. La différence na de ces deux potentiels extrêmes constitue la force électromotrice de notre pile à colonne. Cette pile a malheureusement l'inconvénient de s'affaiblir très vite, alors même que l'on prend soin de maintenir humides les rondelles de drap ; elle n'a pas d'usage pratique et n'offre qu'un intérêt historique, d'ailleurs très grand.

Volta a réalisé une amélioration considérable en remplaçant sa pile à colonnes par une *pile à tasses* (fig. 7), dans laquelle chaque vase rempli d'eau acidulée reçoit une lame de cuivre et une lame de zinc, cette dernière étant munie d'un fil de cuivre destiné à la faire communiquer avec la lame de cuivre de la tasse suivante. Chaque élément

(1) Il est d'usage de supprimer la dernière rondelle de drap mouillé qui se trouverait ainsi placée en haut de la pile ; cette pile se termine ainsi par une rondelle de zinc,

composé d'un vase, d'une lame de cuivre et d'une lame de zinc munie de son fil de cuivre constitue ce que l'on appelle un *couple* voltaïque. On donne ordinairement au système de couples une disposition circulaire, ce qui a motivé le

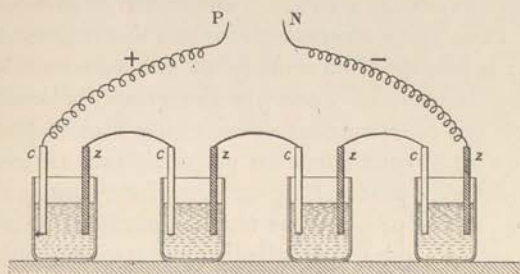


Fig. 7.

nom de *pile à couronne de tasses*. La lame de cuivre de la première tasse et la lame de zinc de la dernière, qui ne communiquent avec aucune autre lame, sont destinées à recevoir les attaches du conducteur qui doit fermer le circuit de la pile.

La force électromotrice d'un couple Volta diffère peu d'un volt à circuit ouvert ; mais elle s'affaiblit vite en circuit fermé, à cause de la production du phénomène de la *polarisation* que nous étudierons plus loin. Comme le zinc du commerce, zinc contenant souvent des impuretés, est attaqué par l'eau acidulée aussi longtemps qu'il y reste plongé, la lame de zinc d'un couple Volta se consume sans effet utile à circuit ouvert ; c'est là un inconvénient grave auquel on peut heureusement remédier en remplaçant le zinc du commerce par le zinc amalgamé, qui n'est attaqué qu'à circuit fermé.

18. *Propagation de l'électricité.* — Avant de continuer

L'étude des piles électriques et de décrire les divers systèmes employés aujourd'hui, il est indispensable de nous occuper du phénomène de la propagation de l'électricité dans un fil conducteur. Ainsi que nous l'avons établi au début de ce chapitre, la création d'un courant exige la mise en œuvre d'une *force électromotrice* et d'une *source d'électricité* ; la pile de Volta nous ayant mis en possession de ces deux facteurs de *l'énergie électrique*, la possibilité d'obtenir des courants continus se trouve bien établie.

Lorsqu'un fil conducteur est parcouru par un courant, l'électricité n'est pas localisée sur sa surface, comme à l'état statique ; elle se propage par tous les points de sa section droite, en sorte que son écoulement paraît analogue à celui de l'eau dans un tuyau de conduite ; de même que, dans l'écoulement liquide, le débit correspondant à une différence de niveau donnée, dépend de la résistance que le tuyau de conduite oppose au passage de l'eau, de même, dans le courant électrique, le débit correspondant à une force électromotrice donnée dépend de la *résistance du fil conducteur* au passage de l'électricité. Il est clair que le débit doit augmenter ou diminuer quand la résistance diminue ou augmente, en sorte que l'on peut définir la résistance en disant qu'elle est, toutes choses égales d'ailleurs, inversement proportionnelle au débit. A résistance égale du tuyau de conduite, le débit de liquide est proportionnel à la hauteur de chute (ou différence de niveau entre les deux extrémités du tube) ; de même, à résistance égale du fil conducteur, le débit d'électricité est proportionnel à la force électromotrice (ou différence de potentiel entre les deux extrémités du conducteur). En combinant cette observation avec la définition précédente de la résistance, nous arrivons à ce théorème :

LOI D'OHM. — *L'intensité du courant dans un fil conducteur est proportionnelle à la force électromotrice*

et inversement proportionnelle à la résistance de ce fil.

Nous venons d'arriver à cette loi d'une manière intuitive, en admettant l'hypothèse d'une véritable analogie entre l'écoulement de l'eau dans un tuyau et la propagation de l'électricité dans un fil conducteur. Il est clair qu'une telle méthode manque absolument de rigueur et que son seul avantage est de rendre facilement compréhensible la célèbre loi à laquelle on a donné le nom du physicien Ohm, d'Erlangen, auquel sa découverte est due. Ohm a établi cette loi par des considérations théoriques qu'il a publiées en 1827 dans son traité de la *Théorie mathématique de la pile galvanique* ; ce savant a assimilé la propagation de l'électricité à celle de la chaleur ; il existerait en chaque point d'un conducteur électrique une *tension*, analogue à la *température*, en vertu de laquelle une molécule transmettrait à une molécule très voisine possédant une tension moindre que la sienne, une quantité d'électricité proportionnelle à la différence des tensions et dépendant aussi de la distance des deux molécules ; en partant de ce postulat on peut appliquer à l'étude de la propagation de l'électricité la méthode de raisonnement que l'immortel Fourier a employée dans sa *Théorie de la chaleur*. Ajoutons qu'en 1835 Pouillet a retrouvé par la méthode expérimentale les résultats auxquels Ohm était arrivé par la théorie. Nous devons, par conséquent, regarder la loi d'Ohm comme absolument démontrée.

Sur les trois quantités *force électromotrice*, *intensité* ou débit du courant et *résistance* du conducteur qui interviennent dans cette loi, nous connaissons déjà la nature de la première, ainsi que son unité pratique appelé *volt*. Il nous reste à définir les deux autres. Le débit ou *intensité* du courant n'est autre chose que la quantité d'électricité positive qui traverse par seconde une section droite quel-

conque du conducteur ; l'unité pratique d'intensité est celle qui correspond au débit d'un coulomb par seconde, elle a reçu le nom d'*ampère*. Quant à la résistance, on peut la définir, d'après la loi d'Ohm, par le rapport de l'intensité à la force électromotrice ; l'unité de résistance, appelée *ohm*, est la résistance d'un conducteur pour lequel l'intensité d'un ampère correspondrait à la force électromotrice d'un volt. Avec ce choix d'unités, la loi d'Ohm s'énonce dans les termes suivants :

L'intensité du courant exprimé en ampères est égale au quotient de la force électromotrice exprimée en volts par la résistance du conducteur exprimée en ohms.

La formule correspondante est

$$I = \frac{E}{R}$$

Les expériences de Davy et de C. Becquerel ont montré que

La résistance d'un fil conducteur homogène est proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle à sa section.

On a, par conséquent, en désignant par l et ω la longueur et la section du fil et par r sa résistance, la formule très simple

$$r = \frac{1}{c} \frac{l}{\omega},$$

dans laquelle le paramètre $\frac{1}{c}$, auquel on donne le nom de *résistance spécifique*, est égal à la résistance d'un conducteur pour lequel on aurait $l = 1$ et $\omega = 1$, dimensions correspondant au cube construit sur l'unité de longueur. L'inverse c de la résistance, spécifique, a reçu le nom de *coefficient de conductibilité*, parce que sa valeur qui ne

dépend que de la substance du conducteur, caractérise le pouvoir conducteur de cette substance pour l'électricité voltaïque. Les métaux sont, en général, bons conducteurs ; voici la liste des métaux les plus usuels, classés dans le sens du décroissement de la conductibilité : argent, cuivre, or, zinc, étain, fer, plomb, platine, mercure ; l'élévation de leur température a pour effet de diminuer leur pouvoir conducteur.

L'ohm légal, unité pratique de résistance électrique, est la résistance d'une colonne de mercure ayant, à la température de la glace fondante, une longueur de 106 centimètres et une section droite de 1 millimètre carré. C'est là l'étalon de résistance.

On peut obtenir sensiblement cette résistance d'un ohm soit avec un fil de cuivre rouge de 50 mètres de longueur et de 1 millimètre carré de section, soit avec un fil télégraphique en fer galvanisé de 100 mètres de longueur et de 4 millimètres de diamètre.

Il résulte de la loi d'Ohm que *le long d'un fil conducteur homogène à section constante le potentiel décroît*

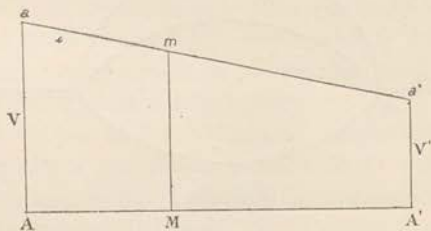


Fig. 8.

proportionnellement à la longueur. Soit AA' le fil conducteur (Fig. 8), Aa et $A'a'$ deux ordonnées représentant respectivement les valeurs V et V' du potentiel aux deux extrémités ; la valeur du potentiel au point intermédiaire

quelconque M sera représentée par l'ordonnée Mm , dont l'extrémité m est située sur la droite $a a'$. Si le potentiel V' correspondant à l'extrémité A' était négatif, son ordonnée se placerait au-dessous de la droite AA' (Fig. 9) ; il y

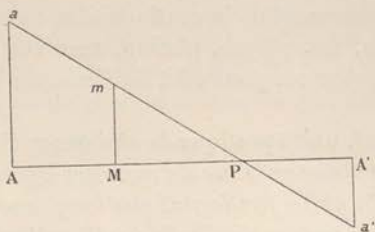


Fig. 9.

aurait alors sur le conducteur un point intermédiaire P à potentiel nul.

19. Circuits multiples. — Supposons que le fil conducteur se bifurque entre deux points A et B (Fig. 10). Soit I

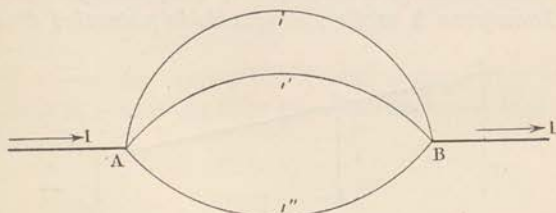


Fig. 10.

l'intensité du courant avant le point A et après le point B ; cette intensité totale se subdivise en parties i, i', i'' correspondant aux conducteurs intermédiaires, et l'on a

$$I = i + i' + i''$$

Désignons, d'autre part, par V_1 et V_2 les potentiels en

A et en B et par r, r', r'' les résistances des fils conducteurs compris entre ces deux points ; nous aurons

$$V_1 - V_2 = ri = r'i' = r''i''$$

ou, sous une autre forme,

$$V_1 - V_2 = \frac{i}{\frac{1}{r}} = \frac{i'}{\frac{1}{r'}} = \frac{i''}{\frac{1}{r''}} = \frac{i + i' + i''}{\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} + \frac{1}{r''}}$$

Désignons par R une résistance auxiliaire satisfaisant à la relation

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} + \frac{1}{r''} ;$$

les formules précédentes nous donneront

$$V_1 - V_2 = \frac{I}{\frac{1}{R}} = RI.$$

Nous pourrions, par conséquent, regarder R comme la résistance d'un conducteur unique qui remplacerait entre A et B le circuit multiple donné. Si l'on convient d'appeler *conductibilité* d'un conducteur l'inverse de sa résistance, on arrive à ce théorème : *La conductibilité totale d'un circuit multiple est égal à la somme des conductibilités des conducteurs dont il se compose.*

Si tous les conducteurs formant le circuit multiple avaient la même résistance, il suffirait de diviser cette résistance commune par le nombre de ces conducteurs pour obtenir la résistance du circuit.

20. Lois de Kirchhoff. — On donne le nom de *lois de Kirchhoff* à deux théorèmes qui permettent de résoudre les problèmes de la distribution des courants dans des conducteurs linéaires complexes.

Le premier de ces théorèmes est d'une telle évidence qu'il est vraiment singulier de lui attribuer un auteur. Il exprime tout simplement *qu'en un point commun à plusieurs conducteurs la quantité d'électricité qui arrive par seconde est égale à celle qui part*. Il est clair, en effet, qu'il ne peut pas se produire en ce point une accumulation d'électricité qui croîtrait avec le temps. Nous avons implicitement admis cette vérité au numéro précédent, en remarquant que l'intensité du courant qui arrive en A est égale à celle du courant qui sort en B. Pour permettre à cette vérité de revendiquer le titre honorifique de *loi* ou de *théorème*, on l'énonce moins clairement, mais plus savamment, de la manière suivante : *Si plusieurs conducteurs aboutissent au même point, la somme algébrique des intensités des courants sur chacun d'eux, comptées à partir de ce point, est identiquement nulle*.

Le second théorème de Kirchhoff est plus sérieux ; en voici l'énoncé : *Si plusieurs conducteurs forment un conducteur fermé, la somme algébrique des produits obtenus en multipliant la résistance de chacun de ces conducteurs par l'intensité du courant qui le traverse est égale à la somme algébrique des forces électromotrices existant sur le périmètre du polygone*.

Soit ABCDE (Fig. 11) le conducteur dont il s'agit. Supposons qu'il soit parcouru par un mobile dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, et convenons d'affecter du signe $+$ ou du signe $-$ l'intensité du courant qui passe dans un côté quelconque, suivant que ce courant se dirige dans le sens du mouvement du mobile ou dans le sens opposé ; à chacun de ces côtés correspond une intensité de courant i , une résistance r et une force électromotrice E qui se produit sur lui-même (soit, par exemple, par suite de la soudure de deux métaux différents). Les sommets successifs A, B, C, D, E, sont d'ail-

leurs respectivement portés aux potentiels $V_1, V_2, V_3, V_4,$

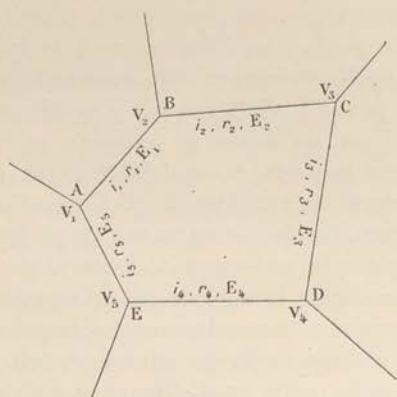


Fig. 11.

V_5 , qu'il est inutile de supposer connus. Cela posé, nous aurons, d'après la loi d'Ohm, les égalités :

$$\begin{aligned} V_1 - V_2 + E_1 &= i_1 r_1 \\ V_2 - V_3 + E_2 &= i_2 r_2 \\ V_3 - V_4 + E_3 &= i_3 r_3 \\ V_4 - V_5 + E_4 &= i_4 r_4 \\ V_5 - V_1 + E_5 &= i_5 r_5 \end{aligned}$$

Ajoutons membre à membre toutes ces égalités ; les potentiels V disparaissent du total et nous trouvons :

$E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 = i_1 r_1 + i_2 r_2 + i_3 r_3 + i_4 r_4 + i_5 r_5$
formule qu'il suffit d'énoncer en langage ordinaire pour obtenir la loi de Kirchhoff.

21. *Loi de Joule.* — Nous avons vu en électrostatique, que l'énergie électrique peut être regardée comme une transformation du travail mécanique et par conséquent s'exprimer en unités *joule*. Cette unité pratique est environ

la dixième partie de l'unité *kilogrammètre*, souvent adoptée en mécanique, qui représente le travail nécessaire pour élever le poids d'un kilogramme à la hauteur d'un mètre. On appelle *puissance* d'un moteur la quantité de travail qu'il produit par seconde. S'agit-il par exemple d'une chute d'eau, on obtient sa puissance en multipliant sa hauteur par le poids de son débit ; avec 1 mètre de hauteur de chute et un débit de 75 litres d'eau, pesant 75 kilogrammes, on obtient un travail de 75 kilogrammètres par seconde ; la puissance de cette chute est celle à laquelle on a donné le nom de *cheval-vapeur*. La puissance du courant électrique dans un conducteur est représentée par le nombre de *joules* qui est produit par seconde ; ce nombre de joules est d'ailleurs égal au produit du nombre de volts que contient la force électromotrice par le nombre des coulombs débités par seconde ; or, nous avons adopté comme unité d'intensité du courant l'*ampère*, qui correspond au débit d'un coulomb par seconde ; par conséquent : *La puissance d'un courant électrique est égale au produit de sa force électromotrice exprimée en volts par son intensité exprimée en ampères*. Cette définition nous conduit à adopter comme unité de puissance, le produit d'un volt par un ampère, c'est-à-dire *la puissance d'un courant ayant une force électrique d'un volt et l'intensité d'un ampère* ; on a donné le nom de *watt* à cette unité de puissance (1).

En définitive, la puissance électrique W d'un courant dont la force électromotrice et l'intensité sont respectivement E et I est donnée par la formule

$$W = EI ;$$

Si nous désignons, en outre, par R la résistance du con-

(1) Il est utile d'indiquer ici que le cheval-vapeur vaut 736 watts

ducteur, exprimée en ohms, nous aurons d'après la loi d'Ohm

$$E = RI ;$$

de ces deux formules on déduit aisément

$$W = RI^2 ;$$

par conséquent : *La puissance électrique d'un courant, exprimée en watts est égale au produit du carré de son intensité, exprimée en ampères, par la résistance du conducteur, exprimée en ohms.*

L'énergie électrique de ce courant, qui ne produit aucun travail extérieur, ne peut se transformer qu'en *énergie calorifique* ; on constate, en effet, que le conducteur s'échauffe et dégage de la chaleur.

Joule et Clausius ont déterminé, au moyen d'expériences variées, la corrélation qui existe entre le travail mécanique et la chaleur. Ils ont trouvé que la *calorie*, quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré centigrade la température d'un kilogramme d'eau, équivaut à un travail de 425 kilogrammètres, soit 4170 joules. Il en résulte, que la *petite calorie* ou *calorie-gramme*, mille fois plus petite que la calorie précédente, satisfait à l'égalité

$$\text{calorie-gramme} = 4,17 \text{ joules.}$$

Ce nombre

$$J = 4,17$$

est souvent appelé *l'équivalent mécanique de la chaleur*.

Si nous désignons par Q la quantité de chaleur, exprimée en calories-gramme, que dégage par seconde le conducteur du courant dont la puissance électrique, (énergie électrique ou travail mécanique par seconde), est W , nous aurons

$$W = JQ,$$

et, par conséquent, en nous reportant à une des formules précédentes,

$$JQ = RI^2.$$

De là ce théorème :

LOI DE JOULE. — *L'énergie calorifique dégagée sur un conducteur pendant l'unité de temps est égale au produit du carré de l'intensité du courant par la résistance du conducteur.*

Cette loi remarquable résulte à la fois de la loi d'Ohm et du grand principe de la conservation de l'énergie.

22. Résistance intérieure d'une pile. — Dans ce qui précède, nous avons considéré isolément un fil conducteur en supposant qu'il desserve une source d'électricité et qu'une différence de potentiel ou force électromotrice soit créée entre ses deux extrémités. Nous avons, en un mot, fait abstraction par la pensée, dans un intérêt théorique, de la pile aux deux pôles de laquelle doit être attaché le fil conducteur. Examinons maintenant le système complet formé par la pile et le conducteur au moyen duquel se fait la fermeture du circuit (Fig. 12). Le courant qui va extérieurement du cuivre au zinc est complété par un courant, intérieur à la pile, qui va du zinc au cuivre. La pile remplit, par conséquent, ce triple rôle

de produire l'énergie électrique,
de créer la force électromotrice,
et de constituer une partie du circuit fermé.

Considérée comme conducteur du courant, notre pile électrique (que nous supposons ici composée seulement d'un élément Volta) présente une résistance déterminée, dont nous avons à tenir compte.

Désignons par R la résistance du circuit extérieur et par

r la résistance intérieure de la pile ; la résistance du circuit total sera $R + r$ et la loi d'Ohm nous donnera

$$E = (R + r) I,$$

formule dans laquelle E est la force électromotrice de la pile et I l'intensité du courant obtenu.

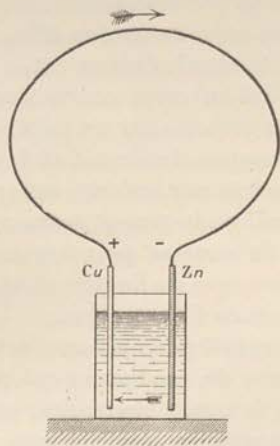


Fig. 12.

La puissance mécanique de la pile, c'est-à-dire la quantité d'énergie qu'elle développe par seconde, a pour valeur

$$W = EI = (R + r) I^2$$

Il est à remarquer que la résistance intérieure r va en augmentant avec la durée du fonctionnement de la pile. En voici la cause. Au début, le liquide de l'élément Volta est l'eau acidulée d'acide sulfurique, mais il subit ensuite la transformation continue de son acide en sulfate de zinc soluble, de là, une diminution de son pouvoir conducteur.

23. *Electrolyse*. — Si, coupant vers son milieu le fil conducteur qui relie entre eux les deux pôles d'une pile, on plonge ses deux extrémités dans un liquide non susceptible de les attaquer chimiquement, le circuit se trouve complété par une colonne de ce liquide. Trois cas peuvent alors se présenter.

1^o Le liquide n'est pas conducteur ; dans ce cas, le courant ne passe pas ; on se trouve, en effet, dans les mêmes conditions que si le circuit était ouvert.

2^o Le liquide est un corps conducteur, mais un corps simple, comme le mercure ou un métal en fusion ; dans ce cas, il y a fermeture du circuit et le courant s'établit sans présenter aucune particularité remarquable.

3^o Le liquide est conducteur et corps composé ; dans ce cas, le passage du courant peut être accompagné d'une décomposition chimique du liquide ; c'est à ce phénomène que l'on donne le nom d'*électrolyse*.

On dit alors que le liquide est un *électrolyte* ; les deux parties métalliques du conducteur qui plongent dans ce liquide reçoivent le nom d'*électrodes* ; on appelle souvent *anode* l'électrode positive, qui communique avec le pôle positif de la pile, et *cathode* l'électrode négative.

L'eau est le premier corps que l'on ait fait décomposer par le courant électrique. C'est en 1800 que Carlisle et Nickolson, employant une pile à colonne montée avec des disques de zinc et d'argent, ont électrolysé l'eau ; l'oxygène se dégage sur l'anode ou électrode positive et l'hydrogène sur la cathode. On sait que pour décomposer un équivalent d'eau (pesant 9 grammes) il faut dépenser 34.500 calories-gramme ; cette énergie calorifique est fournie par la pile. Il est nécessaire que l'eau soit additionnée d'un acide, d'acide sulfurique par exemple.

En général, les liquides proprement dits, tels que l'eau, l'alcool, l'éther, lorsqu'ils sont chimiquement purs, ne

sont pas des électrolytes. On peut électrolyser toute dissolution saline, dont le sel est formé d'un métal uni à un radical simple (*Cl*, *Br*...) ou composé (SO^4 , AzO^6 ...); on voit toujours le métal se porter sur l'électrode négative et le radical sur l'électrode positive. S'agit-il, par exemple, d'une dissolution de sulfate de cuivre qu'on électrolyse en prenant pour électrodes deux lames de platine, on voit le cuivre *Cu* se déposer sur la cathode qui se recouvre d'un enduit rougeâtre, tandis que le radical SO^4 , se portant sur l'anode et décomposant l'eau *HO*, donne de l'acide sulfurique (SO^4H ou SO^3 , *HO*), qui se dissout près de cette lame, et de l'oxygène gazeux qui se dégage. C'est toujours sur les électrodes, jamais dans la masse du liquide, qu'apparaissent les éléments de la décomposition.

Les lois de l'électrolyse ont été découvertes en 1832 par Faraday. Voici leur énoncé.

LOIS DE FARADAY. — *Le poids de l'électrolyte décomposé est proportionnel à la quantité d'électricité qui passe.*

Lorsqu'un même courant traverse plusieurs électrolytes, les poids des divers corps mis en liberté sont proportionnels à leurs équivalents chimiques.

L'illustre savant appelait *ions* les éléments séparés par l'électrolyse, *anions* ceux qui se portent sur l'anode ou électrode positive et *cathions* ceux qui se portent sur la cathode. Ces dénominations sont aujourd'hui si peu employées qu'on peut les regarder comme tombées en désuétude.

Soit *e* l'équivalent chimique, par rapport à l'hydrogène, d'un électrolyte quelconque, et ε le poids (exprimé en grammes) décomposé par le passage d'un coulomb. Il résulte des lois de Faraday que le rapport de ε à *e* est un nombre indépendant de la nature de l'électrolyte; on a, par conséquent,

$$\varepsilon = \alpha e,$$

α désignant un paramètre numérique. Le poids ε a reçu le nom d'*équivalent électrochimique* de l'électrolyte considéré. Quant au paramètre α , sa valeur, indépendante de la nature de l'électrolyte, est

$$\alpha = 0,00001035 = \frac{1}{96600}$$

Si l'on connaît en calories-gramme la quantité de chaleur q qu'absorbe la décomposition endothermique de e grammes de l'électrolyte considéré, αq sera la quantité de chaleur absorbée par la décomposition de l'équivalent chimique ε ; pour obtenir en joules l'énergie mécanique ou électrique correspondante, il suffit de multiplier αq par le nombre $J = 4,17$, équivalent mécanique de la chaleur. On voit ainsi que le travail effectué par le passage d'un coulomb a pour valeur, en joules,

$$\alpha Jq = 0,0000432 q = \frac{q}{23148}$$

S'agit-il, par exemple, de l'électrolyse de l'eau, pour laquelle on a un équivalent chimique e égal à 9, la valeur de q étant égale à 34.500 calories-gramme, le travail effectué par le passage d'un coulomb sera de

$$34.500 \times 0,0000432 = 1,49 \text{ joule.}$$

L'action électrolytique peut s'exercer non seulement sur divers corps inorganiques, autres que les sels métalliques dont nous avons déjà parlé, mais encore sur des corps organisés. C'est là un sujet sur lequel nous aurons à revenir.

24. Polarisation des électrodes. — L'électrolyse exige une dépense d'énergie qui est nécessairement prélevée sur l'énergie totale du courant ; cette dernière se divise donc

en deux parties, dont l'une se convertit en chaleur dégagée tout le long du circuit, tandis que l'autre se convertit en travail mécanique dépensé pour l'électrolyse. Nous venons de voir que ce travail mécanique s'obtient en faisant le produit du nombre des coulombs qui passent par seconde et du nombre $0,0000432 q$, dans lequel q dépend de la nature de l'électrolyte. Ce même travail mécanique pourrait, d'autre part, s'obtenir en faisant le produit du nombre des coulombs qui passent par seconde et d'une force électromotrice H convenablement choisie ; la valeur de H , exprimée en volts, serait précisément $0,0000432 q$; dans le cas particulier de l'électrolyse de l'eau, par exemple, H aurait pour valeur $1,49$ volt. Les choses se passent donc comme si le phénomène électrolytique prélevait à son profit une partie H de la force électromotrice totale engendrée par la pile, ou, en d'autres termes, comme si ce phénomène donnait naissance à une force *contre-électromotrice* H , inverse de celle qui produit le courant.

Cette force contre-électromotrice se produit, en effet, par le mécanisme de la *polarisation* des électrodes consacrées à l'électrolyse. Supposons, pour fixer les idées, que l'on emploie comme électrodes deux lames de platine pour l'électrolyse de l'eau ; on verra des bulles d'oxygène se placer sur l'anode et des bulles d'hydrogène se placer sur la cathode ; ces modifications de l'état des surfaces produiront entre les deux lames de platine une différence de potentiel qui, croissant d'abord très vite, puis plus lentement, ne tardera pas à atteindre sa valeur maximum de $1,49$ volt. On a donné à la force contre-électromotrice le nom de *force électromotrice de polarisation* ; il faut que la force électromotrice que la pile peut créer, en sens contraire, entre les deux électrodes, lui soit supérieure pour que l'on puisse obtenir une électrolyse continue ; si elle

lui est inférieure, la décomposition de l'électrolyte peut bien commencer pendant un instant, mais elle s'arrête aussitôt que la force électromotrice de polarisation, qui part de zéro et va en croissant, devient égale à la force électromotrice de la pile, moment à partir duquel le courant cesse de passer. Pour obtenir la décomposition de l'eau, il faut employer une pile dont la force électromotrice soit supérieure à 1,49 volt ; un élément Volta serait insuffisant, mais une pile à tasses composée de deux ou d'un plus grand nombre d'éléments peut être employée avec succès.

25. Force électromotrice et polarisation de la pile.—

Cette étude de l'électrolyse nous permet d'analyser ce qui se passe à l'intérieur d'une pile hydroélectrique. Il y a des réactions chimiques dans une électrolyse, il y en a aussi à l'intérieur d'une pile ; mais, tandis que les réactions électrolytiques sont *endothermiques*, c'est-à-dire consommant de la chaleur, les réactions de la pile sont *exothermiques*, c'est-à-dire susceptibles de dégager de la chaleur. De même qu'une électrolyse qui absorbe la quantité de chaleur q pour le passage d'un coulomb par seconde produit une force contre-électromotrice dont la valeur, exprimée en volts, est

$$\alpha Jq = 0,0000432 q,$$

de même l'ensemble des réactions chimiques produites dans une pile qui dégage la quantité de chaleur q doit produire une force électromotrice dont la valeur en volts est également

$$\alpha Jq = 0,0000432 q.$$

Pour un élément Volta, par exemple, nous avons trouvé précédemment $q = 20.400$ calories-gramme ; la valeur de

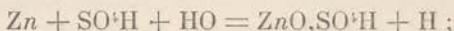
la force électromotrice de cet élément doit donc être
 $0,00432 \times 204 = 0,88128$ volt.

En résumé : *La force électromotrice, exprimée en volts, d'une pile hydro-électrique dont les actions chimiques intérieures, correspondant aux poids équivalents, dégagent un nombre q de calories-gramme, s'obtient en multipliant ce nombre q par 0,000432.* Ce théorème est applicable non seulement à l'élément Volta, mais encore à un élément de chacune des piles hydro-électriques dont on fait usage aujourd'hui ; il suppose l'équivalence parfaite entre l'énergie chimique du couple et son énergie électrique. Cette équivalence serait en effet rigoureuse si le couple conservait exactement, pendant sa marche, la température du milieu ambiant ; or, il n'en est pas toujours ainsi, le couple peut soit s'échauffer, soit se refroidir ; le calcul précédent ne donne alors qu'une valeur plus ou moins approchée de la force électromotrice de la pile.

Dans le couple Volta, la lame de cuivre, qui forme l'anode ou électrode positive, est simplement *conductrice*, tandis que la lame de zinc, qui forme la cathode ou électrode négative, est à la fois *conductrice* et *soluble* (c'est-à-dire intervenant dans la réaction chimique). Les bulles d'hydrogène qui se dégagent autour de la lame de cuivre et s'accumulent sur sa surface donnent naissance au phénomène de la *polarisation*, qui diminue la force électromotrice et produit un affaiblissement rapide de la pile. On peut remédier à cet inconvénient, dans une certaine mesure, en faisant absorber l'hydrogène par un corps, généralement liquide, sur lequel il exerce une action chimique et auquel on donne le nom de *dépolarisant*.

26. *Piles à deux liquides.* — Nous arrivons, ainsi au principe des *piles à deux liquides*.

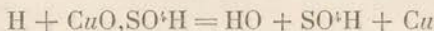
Prenons un vase cylindrique, en verre ou en porcelaine, dans lequel nous introduirons un autre vase cylindrique poreux, de plus petit diamètre, de manière à obtenir deux compartiments. Dans la couronne cylindrique comprise entre ces deux vases, introduisons le liquide *excitateur*, (eau acidulée à l'acide sulfurique), dans lequel plongera l'*anode soluble* (lame de zinc amalgamé, de forme cylindrique) ; dans le vase poreux nous introduirons le *dépolarisant*, dans lequel plongera la *cathode conductrice* (cuivre ou charbon de cornue). Lorsque nous fermerons le circuit le premier compartiment deviendra, comme un élément Volta, le siège de la réaction exothermique



l'hydrogène mis en liberté traversera la cloison poreuse et donnera naissance, en présence du dépolarisant, à une nouvelle réaction chimique.

On peut employer comme dépolarisants des corps de diverses natures ; de là l'invention d'un grand nombre de piles à deux liquides. Nous allons décrire les principales.

ELÉMENT DANIELL. — On emploie comme dépolarisant une dissolution de *sulfate de cuivre*, qui s'empare de l'hydrogène en vertu de la réaction suivante



En tenant compte de la réaction qui précède, on voit qu'il y a, en dernière analyse, substitution du zinc au cuivre dans le sulfate de cuivre. Or d'après les tables thermo-chimiques de M. Berthelot, on voit que, en calories-gramme, la formation d'un équivalent de sulfate de zinc dégage

| | |
|---|---------|
| dégage | 114.400 |
| et que la décomposition d'un équivalent de sulfate de cuivre absorbe..... | 90.200 |

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Différence ou chaleur dégagée $q =$ | 24.200 |
|-------------------------------------|--------|

il suffit de multiplier cette quantité de chaleur q par le nombre $\alpha J = 0,0000432$ pour obtenir, en volt, la force électromotrice de l'élément Daniel ; on trouve ainsi

$$e = 242 \times 0,00432 = 1 \text{ volt, } 04544,$$

valeur très approchée de celle 1 volt, 068, qui résulte des mesures obtenues par des expériences directes.

Cette force électromotrice d'un élément Daniell est assez voisine du volt pour que cet élément puisse servir comme étalon de force électromotrice. Elle est très constante, parce que la polarisation est parfaitement évitée ; le cuivre mis en liberté se dépose sur l'électrode positive.

Mais la résistance de cette pile est variable, la dissolu-



Fig. 13.

tion de sulfate de zinc va en s'enrichissant, tandis que la dissolution de sulfate de cuivre va, au contraire, en s'appauvrissant ; ajoutons que les deux sulfates se mélangent

à travers le vase poreux. On peut faciliter le renouvellement nécessaire du sulfate de cuivre en adoptant la disposition dite *en ballon* (fig. 13) ; le sulfate de cuivre approvisionné est contenu dans un ballon de verre rempli d'eau, et fermé par un bouchon que traverse un tube de verre ; ce ballon de verre est renversé de manière que le tube descende jusqu'à la solution dépolarisante qu'il convient de maintenir saturée.

MM. Callaud et Trouvé ont supprimé la cloison poreuse ; la différence des densités du liquide exciteur et de la solution de sulfate de cuivre. (cette dernière étant la plus lourde), suffit pour les maintenir séparés. Cette disposition a le double avantage de diminuer sensiblement le prix de la pile et de réduire beaucoup sa résistance intérieure.

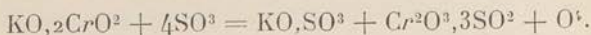
L'élément Daniell a, d'ailleurs, donné lieu à plusieurs autres modifications que nous croyons inutile d'indiquer ici.

COUPLE BUNSEN. — On emploie comme dépolarisant l'*acide azotique* ou *nitrique* AzO^5 , marquant de 36° à 40° . L'électrode positive est constituée par un prisme en charbon de cornue. L'hydrogène dégagé par la première réaction réduit l'acide nitrique en composés moins oxygénés qui se dissolvent ou se dégagent ; les vapeurs nitreuses qui résultent de cette réaction répandent une odeur très désagréable.

La force électromotrice du couple Bunsen est de 1 volt 90. Il suffit de remplacer l'électrode en charbon par un électrode en platine pour obtenir le *couple Grove*, dont la force électromotrice est de 1 volt 96.

COUPLE POGGENDORFF. — L'oxygène nécessaire pour la dépolarisation est fourni, en principe, par l'*acide chromique* résultant de la décomposition d'un mélange de *bichro-*

mate de potasse et d'acide sulfurique étendu d'eau, d'après la formule suivante



Dans ces conditions il n'est pas nécessaire d'établir une séparation entre le liquide exciteur (eau acidulée à l'acide sulfurique) et la solution dépolarisante. On peut donc n'employer en fait qu'un seul liquide, dans lequel plongent les deux électrodes zinc amalgamé et charbon. La force électromotrice de l'élément Poggendorff est d'un peu plus de 2 volts, soit très approximativement 2,01 volts.

M. Grenet a donné à cette pile la forme d'une bouteille

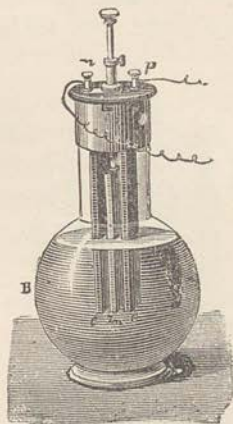


Fig. 14.

sphérique (fig. 14) ; le goulot est fermé par un couvercle en ébonite qui soutient les électrodes de charbon et de zinc ; cette dernière est remontée dans le goulot et retirée ainsi du liquide, à circuit ouvert.

L'énergie de cette pile baisse assez rapidement par suite de l'altération du liquide. Il faut agiter de temps en temps

ce liquide pour faire disparaître le dépôt d'oxyde et d'alun de chrome que se fait sur l'électrode positive.

COUPLE MARIÉ-DAVY. — On emploie comme dépolari-sant le *sulfate de mercure* HgO,SO^3 ; l'électrode positive est en charbon de cornue. La force électromotrice de cette pile est de 1,51 volt.

COUPLES AVEC DIVERS LIQUIDES EXCITATEURS. — Dans toutes piles précédentes, le liquide excitateur est le même que dans l'élément Volta, c'est-à-dire l'eau acidulée à l'acide sulfurique. Il existe d'autres piles dans lesquelles on emploie d'autres liquides excitateurs.

Dans l'élément *Leclanché*, (fig. 15) le liquide excitateur

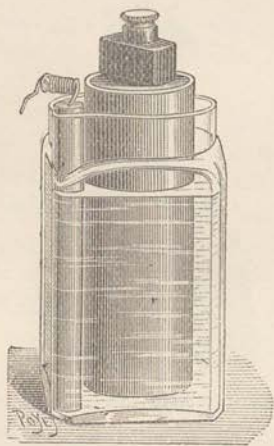
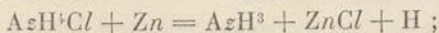


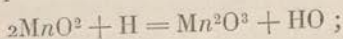
Fig. 15.

est une solution aqueuse de *chlorhydrate d'ammoniaque* AzH^4Cl qui, en présence du zinc, donne lieu à la réaction



le déporalisant est un oxyde solide, le *bioxyde de manga-*

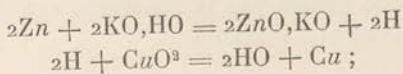
nèse MnO^2 , (dont les cristaux mélangés avec des fragments de charbon de cornue sont contenus dans un vase poreux), qui donne en présence de l'hydrogène la réaction suivante



la force électromotrice est de 1,45 volt. Cette pile, dont l'usage est très répandu, ne consomme rien à circuit ouvert. Son électrode positive est en charbon.

L'élément *Warren de la Rue* diffère du précédent par la substitution du *chlorure d'argent* $AgCl$ au bioxyde de manganèse. L'électrode positive est faite avec un ruban d'argent recouvert de chlorure d'argent et enveloppé d'un tube en parchemin. La force électromotrice est de 1,02 volt. Aucune réaction ne se produit à circuit ouvert.

Dans l'élément *de Lalande et Chaperon*, on emploie comme liquide excitateur une solution de *potasse caustique* KO,HO et comme déporalisant l'*oxyde de cuivre* CuO^2 ; les deux liquides sont mélangés dans le même vase. L'électrode soluble est en zinc et l'électrode positive en cuivre. Voici les formules des réactions



le cuivre se précipite à l'état métallique. Pas de réaction à circuit ouvert. La force électromotrice de cet élément est de 0,85 volt. La constance de cette pile est remarquable.

27. Groupement des éléments de pile. — Prenons un nombre quelconque n de couples identiques entre eux, ayant chacun une force électromotrice E et une résistance intérieure r . Nous pouvons grouper ces couples de deux manières principales, c'est-à-dire soit en *tension*, soit en *quantité*.

Le *groupement en tension*, appelé aussi *groupement en série*, s'obtient en reliant le pôle négatif du premier couple au pôle positif du second, le pôle négatif de celui-ci au pôle positif du troisième, et ainsi de suite. Les forces électromotrices s'ajoutent, en sorte que la batterie de piles ainsi constituée acquiert la force électromotrice nE ; les résistances intérieures s'ajoutent également, en sorte que la résistance intérieure de la batterie devient nr . Si nous fermons le circuit par une résistance extérieure R , l'intensité du courant obtenu sera

$$I = \frac{nE}{nr + R}$$

Le *groupement en quantité*, que l'on appelle aussi quelquefois *groupement en dérivation*, s'obtient en reliant entre eux tous les pôles positifs et en reliant aussi entre eux tous les pôles négatifs. La force électromotrice de la batterie ainsi constituée est la même E que celle d'un élément, mais la résistance intérieure de cette batterie est n fois plus faible que celle d'un couple et se réduit à $\frac{r}{n}$.

En fermant le circuit par la résistance extérieure R , on obtient un courant d'intensité

$$I'' = \frac{E}{\frac{r}{n} + R} = \frac{nE}{r + nR}$$

Les valeurs I' et I'' des intensités correspondant aux deux modes de groupement, pour une même résistance extérieure R sont donc en général différentes. Pour qu'elles deviennent égales, il faut et il suffit que l'on ait

$$R = r,$$

c'est-à-dire que la résistance extérieure soit égale à la résis-

tance intérieure de l'un des éléments; on a, dans ce cas,

$$I = I'' = \frac{nE}{(n + 1)r}$$

Avec une résistance extérieure plus grande

$$R > r,$$

on trouve

$$I > I'',$$

c'est-à-dire que la plus grande intensité s'obtient avec le groupement en tension.

Avec une résistance extérieure plus petite

$$R < r,$$

on trouve

$$I < I''$$

en sorte que c'est le groupement en quantité qui fournit le courant le plus intense.

On peut combiner les groupements en tension et en quantité de manière à obtenir ce que l'on appelle un *groupement mixte*. Supposons que le nombre total n des couples soit le produit de deux facteurs entiers x et y , en sorte que l'on ait

$$n = xy,$$

nous pourrons former y batteries partielles de x couples groupés en tension ou en série; chacune de ces batteries, ayant la force électromotrice xE et la résistance intérieure xr , pourra être assimilée à un élément de pile et nous pourrons grouper en quantité les y éléments complexes ainsi obtenus, de manière à obtenir une batterie totale dont la force électromotrice sera xE et dont la résistance

intérieure sera $\frac{xr}{y}$. En fermant le circuit de cette batterie

mixte par la résistance extérieure R , nous aurons pour valeur de l'intensité du courant

$$I = \frac{x E}{\frac{x r}{y} + R} = \frac{x y E}{x r + y R}$$

On peut remplacer y par sa valeur $\frac{n}{x}$; la formule ci-dessus devient ainsi

$$I = \frac{n x E}{x^2 r + n R}$$

On démontre facilement que cette valeur de I devient maximum lorsque l'on a

$$x^2 r = n R,$$

égalité qui peut aussi s'écrire sous la forme

$$\frac{x r}{y} = R;$$

par conséquent, *on obtient l'intensité maximum du courant lorsque la résistance intérieure de la batterie mixte est égale à la résistance du circuit extérieur.* Lorsque cette condition est remplie, on obtient l'intensité

$$I = \frac{x E}{2 R};$$

d'après la formule d'Ohm, la différence de potentiel entre les deux bornes du circuit extérieur qui correspond à cette intensité I a pour valeur

$$R I = \frac{x E}{2},$$

c'est-à-dire la moitié de la force électromotrice $x E$ de la batterie mixte; par conséquent, *on obtient l'intensité maximum du courant lorsque la différence de potentiel*

aux bornes du circuit extérieur est égale à la moitié de la force électromotrice de la batterie.

28. *Applications.* — Les formules et théorèmes précédents ont une grande utilité dans la pratique et permettent de résoudre plusieurs problèmes intéressants.

1° *Etant donnée la résistance R d'un conducteur dans lequel on veut faire passer un courant électrique d'une intensité déterminée I, au moyen d'une batterie composée de couples caractérisés par leur force électromotrice E et leur résistance intérieure r, comment doit-on former cette batterie ?*

Il faut, d'après la loi d'Ohm, obtenir entre les deux extrémités du conducteur la différence de potentiel IR ; or d'après un des théorèmes précédents cette différence de potentiel doit être égale à la moitié de la force électromotrice de la batterie ; nous devons donc avoir

$$IR = \frac{x E}{2} ;$$

d'où

$$x = \frac{2 IR}{E} ;$$

cette formule nous fait connaître le nombre x des couples qui doivent entrer dans chacun des groupements en série.

Pour calculer le nombre y de ces batteries partielles qu'il faut grouper en quantité, nous remarquerons que la résistance intérieure $\frac{xr}{y}$ de la batterie résultante doit, en vertu d'un des théorèmes précédents, être égale à la résistance extérieure R ; nous devons donc avoir

$$\frac{xr}{y} = R,$$

d'où

$$y = \frac{xr}{R} = \frac{2}{E} Ir$$

Le nombre total des couples à employer est égal à xy .

Si les valeurs ainsi calculées pour x et y ne sont pas entières, nous leur substituerons les nombres entiers qui s'en rapprochent le plus et nous obtiendrons ainsi la solution très approximative du problème proposé.

Il faut remarquer que si la force électromotrice E , à circuit ouvert, d'un couple donné est généralement connue d'avance avec une grande approximation, il n'en est pas de même de sa résistance intérieure r qui varie constamment avec l'état du liquide exciteur.

Pour faire une application numérique de ces formules, prenons des couples Poggendorf, au bichromate, pour chacun desquels on a

$$E = 2,01 \text{ volts.}$$

$$r = 0,25 \text{ ohm.}$$

et proposons-nous d'obtenir un courant d'intensité

$$I = 8 \text{ ampères,}$$

sur une résistance extérieure

$$R = 5 \text{ ohms.}$$

Nous trouverons

$$x = \frac{2}{E} IR = \frac{2 \times 8 \times 5}{2,01} = 40$$

$$y = \frac{2}{E} Ir = \frac{2 \times 8 \times 0,25}{2,01} = 2;$$

il faut donc employer 80 couples, former deux groupes de 40 éléments en série et réunir ces deux groupes en quantité.

2^o Comment doit-on grouper un nombre n de couples ayant la force électromotrice E et la résistance inté-

rière r , pour obtenir le maximum d'intensité du courant sur une résistance extérieure R ?

Nous aurons, pour déterminer x et y les deux formules

$$\begin{aligned} xy &= n \\ xr &= yR, \end{aligned}$$

d'où l'on déduit

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{\frac{nR}{r}} \\ y &= \sqrt{\frac{nr}{R}}, \end{aligned}$$

valeurs indépendantes de la force électromotrice E des couples employés. L'intensité du courant obtenu se calculera par la formule générale

$$I = \frac{xyE}{xr + yR};$$

elle est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à E .

Comme application numérique, donnons-nous $n = 200$ éléments Bunsen, pour chacun desquels

$$\begin{aligned} E &= 1,9 \text{ volt.} \\ r &= 0,2 \text{ ohm.} \end{aligned}$$

et proposons-nous d'obtenir le courant maximum sur une résistance extérieure

$$R = 15 \text{ ohms};$$

nous aurons

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{\frac{nR}{r}} = \sqrt{\frac{200 \times 15}{0,2}} = \sqrt{15000} = 123 \\ y &= \sqrt{\frac{nr}{R}} = \sqrt{\frac{200 \times 0,2}{15}} = \sqrt{2,67} = 1,62 \end{aligned}$$

Cette valeur de y n'étant pas entière, il faut la remplacer par le nombre entier 2 qui s'en rapproche le plus ; la valeur correspondante de x est 100. Il faut donc former deux groupes de 100 éléments en série et les réunir en quantité. L'intensité du courant obtenu sera

$$\frac{xyE}{xr + yR} = \frac{200 \times 1,9}{100 \times 0,2 + 2 \times 15} = 7,6 \text{ ampères.}$$

3^o *Quel mode de groupement doit-on adopter si le rapport de la résistance extérieure R à la résistance intérieure r d'un élément est plus grand que le nombre n des éléments dont on dispose ?*

Les formules

$$x = \sqrt{\frac{nR}{r}}$$

$$y = \sqrt{\frac{nr}{R}}$$

qui correspondent au maximum d'intensité du courant donnent, dans le cas dont il s'agit $x > n$ et $y < 1$, valeurs auxquelles on est obligé de substituer $x = n$ et $y = 1$. Par conséquent, *la solution consiste à grouper tous les éléments en série*. L'intensité du courant obtenu sera, dans ce cas, donnée par la formule

$$I = \frac{nE}{nr + R}$$

Si l'on s'imposait la condition d'obtenir un courant d'intensité déterminée I , le nombre n des éléments à employer se déduirait de la formule ci-dessus ; on trouverait

$$n = \frac{RI}{E - rI}$$

Comme application numérique, supposons qu'un médecin disposant d'éléments Leclanché pour lesquels

$$E = 1,45 \text{ vol}$$

$$r = 1,1 \text{ ohm,}$$

veuille obtenir un courant de 20 milliampères

$$I = 0,02 \text{ ampère}$$

sur une résistance évaluée à 2.000 ohms,

$$R = 2.000 \text{ ohms.}$$

La formule donnera

$$n = \frac{2.000 \times 0,02}{1,45 - 1,1 \times 0,02} = 28 ;$$

le médecin devra donc grouper en série 28 éléments Leclanché.

29. Thermo-électricité. — Seebeck a découvert en 1821 qu'un circuit formé de plusieurs métaux soudés bout à bout est parcouru par un courant lorsque l'on chauffe une de ses soudures. Prenons, par exemple, un anneau dont les deux moitiés, l'une en cuivre et l'autre en fer, soient soudées l'une à l'autre ; il nous suffira d'élever à 200 degrés par exemple, la température de l'une des soudures, pour obtenir un *courant thermo-électrique* allant du fer au cuivre par la soudure chaude.

La force électromotrice d'un couple de ce genre dépend de la nature des deux métaux accolés, mais les soudures de liaison n'ont aucune action ; il est indifférent que ces métaux soient unis directement ou par l'intermédiaire d'un corps conducteur quelconque.

Si, l'une des soudures étant maintenue à une température fixe, (celle de la glace fondante, pour fixer les idées), on élève progressivement la température de l'autre soudure, on voit la force électromotrice aller d'abord en croissant, atteindre un maximum et décroître ensuite non seu-

lement jusqu'à zéro, mais même au-dessous de zéro en changeant de signe ; il se produit alors une *inversion* du courant. On a constaté que *la température qui rend maximum la force électromotrice est la moyenne arithmétique de la température de la soudure froide et de la température d'inversion*. Pour le couple fer-cuivre, dont une soudure est maintenue à zéro degré, la température qui rend maximum la force électromotrice est de 275 degrés, centigrades, et la température d'inversion est de 550 degrés ; ajoutons que la valeur maximum de la force électromotrice n'est que d'environ 3.000 microvolts (ou millièmes de volt), soit 0,003 volt.

Peltier a montré que l'effet Seebeck est réversible. Si l'on fait passer un courant électrique, provenant d'une source étrangère, dans un barreau formé par deux parties cuivre et fer, soudées bout à bout, la soudure s'échauffe ou se refroidit suivant que le courant passe dans un sens ou dans l'autre. Cet effet Peltier est distinct de l'effet Joule, avec lequel il coexiste.

D'autre part, Sir W. Thomson a découvert que l'on fait naître une force électromotrice dans un fil homogène, en chauffant inégalement plusieurs points de ce fil. Le plomb est, d'après les expériences de M. Leroux, le seul métal qui soit réfractaire à l'effet Thomson.

Ces diverses observations nous font entrevoir que les lois du phénomène thermo électrique qui se passe, dans un anneau fer-cuivre par exemple, ne doivent pas être très simples. Ces lois ont été étudiées et formulées par Becquerel et par Gaugain. La force électromotrice obtenue en échauffant inégalement les deux soudures dépend non seulement de la différence des températures, mais aussi de leur demi-somme ou valeur moyenne. La valeur, toujours très faible, de cette force électromotrice dépend en outre des natures des deux métaux.

Pour construire une *pile thermoélectrique* d'une force électromotrice utilisable, il faut grouper en série un assez grand nombre de couples bimétalliques. La *pile de Mel-*

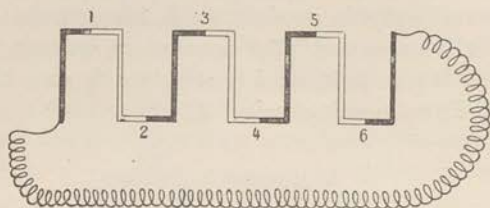


Fig. 16.

loni, qui a rendu les plus grands services pour l'étude de la chaleur rayonnante, est composée de couples antimoine-bismuth formant un chaînon, comme l'indique le schéma

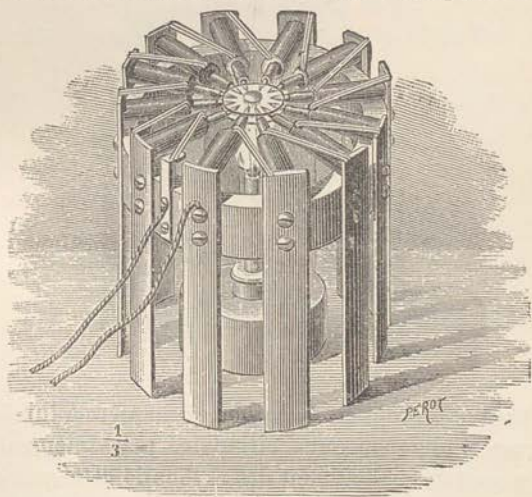


Fig. 17.

ci-contre (fig. 16) ; on replie ensuite cette chaîne sur elle-même, de manière à obtenir un parallépipède rectangle

présentant sur une de ses bases toutes les soudures de rang pair et sur l'autre toutes les soudures de rang impair. La plus légère différence de température entre les deux bases de ce parallépipède produit un faible courant dans le circuit extérieur ; c'est pour cette raison qu'on a pu faire remplir à la pile de Melloni le rôle d'un thermomètre différentiel d'une grande sensibilité.

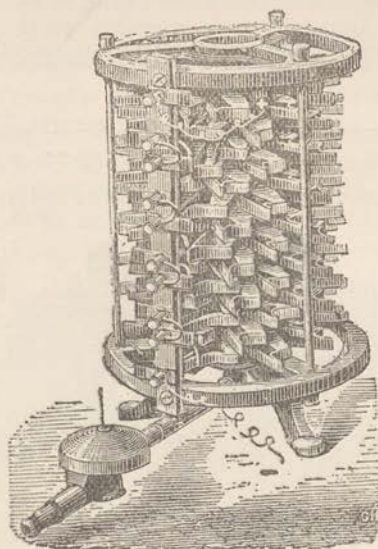


Fig. 18.

On peut aussi replier le chaînon de manière à lui donner la forme d'une couronne circulaire ; les éléments ou couples sont dirigés suivant des rayons de cette couronne. Les soudures d'ordre pair sont toutes à l'intérieur, et les soudures d'ordre impair toutes à l'extérieur. La figure 17 représente un petit modèle de la *pile de Noé*, construit par MM. Ducretet et Lejeune ; les deux métaux employés

sont le maillechort et un alliage zinc-antimoine. Les soudures centrales sont engagées dans une pièce de cuivre qui reçoit directement la chaleur d'une lampe à esprit de vin.

La *pile Clamond et Carpentier* se compose de couples fer et alliage zinc-antimoine. Avec dix couples groupés en série on forme une couronne circulaire ; plusieurs couronnes semblables, superposées et séparées les unes des autres par des rondelles d'amiante, sont réunies soit en série, soit en dérivation. Les soudures centrales reçoivent la chaleur de jets de gaz enflammés sortant des orifices d'un tuyau en terre réfractaire (Fig. 18). Une pile à 12 couronnes de 10 éléments, produit une force électromotrice de 8 volts ; sa résistance intérieure est d'un peu plus de 3 ohms ; elle consomme 180 litres de gaz par heure. Quant à son rendement maximum, il est à peine d'un cinq centième, c'est-à-dire que l'énergie électrique obtenue

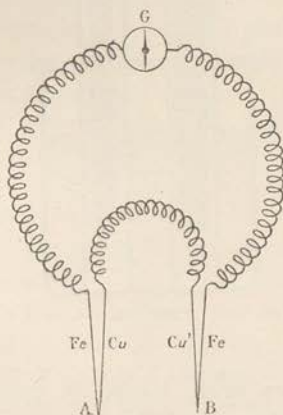


Fig. 19.

ne représente que la cinq centième partie de l'énergie calorifique dépensée pour actionner la pile.

Avec deux couples fer-cuivre, opposés l'un à l'autre,

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

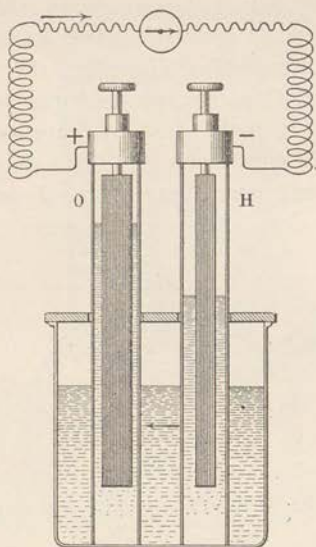


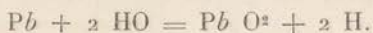
Fig. 20.

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

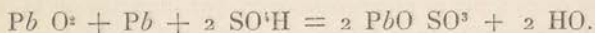
(1) Le galvanomètre, que nous décrirons plus loin, est un instrument qui permet de constater l'existence d'un courant par la déviation que ce courant imprime à l'aiguille aimantée.

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

écailles 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.

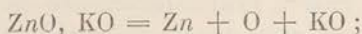
Les accumulateurs sont, en général, des instruments délicats et capricieux, exigeant beaucoup de soins et dont il faut surveiller le régime pour ne pas les exposer à des détériorations fatales. Les régimes anormaux de charge ou de décharge, les courts circuits accidentels, les trop grandes variations 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^o Avec un courant *faible*, une secousse à la fermeture et une secousse à l'ouverture, que le courant soit ascendant ou descendant ;

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

3^o 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. en est autrement à la surface du conducteur, sur 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 physiiciens 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 ^o peau sèche | 2.200 ohms ; |
| 2 ^o peau frottée d'eau de savon | 1.500 ohms ; |
| 3 ^o 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^{er} 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

tourner, en restant horizontal, autour d'un pivot vertical, sa faculté d'orientation bien connue s'exercera immédiatement ; on est convenu d'appeler *pôle nord* celui des deux pôles qui se tourne vers le nord et *pôle sud* l'autre pôle ; on dit *positive* la masse magnétique du pôle nord et *néga-tive* celle du pôle sud ; ces deux masses sont égales et de signes contraires.

Deux masses magnétiques de même signe se repoussent, deux masses magnétiques de signes contraires s'attirent. Coulomb a constaté que *les attractions et les répulsions magnétiques sont inversement proportionnelles aux carrés des distances*. L'action mutuelle de deux pôles, à une distance donnée, dépend de leurs puissances particulières ; si, l'un d'eux restant fixe, ainsi que la distance, on change le second de manière à rendre double, triple,...., l'action mutuelle primitive, on dira que l'on a doublé, triplé,.... la masse magnétique de ce second pôle. Moyennant cette convention, on peut dire que *les attractions et les répulsions de deux masses magnétiques sont proportionnelles aux produits de ces deux masses*. En résumé, les masses magnétiques obéissent à la loi Newtonienne de l'attraction universelle, ainsi que l'exprime le théorème suivant : *La force agissant entre deux masses magnétiques est dirigée suivant la droite qui joint leurs points de concentration ; elle est proportionnelle au produit de ces deux masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance*.

En désignant par m et m' les deux masses magnétiques, et par r leur distance, leur action mutuelle φ s'exprime par la formule

$$\varphi = - \frac{mm'}{r^2},$$

absolument analogue à celle qui régit l'action mutuelle de deux masses électriques. En raisonnant comme nous

l'avons fait précédemment pour ces dernières, on peut définir l'unité CGS de masse magnétique; c'est la masse magnétique qui agissant sur une masse magnétique égale placée à la distance d'un centimètre la repousserait avec la force d'une dyne.

Cela posé, un système quelconque de masses magnétiques $m, m', m'' \dots$, occupant des positions fixes, détermine ce que l'on appelle un *champ magnétique*, espace dans lequel son action peut s'exercer. Plaçons en un point quelconque P l'unité positive de masse magnétique, elle sera sollicitée par une force résultante dont la direction et l'intensité constitue la *force du champ* en ce point P.

En divisant chaque masse magnétique agissante par sa distance au point P et faisant la somme de tous ces quotients, on obtient la fonction de point

$$V = \frac{m}{r} + \frac{m'}{r'} + \frac{m''}{r''} + \dots$$

que l'on appelle le *potentiel du champ magnétique* au point P. On démontre que ce potentiel représente le travail qu'il faudrait dépenser pour amener l'unité de masse magnétique depuis l'infini jusqu'au point P.

Examinons le cas particulier tout à fait simple où le système d'aimants fixes se réduirait à une seule masse positive m , concentrée sur un point. Pour tous les points d'une sphère de rayon r ayant son centre sur cette masse m , le potentiel aura la valeur constante $\frac{m}{r}$, ce que nous pouvons exprimer en disant que la surface de cette sphère est *équipotentielle*. En chaque point de cette surface sphérique l'action magnétique exercée sur l'unité de masse positive, c'est-à-dire la *force du champ*, lui est *normale*, ce que nous pouvons exprimer en disant que cette surface est une *surface de niveau*. Si nous considérons une série

de surfaces sphériques, ayant toutes leur centre en m et différant entre elles par leurs rayons, elles seront toutes normales à un rayon quelconque issu de leur centre commun ; or ce rayon représente une *ligne de force*, parce qu'en chacun de ses points la force du champ est dirigée suivant ce rayon lui-même ; nous voyons ainsi que les *lignes de force du champ magnétique sont perpendiculaires aux surfaces de niveau*.

Quel que soit le système de masses agissantes m, m', m'', \dots le champ magnétique correspondant présente des propriétés analogues à celles que nous venons d'exposer. On peut toujours tracer par la pensée une série de *surfaces équipotentielles* ou *surfaces de niveau*, normales aux actions magnétiques, et tracer ensuite un système de *lignes de force* perpendiculaires à ces surfaces.

S'agit-il, par exemple, du champ magnétique créé par les deux pôles N et S d'un barreau aimanté (fig. 21), un plan passant par la ligne SN coupera les surfaces de niveau suivant le système de courbes tracées en plein sur la figure ; celles des lignes de force qui se trouvent situées dans ce plan sont représentées par les courbes tracées en pointillé, normales aux précédentes. Chacun de ces deux systèmes de courbes présente une double symétrie, relativement à la ligne SN et relativement à la perpendiculaire AB élevée au milieu de cette ligne. On retrouve ce système de lignes de force dans le *spectre magnétique* que l'on obtient en plaçant au-dessus d'un barreau aimanté une mince lame de verre ou de carton, recouverte d'une couche uniforme de limaille de fer, et imprimant à cette limaille quelques légères secousses.

La plus simple des champs magnétiques est ce que l'on appelle un *champ magnétique uniforme* ; l'action magnétique y reste constante en grandeur et en direction, en sorte que les lignes de force sont des droites parallèles

entre elles et les surfaces de niveau des plans normaux à ces droites. La terre, qui peut être assimilée à un aimant, crée autour de nous un champ uniforme, dont l'intensité constante est un peu faible. D'après les mesures prises à

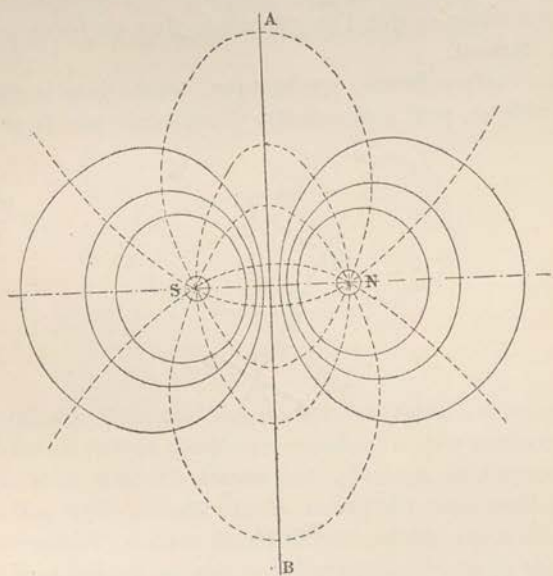


Fig. 21.

Saint-Maur le 1^{er} janvier 1888 l'intensité du champ magnétique terrestre à Paris a pour valeur moyenne 0,4652 dyne ; sa composante horizontale n'est que de 0,1948, et sa composante verticale de 0,42245.

34. *Flux de force.* — Traçons dans un champ magnétique quelconque un élément de surface AB (fig, 22) ; soit F la force magnétique correspondant à son centre de

gravité P et F_n la projection de cette force sur la normale NN' à cet élément de surface. Le produit

$$F_n \times \overline{AB}$$

de cette composante normale par l'aire de l'élément de surface constitue ce que l'on appelle le *flux de force* relatif à cet élément.

Une surface fermée quelconque, tracée dans le champ magnétique, peut toujours être décomposée par la pensée

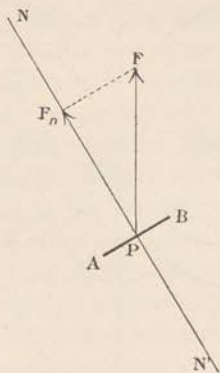


Fig. 22.

en éléments superficiels à chacun desquels correspond un flux de force. Suivant que la composante normale F_n relative à cet élément se dirige vers l'extérieur ou vers l'intérieur de la surface fermée, le flux de force correspondant peut être considéré comme *sortant* ou comme *entrant*; on convient de le regarder comme *positif* dans le premier cas et comme *négatif* dans le second. Moyennant cette convention, on peut opérer la sommation de tous les flux de force élémentaires; Green a démontré le théorème suivant: *Le flux de force total correspondant à une surface fermée de forme quelconque, ne renfermant*

aucune masse magnétique, est identiquement nul. Les flux entrant et les flux sortant se détruisent donc mutuellement.

Cela posé, considérons un circuit fermé quelconque ABCD, placé dans le champ magnétique (fig. 23) et prenons le pour base d'une surface arbitraire AMC, en forme

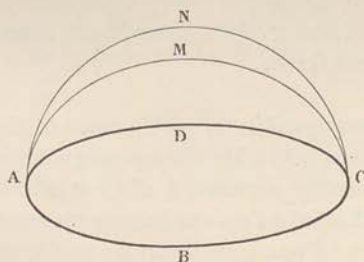


Fig. 23.

de calotte. Nous appellerons *flux de force embrassé par le circuit* le flux total correspondant à cette surface ; cette définition n'aurait aucun sens précis si la forme de la surface AMC influait sur la valeur du flux total qui lui correspond ; il nous faut donc démontrer que cette forme est sans influence, cela est facile en recourant au théorème de Green. Prenons, en effet, une autre surface ANC, ayant aussi pour base le circuit ABCD ; l'ensemble des deux surfaces AMC et ANC constitue une surface fermée, ne renfermant aucune masse magnétique, pour laquelle le flux total est identiquement nul ; par conséquent, il entre ou sort par la surface AMC autant de flux de force qu'il en sort ou entre par la surface ANC, en sorte que ces deux surfaces, considérées séparément, ont des flux correspondants parfaitement égaux. Ces considérations nous conduisent à la conception très importante du *flux de force traversant un circuit fermé* ; on entrevoit une analogie entre ce flux

de force traversant le circuit et un flux liquide qui le traverserait s'il était plongé dans un cours d'eau.

Le théorème de Green, dont nous venons d'apprécier l'utilité, se complète de la manière suivante lorsque des masses magnétiques sont à l'intérieur d'une surface fermée : *Le flux de force total correspondant à une surface fermée de forme quelconque s'obtient en multipliant par le nombre 4π la somme algébrique M des masses magnétiques qu'elle renferme.*

35. Electromagnétisme. — Un courant électrique crée autour de lui un véritable champ magnétique. L'origine de cette découverte remonte à 1820 et réside dans cette expérience d'Ørsted qu'un conducteur traversé par un courant et approché d'une aiguille aimantée l'écarte de sa position d'équilibre. C'est Ampère qui a démontré l'identité complète entre le champ d'un courant et le champ d'un aimant ; c'est au génie d'Ampère qu'est due la découverte si remarquable de *l'équivalence d'un courant fermé et d'un feuillet magnétique.*

Prenons une surface quelconque, (une calotte sphérique, par exemple), limitée par un périmètre fermé. Divisons-la, par la pensée, en une infinité d'éléments, tous de même surface. Prenant alors une série d'aiguilles aimantées infiniment courtes et toutes identiques entre elles, faisons traverser chaque élément de surface par une aiguille passant normalement par son centre, de manière que tous les pôles nord se trouvent d'un même côté de la surface, et, par conséquent, tous les pôles sud du côté opposé. Supposons enfin que la substance matérielle de ces aiguilles s'anéantisse en déposant sur les deux côtés de la surface les masses magnétiques des pôles. Nous obtiendrons ainsi un *feuillet magnétique*, sorte d'aimant théorique, résultant d'une couche uniforme de magnétisme nord ou positif

répandue sur une face de la calotte et d'une couche égale de magnétisme sud ou négatif uniformément répandu sur la face opposée. La *densité superficielle* σ de la couche positive est le rapport de la masse magnétique composant cette couche à l'aire qu'elle recouvre ; il faut d'ailleurs, pour maintenir la séparation des couches positive et négative, attribuer une petite épaisseur h à la surface ; on appelle *puissance du feuillet* le produit de l'épaisseur infiniment petite de la lame par la densité superficielle de la couche

$$\Phi = h\sigma.$$

Soit ABCD (fig. 24) le périmètre fermé qui termine le feuillet magnétique. Pour obtenir la valeur du potentiel

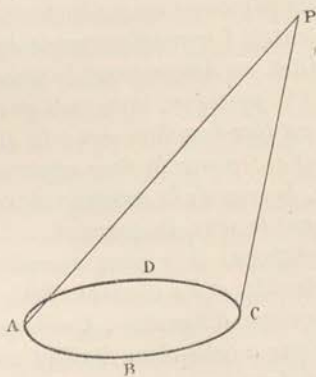


Fig. 24.

magnétique créé par ce feuillet au point quelconque P, on considère ce point comme le sommet d'un cône ayant pour base le périmètre ABCD, ce qui détermine l'angle solide ω sous lequel du point P, on verrait, ce contour terminal (1).

(1) Prenons le sommet P de cet angle solide pour centre d'une sphère ayant pour rayon l'unité de longueur ; l'aire de la surface sphérique découpé par le cône sert de mesure à l'angle solide.

Le potentiel du feuillet magnétique est égal au produit de la puissance magnétique de ce feuillet par l'angle solide sous lequel est vu son contour terminal ; c'est ce que l'on exprime par la formule

$$V = \Phi \omega.$$

Ce potentiel représente le travail qu'il faudrait dépenser pour amener l'unité de masse magnétique depuis l'infini jusqu'au point P en présence du feuillet magnétique.

Cela posé, supprimons le feuillet magnétique en conservant seulement son contour terminal ABCD et supposons que ce contour représente un fil conducteur, en cuivre par exemple. Faisons parcourir ce conducteur par un courant électrique *d'intensité I numériquement égale à la puissance Φ du feuillet*, en déterminant le sens de ce courant d'après cette règle pratique, imaginée par Maxwell : *Si l'on enfonçait un tire-bouchon dans la surface-feuillet de manière qu'il entre par la face négative et sorte par la face positive, le sens de la rotation de ce tire-bouchon serait précisément le sens du courant.*

Dans ces conditions, il y aura complète équivalence magnétique du feuillet et du courant. Telle est la signification de ce théorème d'Ampère : *L'action d'un courant fermé est identique à celle d'un feuillet magnétique de même contour et dont la puissance est égale à l'intensité du courant.*

Il est, par conséquent, toujours facile de concevoir un feuillet magnétique équivalent à un courant fermé. En supposant qu'un observateur soit couché dans le courant, en regardant vers l'intérieur du circuit fermé, la face positive du feuillet sera à la gauche et la face positive à la droite de cet observateur. On arrive ainsi à attribuer au courant fermé lui-même une face positive et une face négative.

Le potentiel de ce courant fermé, pour un point quelconque P, a pour valeur

$$V = I\omega + \text{constante,}$$

I désignant l'intensité du courant et ω l'angle solide sous lequel, du point P, on voit le circuit fermé; on donne à cet angle ω le signe + ou le signe — suivant que le feuillet équivalent au courant montre au point V sa face positive ou sa face négative. Nous savons que ce potentiel représente le travail nécessaire pour amener l'unité positive de masse magnétique depuis l'infini jusqu'au point P. Pourquoi la valeur du potentiel du courant contient-elle une constante non déterminée, alors qu'il n'en est pas ainsi pour le potentiel du feuillet équivalent? En voici la raison. Lorsqu'il s'agit du feuillet, le chemin arbitraire que nous pouvons, par la pensée, faire parcourir à l'unité de masse magnétique pour l'amener de l'infini au point P est assujéti à l'obligation de ne pas traverser la substance matérielle du feuillet; lorsqu'il s'agit du courant fermé, les traversées deviennent possibles et l'on démontre que chacune d'elles diminue ou augmente de la quantité $4\pi I$ la valeur du potentiel, suivant qu'elle s'effectue dans le sens de la direction du champ ou dans le sens contraire.

Ampère a donné le nom de *solénoïde* à un système de petits courants circulaires tous égaux entre eux, parallèles et équidistants; nous figurons un solénoïde du côté gauche de la figure 25. On peut remplacer chacun de ces courants par un feuillet magnétique équivalent, auquel on peut attribuer une épaisseur égale à la distance de deux courants successifs; comme les faces opposées de deux feuillets consécutifs sont en coïncidence, leurs charges magnétiques se détruisent, il ne reste par conséquent de magnétisme actif que sur les deux faces libres occupant les deux extrémités, faces libres dont les charges sont égales

et de signes contraires. Nous voyons ainsi que le solénoïde doit posséder des propriétés tout-à-fait analogues à celles d'un barreau aimanté.

Le côté droit de la figure 25 représente un *cylindre électromagnétique*, composé, comme le solénoïde, de courants circulaires égaux, parallèles et équidistants ; ces cercles sont reliés entre eux par des segments de droite parallèles

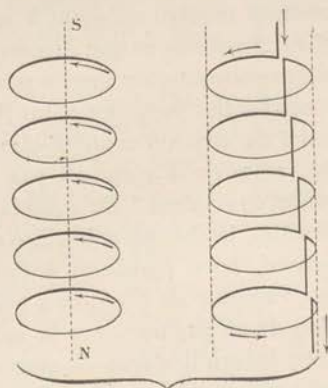


Fig. 25.

à l'axe du cylindre. Pour détruire l'effet de ces bouts de droite et suppléer à l'absence des petits arcs circulaires, il suffirait de ramener le fil de sortie sur le fil d'entrée, en lui faisant suivre sur la surface du cylindre l'hélice qui passe par les milieux des segments de droite. Il est clair, d'ailleurs, que, si les cercles successifs sont très voisins les uns des autres, on peut remplacer par un enroulement hélicoïdal continu l'enroulement discontinu qu'indique la figure, de manière à obtenir une bobine cylindrique. Un cylindre électromagnétique se comporte comme un aimant dont les pôles seraient rigoureusement situés sur ses bases ; il subit l'action directrice du champ terrestre.

On peut faire des expériences très variées concernant les déplacements spontanés des courants fermés placés dans un champ magnétique ; ce serait sortir des limites du cadre imposé par la nature de cet ouvrage que d'entrer dans de longs détails sur les expériences de cette nature, mais il nous paraît très utile d'exposer brièvement les considérations générales qui permettent de bien saisir la clé de ces phénomènes. On appelle *énergie* d'un courant fermé dans un champ magnétique le travail qu'il faudrait dépenser pour transporter ce courant, maintenu invariable par la pensée, depuis l'infini jusqu'à sa position actuelle ; on démontre que cette énergie W est égale et de signe contraire au produit de l'intensité I du courant par le flux de force φ qui le traverse, dans sa position actuelle, en pénétrant par sa face négative ; c'est ce qu'exprime la formule

$$W = - I\varphi.$$

Considérons deux positions différentes du courant dans le champ magnétique, positions auxquelles correspondent les flux φ_1 et φ_2 ; les énergies correspondantes sont

$$W_1 = - I\varphi_1.$$

$$W_2 = - I\varphi_2.$$

leur différence

$$W_2 - W_1 = I(\varphi_1 - \varphi_2)$$

représente le travail qu'il faut dépenser pour amener le courant de la première position à la seconde ; par conséquent *le travail nécessaire pour déplacer un courant fermé dans un champ magnétique est égal au produit de l'intensité de ce courant par la variation du flux qui le traverse en pénétrant par sa face négative*. On démontre, d'ailleurs, que cette variation du flux de force est égale au *flux coupé par le contour du circuit* pendant son tra-

jet, ce qui permet d'énoncer sous une forme différente le théorème précédent.

Cela posé, il existe un théorème de mécanique absolument général, en vertu duquel tout système abandonné à lui-même tend à dépenser la totalité de son énergie ; les positions d'équilibre stable sont, par conséquent, celles auxquels correspondent les valeurs minima de l'énergie du système. Un courant fermé placé dans un champ magnétique se tournera de manière à recevoir par sa face négative le maximum de flux ; si le circuit conducteur est flexible, il prendra la forme circulaire qui lui permet d'embrasser le plus grand flux possible.

36. Aimantation par les courants. — Puisque les courants donnent naissance à de véritables champs magnétiques, ils peuvent évidemment être employés pour obtenir l'aimantation du fer doux. Arago a remarqué, en effet, dès 1820 qu'un fil de cuivre traversé par un courant attire et aimante la limaille de fer.

Introduisons un barreau de fer doux dans l'intérieur d'un cylindre électro-magnétique indéfini, et faisons passer dans la bobine un courant d'intensité I ; le barreau de fer doux recevra une aimantation temporaire et nous obtiendrons un *électro-aimant*. L'action magnétisante dépend, d'une part, de l'intensité I et, d'autre part, du nombre des spires par unité de longueur ; elle est indépendante du périmètre d'une spire, aussi y a-t-il intérêt à réduire ce périmètre à son minimum en enroulant directement le fil conducteur sur le barreau.

Au lieu de donner au barreau de fer doux la forme rectiligne, on peut le courber en forme de fer à cheval. Dans ce cas, on supprime ordinairement les spires dans la partie courbe ; pour que l'enroulement sur les deux branches soit disposé de manière à donner des pôles de

noms contraires aux deux extrémités, il faut qu'il soit le même que si on l'avait fait avant de courber le barreau.

Les électro-aimants peuvent être rendus plus puissants que les aimants permanents d'acier ; le caractère essentiellement temporaire de leur aimantation, qui naît aussitôt que le courant passe et disparaît aussitôt qu'il cesse, les rend précieux pour un grand nombre d'applications.

La théorie de l'aimantation temporaire présente d'assez grandes difficultés notamment à cause de l'existence du phénomène de l'*hystérésis*, dont la découverte est due à M. Ewing, et à cause des variations de la perméabilité magnétique du fer doux. Le lecteur désireux d'approfondir ce sujet pourra recourir aux ouvrages spéciaux.

37. Courants d'induction. — Lorsqu'un conducteur fermé est placé dans un champ magnétique, toute variation du flux de force embrassé par ce circuit détermine une modification du courant. Ce conducteur devient le siège d'un *courant induit*, essentiellement temporaire, dont la durée est égale à celle de la variation du flux. La découverte des courants d'induction remonte à 1831 : elle est due à Faraday.

D'après la *loi de Lenz*, le sens du courant produit par la variation du flux est tel qu'il s'oppose à cette variation ; si donc ce flux diminue, le courant induit sera de même sens que le courant qui produirait ce flux ; si le flux augmente, le courant induit sera de sens contraire au courant qui produirait ce flux ; il en résulte que le courant induit doit changer de signe lorsque le flux passe soit par un maximum, soit par un minimum.

Pour fixer les idées, considérons un rectangle en fil de cuivre ABCD, pouvant tourner autour de la ligne médiane XY, parallèle à ses grands côtés, placé dans un champ magnétique uniforme dont les lignes de force sont per-

pendiculaires à cette ligne médiane (fig. 26). Orientons d'abord cette spire de manière que son plan soit perpendiculaire à la direction du champ et imprimons-lui une rotation uniforme autour de XY. Au début, le flux de force embrassé par le circuit est maximum, en sorte que le courant induit est nul ; ce flux de force décroît ensuite de plus en plus jusqu'à ce qu'il s'annule au moment où le plan de la spire devient parallèle à la direction du champ,

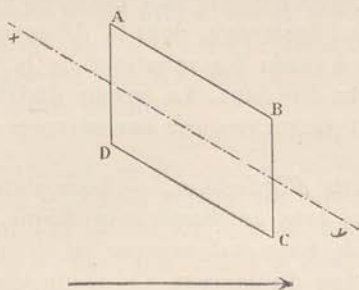


Fig. 26.

de là un courant d'induction d'intensité croissante ; la rotation continuant, le flux de force croît, d'abord assez vite, puis plus lentement jusqu'à ce qu'il atteigne un maximum au moment où le plan de la spire redevient perpendiculaire au champ magnétique, de là un courant d'induction d'intensité décroissante et finalement nulle. Pendant le demi-tour suivant, les choses se passent de la même manière, à cela près que le courant a changé de sens ; ce courant part de zéro, atteint son maximum au moment où le plan de la spire devient parallèle aux lignes de force et revient à zéro lorsque la spire reprend sa position primitive. On obtient ainsi un *courant alternatif*, qui se reproduit périodiquement pendant les tours suivants. En prenant le temps pour abscisse et l'intensité

du courant induit pour ordonnée, on représente graphiquement le phénomène par la courbe qui porte le nom de *sinusoïde* (fig. 27); de là le nom de *courant sinusoïdal*.

L'énergie électrique nécessaire pour la création de ce courant induit résulte de la transformation de l'énergie mécanique qu'il faut dépenser pour faire tourner la spire. En dehors du champ magnétique, cette rotation à vitesse uniforme n'exigerait que le faible travail nécessaire pour

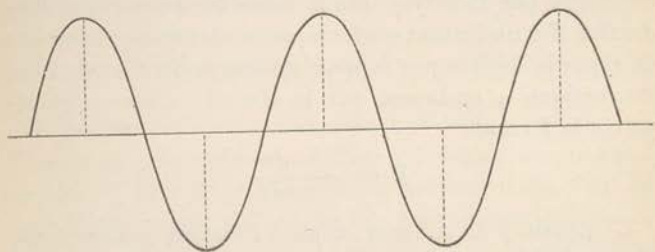


Fig. 27.

vaincre les résistances passives, (frottement de l'axe de rotation sur ses coussinets et résistance de l'air ambiant); la présence du champ magnétique oblige à dépenser un travail plus considérable, comme si, au lieu de tourner dans l'air libre, la spire devait tourner dans un milieu visqueux et résistant; c'est ce supplément de travail qui se transforme en énergie électrique.

Quant à la force électromotrice, elle puise son origine dans la variation du flux de force embrassé pour le circuit ou, ce qui revient au même, dans la coupure des lignes de force du champ par les grands côtés du rectangle tournant (1). Si, sans modifier l'un de ces grands côtés en fil

(1) Les petits côtés du rectangle restant, dans le cas dont il s'agit, constamment parallèles aux lignes de force, ne font aucune coupure du flux.

de cuivre, nous remplaçons les trois autres côtés du rectangle par des tiges non conductrices (en verre ou en ébène), la rotation de la spire hétérogène ainsi constituée aurait lieu sans création d'un courant induit, mais on pourrait néanmoins, au moyen d'instruments de mesure spéciaux, constater l'existence d'une différence de potentiel, périodiquement variable, entre les deux extrémités du fil de cuivre. Sir W. Thomson et M. Helmholtz ont démontré par l'analyse que la force électromotrice d'induction E à un instant quelconque, s'obtient en changeant de signe la dérivée par rapport au temps du flux de force magnétique φ embrassé par le circuit; c'est ce qu'exprime la formule

$$E = - \frac{d\varphi}{dt}$$

L'intensité I du courant induit à l'instant considéré est, d'après la loi d'Ohm, déterminée par la formule

$$I = \frac{E}{R},$$

dans laquelle R désigne la résistance du circuit. On déduit de ces formules que *la quantité d'électricité induite pendant un intervalle de temps quelconque est égale au quotient de la variation correspondante du flux de force traversant le circuit par la résistance de ce circuit.*

Pour déterminer le sens de la force électromotrice à un instant quelconque, on peut recourir à cette règle de Maxwell. *Supposons qu'un tire-bouchon tourne de manière à avancer dans la direction du champ, la force électromotrice sera orientée dans le sens de la rotation de ce tire-bouchon ou en sens contraire, suivant que la valeur absolue du flux de force traversant le circuit sera croissante ou décroissante.*

38. *Self-induction*. — Du moment qu'un circuit fermé est parcouru par un courant, il donne naissance à un champ magnétique et, par conséquent, à un flux de force par lequel il est traversé. Il est évident que la valeur de ce flux de force est proportionnelle à l'intensité du courant passant dans le circuit fermé ; en supposant que cette intensité devienne égale à l'unité, c'est-à-dire à un ampère, on fait acquérir au flux de force dont il s'agit une valeur particulière à laquelle on a donné le nom de *coefficient de self-induction* du circuit. Désignons ce coefficient par L ; le flux de force correspondant à un courant d'intensité I sera égal à LI .

Il résulte de cette observation que lorsqu'un courant d'induction prend naissance dans un champ magnétique variable, il faut tenir compte non seulement du flux de force Q provenant de ce champ magnétique extérieur, mais aussi du flux de force LI provenant de la self induction du circuit ; en un mot le flux total φ embrassé par le circuit à un instant quelconque est une somme de deux parties

$$\varphi = Q + LI.$$

Lorsque le circuit fermé est placé dans un milieu à perméabilité magnétique constante, tel que l'air atmosphérique, la valeur du coefficient de self-induction L ne dépend que de la forme du circuit ; c'est, pour ainsi dire, une valeur géométrique dont le calcul, toujours possible, est plus ou moins compliqué ; son unité CGS est le centimètre et son unité pratique, un milliard de fois plus grande (10^9 fois un centimètre, soit mille myriamètres) a reçu le nom de *quadrant*. Mais le flux créé varie avec la perméabilité du milieu dans lequel le circuit est plongé : la présence d'un noyau ou d'une enveloppe de fer augmente la valeur du coefficient de self-induction.

39. *Extra-courant.* — C'est à la self-induction des circuits qu'il faut attribuer la cause des *extra-courants*.

Considérons une pile électrique munie extérieurement d'un fil conducteur et supposons d'abord le circuit ouvert. Si nous fermons brusquement le circuit, l'intensité du courant électrique n'atteindra pas immédiatement la valeur maximum I qu'elle doit posséder pendant le régime permanent ; il faut un temps certainement court mais cependant appréciable pour que l'intensité du courant croisse depuis zéro jusqu'à I , parce que la self-induction crée une force électromotrice agissant en sens contraire de celle de la pile. Les choses se passent comme si au courant *principal constant*, dû à la force électromotrice de la pile, s'ajoutait un courant *variable*, de sens opposé, dû à la force contre-électromotrice de self-induction. Désignons par R et par L la résistance et le coefficient de self-induction du circuit ; la variation totale du flux de force pendant que l'intensité du courant croît depuis zéro jusqu'à I est égale à LI ; nous avons vu précédemment qu'il suffit de diviser cette variation du flux par la résistance R du circuit pour obtenir la quantité d'électricité induite correspondante ; par conséquent la quantité d'électricité mise en mouvement dans l'extra-courant de fermeture est égale à

$$\frac{LI}{R} .$$

On démontre par le calcul que, pendant cette période de création du courant, la self-induction prélève à son profit, on l'empêchant de se dégager sous forme de chaleur, une partie égale à

$$\frac{1}{2} LI^2$$

de l'énergie totale fournie par la pile. Cette énergie préle-

vée par la self induction s'emmagasine sous une forme mystérieuse dans un réservoir intangible, de même qu'une partie du travail moteur s'emmagasine dans le volant d'une machine au début de sa mise en marche. Lorsque le moteur cesse d'agir sur la machine, la force vive qui s'est emmagasinée dans le volant devient disponible et se transforme en travail mécanique ; de même, si l'on supprime l'action de la pile en ouvrant le circuit, l'énergie électrique emmagasinée par la self induction devient disponible et se transforme en chaleur, grâce à l'*extra-courant de rupture* qui persiste seul et semble être la reproduction, avec un sens contraire, de l'*extra-courant de fermeture*.

Les extra-courants de rupture manifestent leur existence en produisant des étincelles.

Masson, qui a fait une étude spéciale des effets physiologiques de l'*extra-courant*, a constaté que son action se localise, pour ainsi dire, sur les points de l'organisme qui sont directement touchés.

40. *Générateurs d'électricité*. — Les phénomènes de l'induction électromagnétique reçoivent une application de haute importance dans la construction des machines génératrices d'électricité.

Une machine de cette nature contient toujours deux organes essentiels, savoir.

Premièrement, un appareil *inducteur* composé soit d'un aimant, soit de plusieurs aimants formant un circuit métallique discontinu, dans les lacunes ou *entrefers* duquel on obtient un champ magnétique intense.

Secondement, un appareil *induit*, appelé aussi *armature*, composé d'un circuit ou de plusieurs circuits de fils métalliques enroulés en spires multiples autour d'un noyau de fer doux et disposés de manière que, par l'effet d'un mouvement de rotation continu, ils coupent périodiquement

les flux des entrefers pour devenir le siège de courants induits que l'on capte dans un circuit extérieur où ils deviennent utilisables.

La machine est dite *dynamo* ou *magnéto* suivant que le système inducteur est un *électro-aimant*, (aimant temporaire de fer doux aimanté par un courant électrique qui circule autour de lui) ou un *aimant permanent* d'acier. On peut constituer un induit bipolaire au moyen d'un

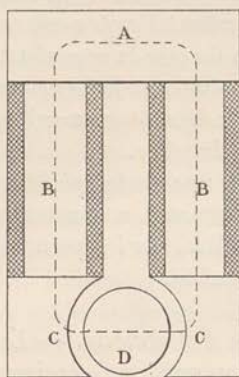


Fig. 28.

simple électro-aimant en fer à cheval (fig. 28) composé d'une culasse A, de deux noyaux B, entourés de fils, et de deux pièces polaires C. L'induit, dont nous indiquons l'âme D, doit être placé entre les deux pièces polaires dont les bouts sont alésés de manière à osculer sa surface cylindrique. L'électro-aimant et l'âme de l'induit forment un circuit magnétique, dans lequel le flux d'induction engendré par le courant excitateur traversant les spires, passe en suivant la direction moyenne indiquée sur la figure par une ligne pointillée. Les vides prismatiques arqués compris entre les pièces polaires et l'âme de l'induit

constituent les *entrefers*, qui sont traversés par un flux magnétique intense.

L'âme de l'induit ayant la forme cylindrique d'un *tambour*, on voit qu'une spire en fil de cuivre enroulée suivant une section méridienne du tambour constitue un circuit rectangulaire fermé, tournant autour de la ligne médiane parallèle à ses grands côtés. L'axe de rotation est perpendiculaire au flux de force des entrefers, flux que coupent périodiquement les grands côtés de la spire. Le circuit rectangulaire devient, par conséquent, le siège d'un courant induit alternatif. Au lieu d'une seule spire, on en emploie plusieurs, en les juxtaposant sur l'âme de l'induit suivant un enroulement régulier de manière à obtenir une bobine ; on incorpore même deux bobines dans le même circuit ; il en est ainsi dans les circuits Siemens et Edison, types les plus connus de l'*induit à tambour*, ainsi que

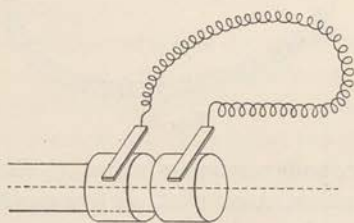


Fig. 29.

dans l'induit Gramme, type de l'*induit annulaire* dont l'âme est une couronne cylindrique, au lieu d'être un cylindre plein.

Le captage du courant *alternatif* dans le circuit extérieur, où il devient utilisable, exige l'emploi d'un *collecteur*, en connexion avec l'induit et tournant avec lui, dont les surfaces métalliques sont en contact avec des frotteurs immobiles (fig. 29) et reliés aux extrémités du circuit extérieur.

On peut aussi redresser les courants avant de les capter à l'extérieur. A cet effet on met l'induit en connexion avec les deux moitiés d'un *commutateur*, formé d'un tube fendu cintré et calé sur l'arbre de rotation (fig. 30). Deux balais frotteurs transmettent le courant au circuit extérieur, en le faisant changer de sens à chaque demi-tour. On capte ainsi un courant *ondulatoire* dont l'intensité varie périodiquement sans changer de signe.

On peut enrouler sur l'induit, au lieu de deux bobines seulement, un nombre $2N$ de bobines, disposées en poly-

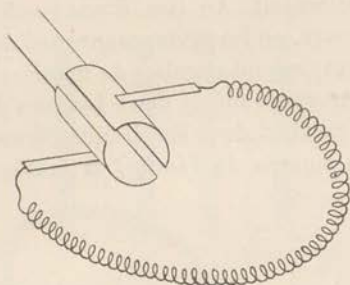


Fig. 30.

gone régulier, pour permettre le captage d'un courant sensiblement *continu*. A cet effet, on fixe sur l'arbre de rotation un tube analogue à un commutateur, mais divisé en $2N$ parties, au lieu de l'être en deux moitiés seulement; ce tube, auquel on donne le nom de *collecteur*, est en contact avec deux balais frotteurs reliés aux extrémités du circuit extérieur. En orientant convenablement la ligne des contacts du collecteur et des deux balais, et en donnant à ces contacts une largeur déterminée, on arrive à rendre presque continu, c'est-à-dire à intensité sensiblement constante, le courant ondulatoire capté.

L'excitation de l'électro-aimant inducteur est nécessairement *séparée* lorsque l'on capte un courant alternatif; en

d'autres termes, le courant électrique par lequel on fait parcourir le fil de l'inducteur doit être fourni par une source d'électricité indépendante de la dynamo. Mais lorsque l'on capte un courant continu, on peut recourir à l'*auto-excitation*, en empruntant à la dynamo elle-même le courant lancé dans le fil de l'électro-aimant. Cette auto-excitation peut-être faite soit en *série*, soit en *dérivation*, suivant que l'on envoie au fil inducteur la totalité ou une partie seulement du courant continu capté ; on peut aussi, en munissant d'un double enroulement le noyau de l'électro-aimant, faire l'*excitation compound*, qui est à la fois en série et en dérivation et qui permet, lorsqu'elle est bien calculée, de maintenir sensiblement constante, pour une rotation donnée de l'induit, soit la différence de potentiel entre les deux bornes de la machine, soit l'intensité du courant utilisable, malgré des variations importantes de la résistance extérieure.

Nous n'avons encore parlé que des machines bipolaires ; on fait aussi des machines *multipolaires*, avec des dispositions diverses de l'inducteur et avec d'ingénieux systèmes de bobinage de l'induit. La description et l'étude de toutes ces machines occupent une large place dans les traités d'électricité industrielle ; il est clair qu'elles seraient ici sans utilité.

Nous nous bornerons à dire quelques mots sur le *rendement* d'un générateur quelconque d'électricité, dynamo ou magnéto. Pour actionner ce générateur, il faut employer une *puissance motrice* extérieure P , fournie soit par une machine à vapeur, à gaz ou à pétrole, soit par une chute d'eau. Cette puissance motrice se divise en deux parties très inégales, dont la plus petite p représente les pertes dues aux résistances passives (frottements, hystérésis, courants de Foucault) tandis que la plus grande P' se transforme en *puissance électrique totale* de la machine. On

appelle *rendement théorique* le rapport $\frac{P'}{P}$, dont la valeur dans les meilleures machines peut atteindre 95 pour 100. Ce rendement théorique n'est pas d'ailleurs celui qui intéresse le plus les usagers de la machine ; il est clair, en effet, que la puissance électrique totale P' comprend deux parties inégales et bien distinctes, dont la plus petite p' représente la fraction *non disponible* correspondant aux pertes produites par la résistance des circuits intérieurs de la machine, tandis que la principale P'' , correspondant au circuit extérieur, est disponible et *utilisable*. C'est le rapport $\frac{P''}{P}$ qui représente le *rendement industriel* de la machine ; on peut regarder cette machine comme excellente lorsque la valeur de ce rapport atteint 90 pour 100.

41. *Induction mutuelle de deux courants.* — Nous avons vu précédemment que l'énergie d'un courant fermé dans un champ magnétique, (travail qu'il faudrait dépenser pour transporter ce courant, maintenu invariable, depuis l'infini jusqu'à sa position actuelle), a pour valeur

$$W = - I\varphi$$

I désignant l'intensité du courant, et φ désignant le flux de force magnétique qui le traverse, dans sa position actuelle, en pénétrant par sa face négative.

Supposons que le champ magnétique considéré soit celui que crée un autre courant fermé, d'intensité I' ; il est clair que le flux de force embrassé par le premier courant sera proportionnel à cette intensité I' ; nous aurons donc

$$\varphi = MI',$$

M désignant un coefficient indépendant de I' . Nous trouvons, un remplaçant φ par cette valeur,

$$W = MI'I.$$

Cette énergie représente le travail qu'il faudrait dépenser pour amener les deux courants, maintenus invariables par la pensée, depuis l'infini jusqu'à leurs positions actuelles. Nous pourrions aussi calculer sa valeur en considérant l'énergie du second courant placé dans le champ magnétique créé par le premier, et nous trouverions

$$W = M'I',$$

M' désignant un coefficient indépendant de I .

En égalant ces deux valeurs de W , nous trouvons

$$M = M',$$

d'où nous concluons qu'il existe un *coefficient d'induction mutuelle* des deux courants. Pour définir d'une manière simple ce coefficient, il suffit de supposer que les intensités I et I' des deux courants deviennent l'une et l'autre égales à l'unité ; les formules précédentes donnent alors

$$W = -\varphi \text{ et } \varphi = M ;$$

par conséquent : *Le coefficient d'induction mutuelle de deux courants fermés est égal au flux de force magnétique qui traverserait l'un des circuits par sa face négative si l'intensité du courant dans l'autre circuit devenait égale à l'unité* : Ce coefficient dépend seulement des formes et des positions relatives des deux circuits, en sorte que sa nature est géométrique.

On démontre que *le coefficient d'induction mutuelle de deux circuits est toujours inférieur à la moyenne géométrique de leurs coefficients de self induction*.

42. *Principe des transformateurs*. — Lorsqu'une force motrice φ est appliquée à une machine de manière que son point d'application se déplace dans le sens de cette force avec une vitesse égale à v , le produit φv de ces deux facteurs

force et vitesse représente la *puissance mécanique* développée. Il existe beaucoup d'appareils qui permettent de transformer cette puissance, sans changer sa valeur, en un produit $\varphi'v'$ de deux autres facteurs, force φ' et vitesse v' , différents des deux premiers. Pour indiquer un exemple très simple, considérons un levier du premier genre AB (fig. 31), dans lequel le grand bras AO est double du petit bras OB ; appliquons en A la force motrice F et en B une force résistante P, double de F ; au bout d'une seconde, A

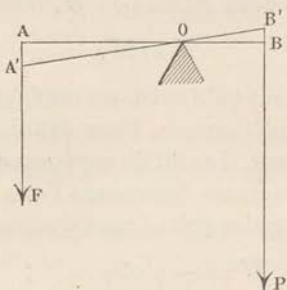


Fig. 31.

descendra en A', ayant parcouru l'arc vertical AA', tandis que B montera en B', ayant parcouru l'arc vertical BB', moitié de l'arc AA' ; la puissance motrice développée a pour valeur $AA' \times F$ et la puissance résistante vaincue a pour valeur $BB' \times P$; ces deux produits sont égaux ; nous avons donc modifié les deux facteurs force et vitesse sans changer la puissance, et cela conformément à cet adage si connu : *ce que l'on gagne en force, on le perd en vitesse*. Notre levier est un transformateur de puissance mécanique.

Cela posé, rappelons-nous que la puissance électrique est le produit EI des deux facteurs *force électromotrice* et *intensité* du courant ; par analogie avec ce qui a lieu pour

la puissance mécanique, on conçoit qu'il soit possible de transformer cette puissance électrique en une autre de même valeur qui sera le produit $E'I'$ de deux facteurs différents des premiers. En d'autres termes, étant donnée une puissance électrique disponible de I ampères sous E volts, on peut lui faire produire, dans un circuit donné, un courant de I' ampères sous E' volts. en satisfaisant à l'égalité.

$$EI = E'I'$$

Un *transformateur* est un appareil destiné à faire ainsi varier les deux facteurs d'une puissance électrique sans changer la valeur de leur produit. Prenons deux bobines en fil de cuivre, analogues à celles que nous avons sommairement décrites en parlant de l'aimantation temporaire du fer doux, ayant des nombres de spires n et n' très différents, et enchevêtrées l'une dans l'autre de manière à rendre aussi grand que possible leur coefficient d'induction mutuelle. Faisons passer dans la première, à laquelle on donne le nom de *circuit primaire*, un courant variable ; la seconde bobine, qui constitue le *circuit secondaire*, absolument indépendant et distinct du précédent, deviendra elle-même *par induction* le siège d'un courant variable, utilisable à l'extérieur. On peut assimiler le courant primaire à une machine-motrice, le courant secondaire à une machine-outil et l'induction mutuelle des deux courants comme un organisme de transmission qui reçoit le travail moteur et le communique à l'outil. Afin d'augmenter la valeur du coefficient d'induction mutuelle, on a toujours soin d'introduire à l'intérieur des deux bobines un noyau de fer doux dont la masse est convenablement divisée pour atténuer autant que possible les effets nuisibles de l'hystérésis et des courants de Foucault.

Dans un transformateur destiné aux usages industriels, le circuit primaire reçoit l'énergie électrique à faible inten-

sité et à haute tension, pour la restituer dans le circuit secondaire sous la forme d'énergie à forte intensité et à faible tension. On envoie dans le circuit primaire un courant alternatif sinusoïdal et l'on recueille dans le circuit secondaire un courant analogue et de même période. Désignons par R la résistance du circuit primaire et par I^2 la valeur moyenne du carré de l'intensité du courant envoyé dans ce circuit; soit de même R' et I'^2 la résistance et la valeur moyenne du carré de l'intensité du courant du circuit secondaire. La valeur de la puissance motrice ou primaire est RI^2 , produit de la force électromotrice $E = RI$ par l'intensité I ; celle de la puissance-outil ou secondaire est, de même, $R'I'^2$, produit de la force électromotrice $E' = R'I'$ par l'intensité I' . On aurait théoriquement, si la transformation utile de la puissance électrique était complète,

$$EI \text{ ou } RI^2 = E'I' \text{ ou } R'I'^2$$

Il n'en est pas tout à fait ainsi dans la pratique; le second membre est toujours un peu inférieur au premier, parce que dans toute machine, si bien exécutée qu'elle puisse être, il y a quelques déperditions inévitables, dues à ce qu'on appelle en général les résistances passives; mais ces déperditions sont assez faibles, dans les transformateurs industriels bien calculés et bien construits, pour que le rendement s'élève à 90 et même à 95 pour 100.

43. Bobine de Ruhmkorff. — C'est à Faraday qu'appartient l'idée première de la *bobine d'induction* dont Ruhmkorff a su faire, en 1851, un appareil qui donne des effets de tension tout à fait remarquables. A l'inverse des transformateurs industriels modernes, cet appareil permet de transformer une puissance motrice de grande intensité et de faible force électromotrice en une puissance induite de faible intensité et de force électromotrice considérable.

Comme le courant primaire est fourni par une pile P (fig. 32), il faut, pour obtenir des effets d'induction, le rendre intermittent ; on introduit, à cet effet, dans le circuit primaire, comprenant le gros fils de la bobine un trembleur élastique, actionné périodiquement par l'attraction du noyau de fer doux qu'entourent les spires du circuit primaire. Lorsque le petit marteau de fer T prend

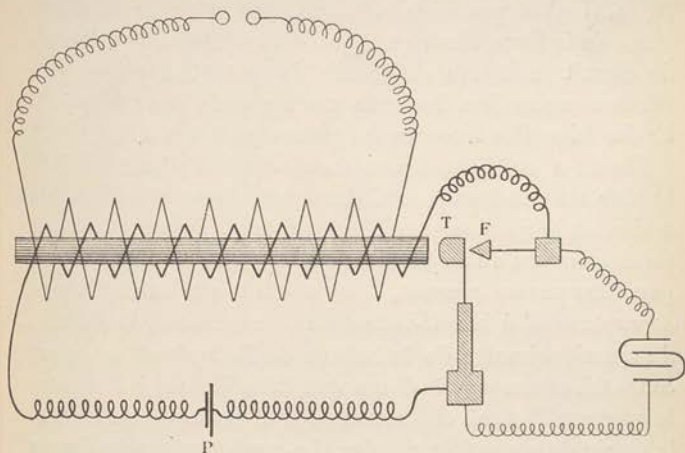


Fig. 32.

contact avec l'enclume représentée par la flèche F dans notre schéma, le courant passe dans le circuit primaire, le noyau de fer s'aimante temporairement et attire vers lui le marteau T en sorte qu'il y a rupture du courant ; au bout d'un instant, l'aimantation du noyau de fer disparaît le ressort du trembleur ramène le marteau sur son enclume, en sorte que le courant passe à nouveau.

Le noyau de fer doux se compose ordinairement d'un faisceau cylindrique de fils de fer ; cette division de sa masse métallique a pour objet d'empêcher autant que

possible la production nuisible des courants de Foucault.

Le circuit secondaire est enroulé par dessus le primaire ; il est à fil beaucoup plus fin que celui-ci et contient un nombre de spires considérable. Pour bien assurer l'isolement du fil de ce circuit secondaire, on l'enroule sous forme de galettes perpendiculaires à l'axe de la bobine et séparées entre elles par des cloisons isolantes ; de cette façon, il n'est pas à craindre que, par suite de la croissance de la force électromotrice d'une extrémité à l'autre du circuit induit, la différence de potentiel entre deux couches successives devienne assez grande pour faire jaillir des étincelles à travers les gaines isolantes du fil.

Fizeau a eu l'excellente inspiration d'adjoindre à la bobine un condensateur C, incorporé dans le circuit primaire, en dérivation sur l'interrupteur. Nous avons vu précédemment qu'au moment de la rupture d'un circuit parcouru par un courant, il se produit un extra-courant de rupture dû à la self-induction de ce circuit ; la rupture du circuit primaire de la bobine de Ruhmkorff est, pour ce motif, accompagnée d'une vive étincelle qui jaillit entre le marteau T et son enclume F, et qui prolonge un instant la durée du courant primaire. Le condensateur de Fizeau sert à diminuer, sinon à supprimer complètement, cet effet nuisible de la self-induction du circuit primaire, en emmagasinant à l'état statique la majeure partie de l'énergie de l'extra-courant de rupture ; le courant primaire s'éteint plus rapidement, ce qui rend plus énergique son action inductrice sur le circuit secondaire. Les électricités de noms contraires accumulées sur les deux armatures du condensateur doivent, pour se recombinaer ensuite, parcourir les spires de la bobine primaire ainsi que la pile, en donnant un courant inducteur inverse de celui de la pile et, par conséquent, favorable pour la désaimantation rapide du noyau de fer. Le condensateur, dont nous n'a-

vons donné qu'une indication schématique, est ordinairement placé sous la tablette isolante qui porte la bobine ; pour donner à chacune de ses armatures une grande surface sous un faible volume, on construit le condensateur avec deux séries de feuilles d'étain, entre lesquelles s'étendent des feuilles de carton ciré.

On démontre que *les quantités d'électricité induites dans le circuit secondaire pendant les périodes d'ouverture et de fermeture du circuit primaire sont égales.*

Le courant induit de la bobine de Ruhmkorff est alternatif, mais sa forme diffère beaucoup de celle d'un courant sinusoïdal. En prenant le temps pour abscisse et l'intensité du courant induit pour ordonnée, on obtient la représentation graphique indiquée par la figure 33. La

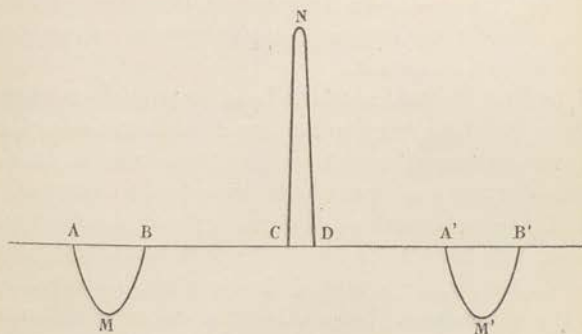


Fig. 33.

fermeture du courant primaire produit le courant induit inverse AMB ; vient ensuite un temps de repos BC ; la rupture du courant primaire produit le courant induit direct CND, et ainsi de suite. On donne aux courants de ce genre, qui sont à la fois alternatifs et interrompus, le nom de *courants faradiques*. Les surfaces circonscrites par les deux demi-ondes AMB et CND sont égales entre

elles, en vertu du théorème énoncé ci-dessus ; mais elles ne sont pas superposables ; le courant AMB dure plus longtemps mais est moins intense que le courant CND.

Pour les grandes bobines, capables de donner de longues étincelles, de charger des batteries de bouteilles de Leyde, de reproduire en général tous les effets que l'on peut obtenir au moyen des machines électrostatiques, on remplace le trembleur (interrupteur automatique actionné par la bobine elle-même) par l'interrupteur de Foucault, indépendant du circuit inducteur et mis en mouvement par un circuit voltaïque distinct. Cet appareil se compose essentiellement d'une pointe de platine, communiquant avec la pile, et d'un godet de verre contenant du mercure en communication avec le circuit inducteur ; la pointe doit osciller au-dessus du mercure, le toucher en descendant, pour fermer le circuit, et s'en séparer en remontant, pour rompre ce circuit.

L'Institut Polytechnique de Londres possède une grande bobine de Ruhmkorff qui donne des étincelles de 75 centimètres de longueur et de 2 centimètres de diamètre. Cette bobine est actionnée par une batterie de 40 éléments Bunsen. Elle a trois mètres de longueur ; son fil inducteur, de 2 mm. 4 de diamètre, a un développement de 3446 mètres ; son fil induit, de 0 mm. 4 de diamètre, a une longueur de 241 kilomètres. Trois étincelles de cette bobine suffisent pour charger une batterie de Leyde ayant une surface d'armature de 4 mètres carrés $\frac{1}{2}$.

44. Courants à grande fréquence. — Les courants alternatifs à haute tension et à grande fréquence, dont les propriétés sont si importantes et curieuses, s'obtiennent en mettant en œuvre les phénomènes de l'induction et ceux de la décharge oscillante (n° 14).

Un des appareils les plus simples que l'on puisse employer pour obtenir ces courants est celui que représente la figure 34, auquel les constructeurs MM. Ducretet et

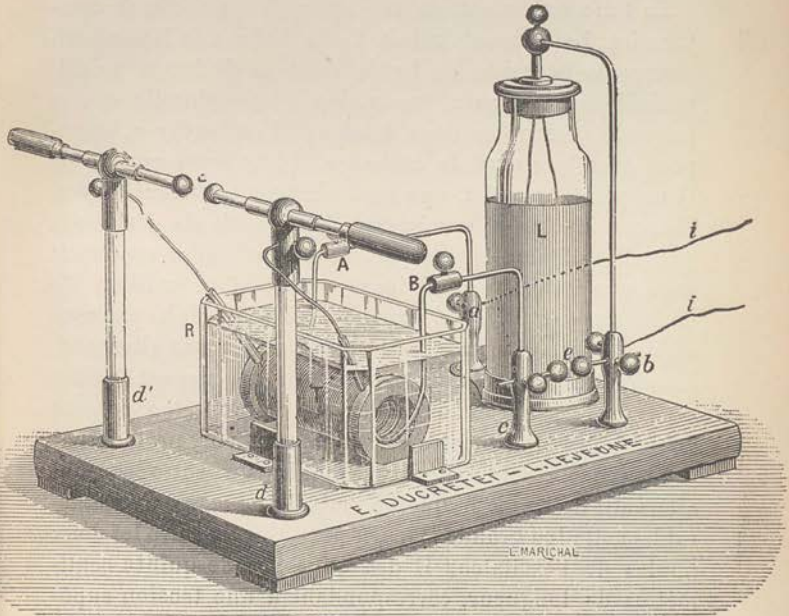


Fig. 34.

Lejeune donnent le nom de *petit appareil de Tesla*. On fait arriver en *ii* le circuit secondaire d'une bobine de Ruhmkorff, actionnée par une batterie d'accumulateurs et donnant des étincelles de 45 à 50 millimètres de longueur. Les deux armatures, intérieure et extérieure de la bouteille de Leyde *L* sont reliées aux extrémités *ii* de ce circuit secondaire, de manière que le courant induit de la bobine serve à la charger. Le circuit de décharge de cette bouteille de Leyde est relié en *A* et *B* au circuit primaire,

en gros fil de cuivre, d'un transformateur T, placé dans une cuve à huile R ; le circuit secondaire de ce transformateur vient aboutir aux tiges de l'excitateur E.

Le fonctionnement de cet appareil est facile à comprendre. Le courant induit de la bobine de Ruhmkorff charge la bouteille de Leyde dont la décharge se fait périodiquement, avec production d'une étincelle vive et bruyante, entre les deux boules de l'excitateur *e*, incorporé dans le circuit de décharge. Il faut remarquer, c'est là un point essentiel, que les décharges sont *oscillantes*, chacune d'elles se composant d'une série de décharges partielles, alternatives et décroissantes, qui se succèdent avec une rapidité vertigineuse (plus d'un million de décharges partielles par seconde) ; il se produit, par conséquent, dans le circuit de décharge un courant alternatif, à ondulations décroissantes, dont la fréquence est égale à celle des décharges partielles. Ce courant, en passant dans le circuit primaire du transformateur, produit par induction dans le circuit secondaire un autre courant alternatif de même fréquence mais d'une tension considérablement plus grande (1). On peut obtenir entre les deux boules de l'excitateur E des étincelles de quinze centimètres de longueur, correspondant à une tension supérieure à 125.000 volts ; et cependant il est possible d'approcher sans danger la main de cet excitateur pour en tirer des étincelles, tandis qu'il serait fort dangereux d'en faire autant sur l'excitateur *e* qui fait partie de circuit primaire.

On sait aujourd'hui que les courants alternatifs n'agissent plus sur les nerfs moteurs ni sur les nerfs sensitifs lorsque leur fréquence devient supérieure à 5.000 par

(1) La bobine à fil fin qui forme le circuit secondaire a dix fois plus de spires que la bobine à gros fil du circuit primaire. L'huile minérale dans laquelle le transformateur est plongé constitue un isolant parfait.

seconde ou, en d'autres termes, lorsque le nombre des alternances par seconde dépasse 10.000. Sans prétendre donner ici une explication tout à fait satisfaisante de ce fait singulier, nous exposerons quelques considérations qui nous paraissent de nature à l'éclaircir. On a constaté depuis assez longtemps déjà que la résistance d'un conducteur linéaire dont la section droite n'est pas très petite est plus grande pour les courants alternatifs que pour les courants continus ; cette augmentation de la résistance est d'autant plus sensible que la fréquence du courant est plus grande, ou, en d'autres termes, que le nombre des inversions par seconde est plus considérable. S'agit-il, par exemple, d'un fil de cuivre de deux centimètres de diamètre traversé par un courant alternatif à 160 inversions par seconde, la résistance sera, d'après les expériences de Sir W. Thomson, plus de sept fois celle qui correspondrait au courant continu. Les choses se passent comme si la conduction du courant alternatif était plus grande pour la partie périphérique du conducteur que pour sa partie centrale, en sorte qu'un conducteur creux pourrait remplacer avantageusement un conducteur plein. Plus la fréquence du courant alternatif est grande, plus ce courant paraît acquérir cette tendance, spéciale à l'électricité *statique*, de se porter sur la surface des conducteurs. Faut-il en conclure que les courants à très haute fréquence, appliqués au corps humain, ne se propagent pour ainsi dire qu'à la surface de l'épiderme ? C'est là une hypothèse assez logique qui expliquerait l'inertie de ces courants relativement aux nerfs sensitifs ou moteurs.

Ajoutons que la haute fréquence peut créer un véritable *champ électrostatique*. Il suffit de relier un des pôles du transformateur à une plaque métallique suspendue au-dessus du sol pour créer entre cette plaque et le sol un

champ électrostatique, dans lequel un tube de Geissler s'illumine sans être mis en communication avec la plaque. En général, le contact avec un seul pôle suffit pour actionner un circuit ouvert ayant une capacité même assez faible.

Indiquons encore que les courants de haute fréquence donnent lieu à des effets d'induction et de self-induction d'une grande intensité. Le corps d'un homme introduit à l'intérieur d'un grand solénoïde parcouru par un courant de cette nature devient le siège de courants induits, auxquels M. le docteur d'Arsonval attribue des vertus thérapeutiques et dont il fait la base du traitement appelé par lui *autoconduction*.

45. *Rayons X.* — Lorsque l'on fait passer la décharge d'une machine statique de Wimshurst ou d'une bobine d'induction de Ruhmkoff dans un tube dit *de Geissler*, tube de verre préalablement rempli d'air ou d'un autre gaz et dans lequel on a fait le vide jusqu'à un certain degré, on produit l'illumination de ce tube ; la coloration des lueurs ainsi obtenues est rose avec l'air, blanche avec l'acide carbonique, bleu violet avec l'hydrogène, et cœtera. C'est Abria qui a, le premier, observé en 1842 des phénomènes de ce genre. Il est à remarquer que l'anode, ou pôle positif par lequel entre le courant, s'entoure d'une lueur violette, tandis qu'il existe un espace obscur à la cathode, ou pôle négatif servant à la sortie du courant. En 1865, Hittorff ayant réussi à faire le vide presque absolu dans un tube de Geissler, constata que, dans ces conditions, il était impossible d'obtenir l'illumination électrique de ce tube ; cette expérience démontrait la non-conductibilité du vide parfait ; Hittorff, observa, d'ailleurs, sans y attacher d'importance, que le verre du tube devenait *fluorescent* avec une coloration particulière. En 1879,

Crookes a remarqué que, si l'on pousse très loin la raréfaction de l'air dans les tubes, l'espace obscur environnant la cathode arrive à occuper toute l'étendue du tube et qu'en même temps le verre de ce tube devient fluorescent; l'illustre physicien en a conclu que des rayons invisibles partant de la cathode viennent frapper la paroi opposée, quelle que soit la position de l'anode, et lui imprimant un ébranlement particulier. Crookes considère ces rayons obscurs comme matériels et attribue la fluorescence du verre à une sorte de *bombardement* opéré par la *matière radiante*. En 1894, M. Liénard a donné le nom de *rayons cathodiques* à ces radiations invisibles, dont il a découvert quelques propriétés. L'année suivante, c'est-à-dire en 1895, le docteur Röntgen arriva, presque par hasard, à la découverte des *rayons X* (nom qu'il leur a donnés lui-même); ce physicien, se trouvant gêné dans une expérience par la lueur fluorescente d'un tube de Crookes, entourra ce tube d'un papier noirci et le plaça ensuite dans une chambre noire en présence d'un papier enduit de platino-cyanure de potassium; Röntgen eut la surprise de voir cet écran de papier s'illuminer, sans qu'aucun rayon visible s'échappât du tube, et, chose bien plus étrange, ayant interposé sa main entre le tube et l'écran, il vit l'ombre du squelette de cette main apparaître sur cet écran.

Tel est l'historique sommaire de la découverte de ces mystérieuses radiations obscures que l'on désigne sous les noms de *rayons X* et *rayons Röntgen*. Pour améliorer le fonctionnement des ampoules de Crookes, M. H. Jackson a imaginé le *tube focus* que le professeur Silvanus Thomson a fait connaître en France. La figure 35 indique la disposition de ce tube; la cathode concave M, au lieu de projeter les rayons cathodiques sur la paroi même de l'ampoule de verre, les projette, en les concen-

trant, sur une lame de platine M' , inclinée à environ 45° sur l'axe du tube ; c'est là que les rayons X prennent naissance. On fait aussi des tubes focus *bianodiques*, c'est-à-dire munis de deux anodes. Il est à remarquer que le degré du vide d'un tube augmente avec la durée de son

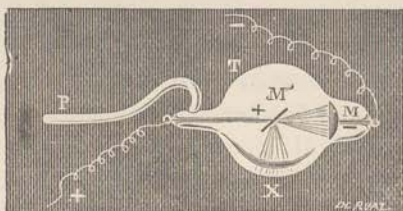


Fig. 35.

fonctionnement, parce que les molécules gazeuses qu'il contient sont absorbées en partie par les parois du verre ainsi que par les miroirs métalliques intérieurs ; le tube devient alors d'autant plus résistant que l'on se rapproche davantage du vide isolant réalisé dans les expériences de Hittorff ; on peut y remédier en chauffant doucement et bien régulièrement le tube, pour faire dégager à l'intérieur les molécules gazeuses absorbées par occlusion.

Le matériel nécessaire pour la production des rayons X se compose essentiellement d'un appareil capable de donner de longues étincelles statiques, et d'un tube de Crookes-Röntgen dans lequel on fait jaillir les décharges. On peut employer comme générateur d'électricité une machine de Wimshurst dont les conducteurs sont mis en communication avec les armatures intérieures de deux bouteilles de Leyde ; on relie alors la cathode du tube avec l'armature externe de la bouteille dont l'armature interne est réunie au pôle positif de la machine ; l'anode est reliée à l'armature externe de l'autre bouteille. Mais il est plus pratique

de recourir à la bobine d'induction de Ruhmkorff actionnée par des piles ou par des accumulateurs ; nous avons dit précédemment que les courants développés dans le circuit induit sont *inverses* (ou négatifs) à la fermeture du circuit inducteur et *directs* (ou positifs) à sa rupture ; ces courants induits, de très courte durée, sont égaux en quantité, mais la force électromotrice maximum du courant direct est très supérieure à celle du courant inverse ; lorsque la distance explosive est assez grande, les courants inverses ne peuvent pas la franchir, en sorte que les étincelles sont toutes dues à la décharge par courants directs ; il en résulte que l'on peut attribuer au circuit induit de la bobine un pôle positif et un pôle négatif, ce qui détermine le sens du courant induit. On doit avoir bien soin de mettre toujours le pôle négatif en communication avec le miroir concave qui doit constituer la cathode du tube de Crookes-Röntgen ; l'inversion du courant aurait l'inconvénient de produire un dépôt métallique à l'intérieur de l'ampoule.

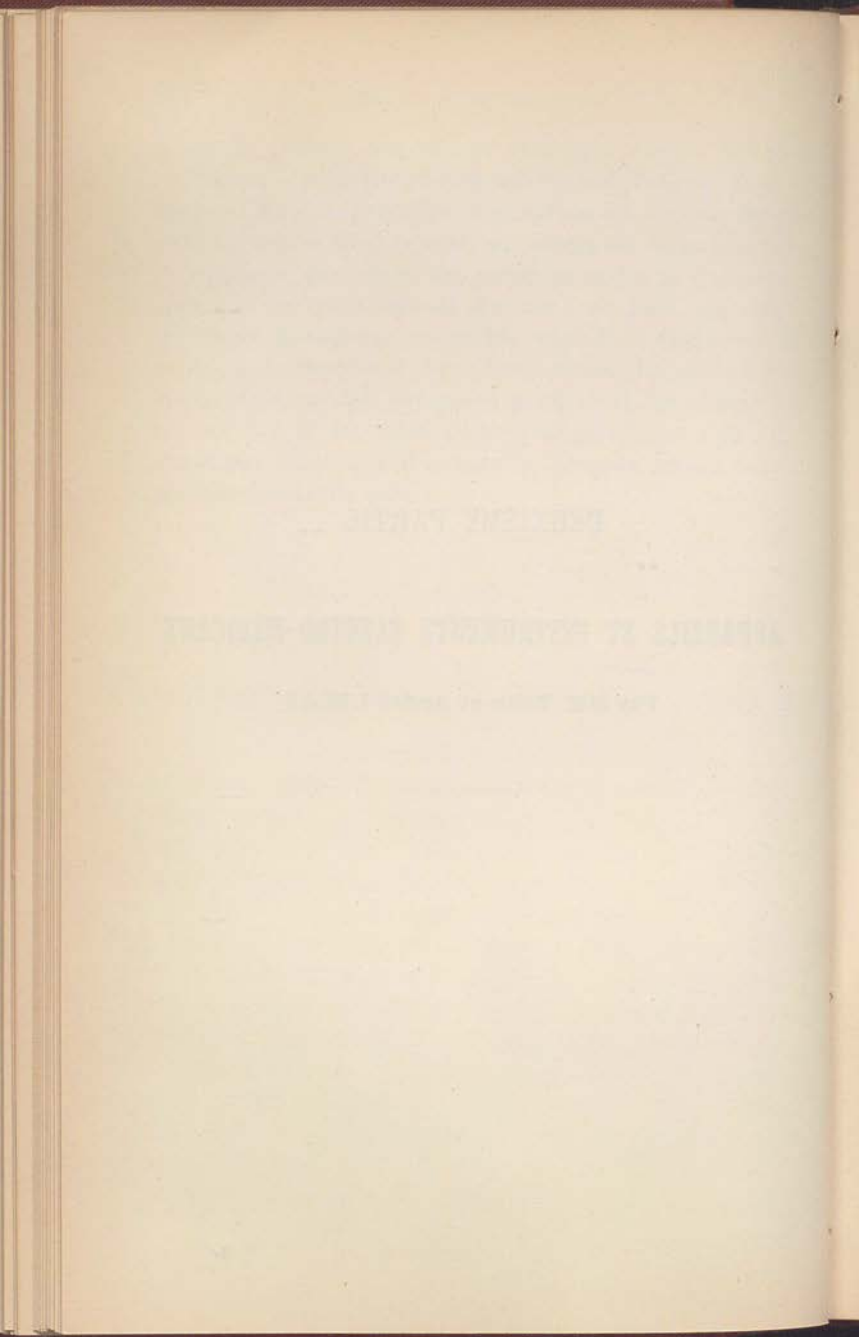
Les rayons X diffèrent essentiellement de rayons cathodiques, observés par Crookes, qui obéissent à l'attraction de l'aimant, échauffent le verre et provoquent sa fluorescence sans le traverser. Les rayons X se propagent en ligne droite ; ils ne sont, pour ainsi dire, ni réfléchibles, ni réfringibles et ne se polarisent pas ; leur propriété caractéristique est de traverser facilement un grand nombre de corps opaques (papier, peau humaine, aluminium, cellulose, ébonite, liquides, *et cætera*) ; l'os, l'ivoire et la plupart des métaux (étain, fer, cuivre, argent, or, platine, *et cætera*) sont, au contraire, peu perméables au rayons X. Ces rayons impressionnent activement les plaques photographiques et provoquent la fluorescence de substances diverses, parmi lesquelles le platino-cyanure de baryum figure au premier rang ; il en résulte que les observations

faites au moyen des rayons Röntgen peuvent être soit *radiographiques* (par photographie), soit *fluoroscopiques* comme l'a été la première observation du docteur Röntgen. On arrive ainsi à voir, au travers du corps humain, le squelette des côtes, des vertèbres et des os du bassin, ainsi que quelques organes internes ; on peut apercevoir les corps étrangers (projectiles, aiguilles, fragments de verre), qui ont pénétré dans l'organisme. La médecine et la chirurgie ont déjà tiré grand profit de la découverte des rayons X ; il est facile de prévoir qu'elles ne s'en tiendront pas là et que d'immenses progrès seront encore réalisés dans cette voie.

DEUXIÈME PARTIE

APPAREILS ET INSTRUMENTS ÉLECTRO-MÉDICAUX

Par MM. Félix et André LUCAS



INTRODUCTION

Les appareils producteurs de l'électricité actuellement employés en médecine et en chirurgie peuvent se diviser en six groupes de la manière suivante.

1° Machines statiques, destinées à la franklinisation.

2° Piles primaires à faible débit, groupées en tension, destinées à la galvanisation et à l'électrolyse ou galvanocaustique chimique.

3° Piles primaires ou secondaires, à débit plus considérable, destinées à la galvanocaustique thermique et à l'électroscopie.

4° Appareils d'induction, bobines et alternateurs, produisant des courants périodiquement variables, destinés à la faradisation.

5° Appareils produisant des courants à grande fréquence et à haute tension, principalement destinés à l'autoconduction.

6° Appareils pour la production des rayons X, destinés à la radiographie et à la fluoroscopie.

Nous consacrons à chacun de ces groupes d'appareils un paragraphe spécial dans lequel nous décrivons les machines, leur fonctionnement, leur régulation, la mesure de leurs effets et les instruments nécessaires pour les applications médicales ou chirurgicales des courants qu'elles produisent.

CONTENTS

CHAPTER I. THE HISTORY OF THE
CHAPTER II. THE HISTORY OF THE
CHAPTER III. THE HISTORY OF THE
CHAPTER IV. THE HISTORY OF THE
CHAPTER V. THE HISTORY OF THE
CHAPTER VI. THE HISTORY OF THE
CHAPTER VII. THE HISTORY OF THE
CHAPTER VIII. THE HISTORY OF THE
CHAPTER IX. THE HISTORY OF THE
CHAPTER X. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XI. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XII. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XIII. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XIV. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XV. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XVI. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XVII. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XVIII. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XIX. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XX. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XXI. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XXII. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XXIII. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XXIV. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XXV. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XXVI. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XXVII. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XXVIII. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XXIX. THE HISTORY OF THE
CHAPTER XXX. THE HISTORY OF THE

§ I. — FRANKLINISATION

Machines de Wimshurst. — Tabouret isolant. — Excitateurs divers. — Effluation statique. — Etincelles. — Friction électrique. — Observations diverses.

46. *Machines de Wimshurst.* — En souvenir de l'immortel Franklin, qui a démontré l'identité, déjà pressentie par Gray, de l'électricité et de la foudre, on a donné le nom de *franklinisation* à l'application de l'électricité statique au corps humain, en vue d'obtenir des effets thérapeutiques.

Cette application exige toujours l'emploi d'une bonne machine électrostatique à influence. Les machines de Carré et de Wimshurst, dont nous avons donné plus haut la description et la théorie, sont particulièrement recommandables. On reproche cependant avec raison à la machine de Carré d'être trop sensible à l'humidité et, par suite, de ne pas fonctionner bien par tous les temps. C'est donc à la machine de Wimshurst que le médecin doit aujourd'hui donner la préférence.

Pour la pratique courante, une machine à deux plateaux de 45 à 50 centimètres de diamètre est parfaitement suffisante, surtout si ses collecteurs sont armés de capacités en forme de cylindre, comme l'indique la figure 36, empruntée au catalogue descriptif de la maison Gaiffe et C^{ie}. Cette machine, au lieu d'être montée sur un socle, peut aussi être montée sur une table. Il est possible d'enfermer les plateaux dans une cage d'ébonite et de verre, laissant les deux cylindres au-dehors. Au lieu de faire tourner cette machine à la main, on peut aussi la faire fonctionner au moyen

d'un moteur électrique ; ce moteur peut marcher à 12 volts avec une batterie de piles ou d'accumulateurs ; si le cabinet du médecin est desservi par un secteur électrique fournis-

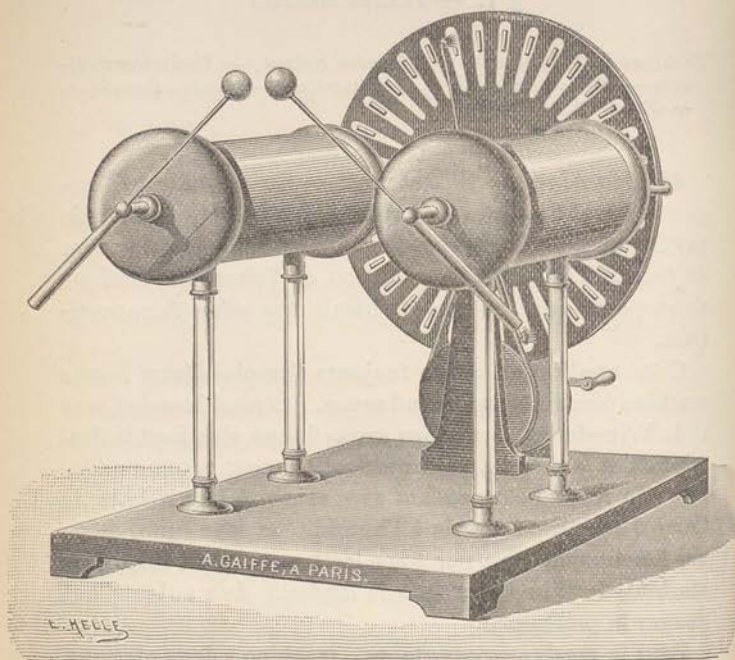


Fig. 36.

sant un courant continu sous la tension usuelle de 110 volts, on peut employer ce courant pour actionner un moteur électrique spécial, sans le secours d'une batterie de piles.

Malheureusement l'adjonction de ces divers accessoires augmente beaucoup le prix de la machine primitive, sans capacités cylindriques, dont nous avons donné la description dans le Précis d'électricité (n^o 10), Voici, à titre de

renseignements, les prix que nous trouvons indiqués dans le catalogue de la maison Gaiffe.

| | |
|---|----------------|
| Machine à plateaux de 0,45, sur socle | 180 fr. |
| Adjonction des capacités cylindriques. | 120 fr. |
| Substitution d'une table au socle et adjonction d'une cage. | 250 fr. |
| Adjonction d'un moteur électrique. | 250 fr. |
| Total. | <u>800 fr.</u> |

La maison Ducretet et Lejeune construit pour les médecins un modèle spéciale de machine Wimshurst, à plateaux de 47 centimètres, pour lequel elle indique dans son catalogue le prix de 230 francs.

En 1891, M. Pellisson a montré qu'il est possible de supprimer les secteurs métalliques de la machine Wimshurst,

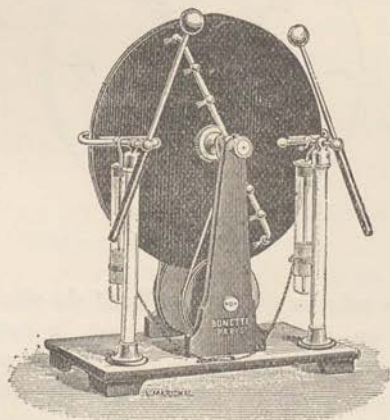


Fig. 37.

à la condition de munir chacun des conducteurs diamétraux de plusieurs balais frotteurs, au lieu de lui en donner un seul. M. Louis Bonetti, constructeur à Paris, a, réalisé cette

modification et fabrique couramment la machine représentée par la figure 37, dont le débit et le potentiel sont très élevés. Cette machine possède une polarité fixe, c'est-à-dire que l'on n'a pas à craindre le renversement accidentel de ses pôles pendant sa marche. Elle n'est pas auto-excitatrice ; on l'amorce en posant le doigt sec au sommet de l'un des disques (fig. 38) pendant la rotation ; si l'on voulait

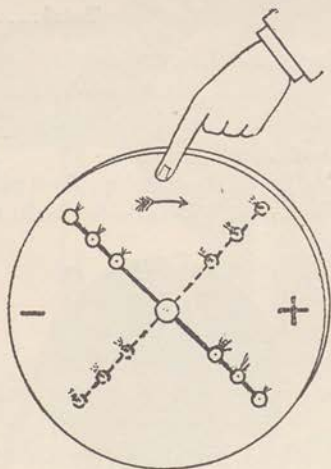


Fig. 38.

ensuite intervertir les pôles, il suffirait de placer le doigt au sommet du plateau opposé, c'est là une propriété avantageuse en électrothérapie. Les balais peuvent être déplacés à volonté, par glissement sur la tige qui les porte ; suivant qu'on les éloigne ou qu'on les rapproche les uns des autres, on augmente ou on diminue le débit d'électricité ; de là un réglage facile de la puissance de la machine. La suppression des secteurs a rendu l'entretien facile. Le catalogue Bonetti indique le prix de 275 francs pour la machine à plateaux en ébonite de 55 centimètres de diamè-

tre, montée sur un socle, sans les deux condensateurs mobiles (genre bouteilles de Leyde) qu'indique la figure. Ces condensateurs, inutiles dans la pratique courante, ne sont employés que pour obtenir des courants statiques induits dits *courants de Morton*.

47. *Tabouret isolant*. — Pour soumettre un malade à la franklinisation, on le fait asseoir sur une chaise placée sur un tabouret isolant à pieds de verre. Les pieds doivent avoir ou moins 30 centimètres de hauteur ; il est bon qu'ils soient recouverts d'une couche de gomme-laque, destinée à les maintenir secs. Le siège installé sur le tabouret doit être assez bon conducteur pour qu'on puisse le mettre en communication avec le collecteur négatif de la machine au moyen d'une chaîne ou d'une tige extensible (1). Il suffit alors de faire tourner les plateaux de la machine statique pour faire prendre au malade un *bain électrique* plus ou moins prolongé, qui active la circulation périphérique. On sait que le sujet éprouve la sensation d'enveloppement par un voile d'araignée ; ses cheveux se dressent et s'agitent.

48. *Excitateurs divers*. — On emploie des excitateurs de diverses formes pour faire jaillir l'étincelle ou le souffle électrique aux points choisis par le médecin. La figure 39 indique la façon dont on opère. L'extrémité métallique de l'excitateur est portée par un manche isolant que l'opérateur tient dans une de ses mains ; une chaîne de métal accrochée à la partie conductrice de cet excitateur passe librement dans un anneau porté par un manche isolant que l'opérateur tient dans son autre main, en ayant soin

(1) On peut aussi faire tenir cette chaîne ou cette tige à la main par le sujet.

de toujours maintenir le contact de l'extrémité libre de la chaîne avec le sol. On peut aussi, pour les applications



Fig. 39.

prolongées, recourir à l'emploi d'un support vertical (fig. 40), portant l'excitateur muni de sa chaîne communiquant avec le sol ; diverses pièces peuvent être vissées en V pour constituer l'extrémité de l'excitateur ; pointe aiguë, en laiton nickelé (n° 6), sphère en laiton ou en buis (n° 7), pointe mousse en laiton ou en buis (n° 8), peigne circulaire en laiton ou en buis avec pointes aiguës (n° 9), peigne circulaire en laiton ou en buis avec pointes mousues (n° 10) ; sphère intermédiaire (n° 11) pouvant recevoir en V'' tous les excitateurs accessoires.

Le médecin muni de ce matériel peut opérer la décharge électrique, sur les points des corps qu'il a choisis, soit sous la forme continue (par aigrette ou par souffle), soit sous la forme brusque et pour ainsi dire instantanée (par étincelle bruyante) ; dans le premier cas, il armera son

excitateur de pointes plus ou moins aiguës, tandis que dans le second cas, il l'armera de boules sphériques.

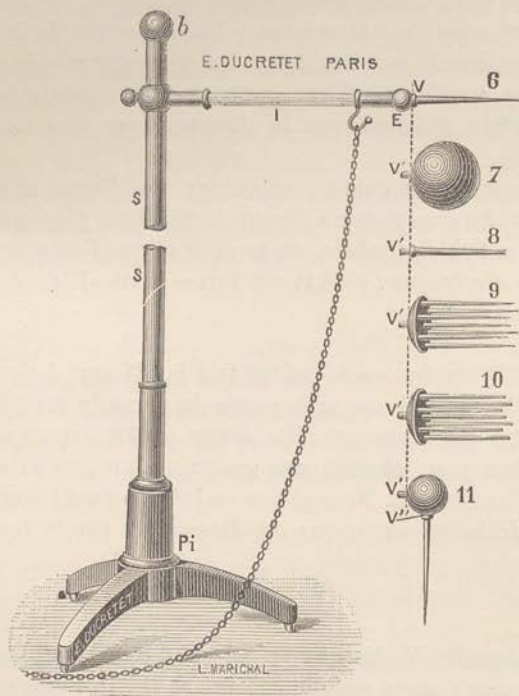


Fig. 40.

49. *Effluvation statique*. — M. Doumer, de Lille, a donné le nom d'*effluvation statique* à l'électrisation par le souffle ou l'aigrette. D'après Boudet de Paris, le diamètre de la surface influencée par la pointe de décharge est égal à une fois et demie la distance de cette pointe à cette surface; c'est là une indication à la précision de laquelle il ne faut pas trop croire, car elle ne tient pas

compte du degré d'accuité de la pointe, ni du signe de l'électricité qu'elle fait écouler. Le souffle électrique produit une sensation agréable et fraîche, due au mouvement des particules d'air électrisées ; l'abaissement de la température locale persiste assez longtemps, après la cessation du souffle. L'effluve statique exerce généralement une action sédative que la thérapeutique peut mettre à profit.

En employant comme excitateur un disque armé de pointes, dit *araignée de Truchot*, que l'on place au-dessus de la tête du malade, on produit ce que l'on appelle la *douche électrique* ; c'est là une forme particulière de l'effluvation.

50. *Étincelles*. — L'excitateur à boule sert à tirer des *étincelles* de telle ou telle partie du corps du malade. La sensation éprouvée est celle d'une piqûre accompagnée d'un choc ; on observe une contraction musculaire plus ou moins violente. Nous avons vu (n^o 12) que l'énergie W d'une décharge électrique est déterminée par la formule

$$W = \frac{1}{2} CV^2,$$

dans laquelle V désigne le potentiel et C la capacité du conducteur ; nous savons également (n^o 14), que la différence de potentiel nécessaire pour que l'étincelle jaillisse augmente avec la distance explosive et croît, dans une mesure beaucoup plus faible, avec le diamètre des boules de décharge ; il est naturel d'en conclure que *l'énergie de la secousse musculaire doit croître fortement avec la longueur de l'étincelle et beaucoup moins sensiblement avec le diamètre de la boule de l'excitateur*. On a vérifié cette influence du diamètre en le faisant varier depuis un centimètre jusqu'à six centimètres et en donnant aux

étincelles une longueur constante de 15 millimètres ; d'après M. le docteur Bordier, l'énergie de la secousse musculaire serait proportionnelle au diamètre de l'excitateur.

Comme il importe de limiter à l'avance la longueur maximum des étincelles à tirer du corps du malade, le médecin doit avoir soin de régler préalablement la distance des deux boules polaires de la machine électrique ; c'est toujours entre ces deux boules que jaillira l'étincelle, au détriment de l'application médicale, lorsque l'on placera trop loin du corps du malade la petite sphère de l'excitateur.

51. *Friction électrique.* — En plaçant quelques couches d'une étoffe de laine ou de drap entre la peau du malade et l'excitateur sphérique, on peut opérer une *friction électrique* ; une pluie de petites étincelles, qui font ressentir au sujet des piqûres désagréables, jaillit alors à travers l'étoffe.

52. *Observations diverses.* — D'après les travaux les plus récents, on peut résumer comme il suit les effets du bain électrostatique :

Augmentation de la fréquence du pouls et de la tension artérielle ;

Léger accroissement de la température centrale ;

Augmentation de la capacité respiratoire du sang, ayant probablement pour cause la production de l'ozone ;

Accroissement de la sécrétion des glandes sudoripares et de l'activité des combustions internes ;

Accélération des fonctions digestives ;

Action spéciale sur les nerfs cutanés et, notamment, sur les nerfs vasomoteurs

D'après quelques auteurs, une action calmante serait

produite par le bain positif ; on obtiendrait, au contraire, une action excitante avec le bain négatif.

Les aigrettes et les étincelles peuvent s'obtenir à travers les vêtements ; il est donc généralement inutile de dévêtir le malade. Cependant, s'il s'agit d'une femme, il ne faut pas lui laisser conserver un corset avec lames en acier. Quel que soit le sexe du sujet, on doit lui faire quitter tout objet métallique dont il serait porteur (trousseau de clés, porte-monnaie, montre, et cœtera) ; on doit veiller aussi à ce que les vêtements soient bien secs.

Il est souvent utile pour l'opérateur de reconnaître les signes des collecteurs ou pôles de la machine électrostatique pendant qu'elle fonctionne. On y arrive facilement de la manière suivante. Relions à l'un de ces collecteurs une pointe métallique isolée, de manière à obtenir une effluve ; le collecteur positif produit une aigrette violacée et un souffle bruissant, tandis que le collecteur négatif produit un simple point brillant à l'extrémité de la pointe métallique et un souffle silencieux. Indiquons aussi que la flamme d'une allumette ou d'une bougie est repoussée par le pôle positif et attirée par le pôle négatif.

Observations préliminaires. — Batterie de Gaiffe. — Galvanomètre aperiodique. — Excitations galvaniques. — Electrolyseurs. — Isolants stérilisables. — Cataphorèse. — Etats variables du courant.

53. *Observations préliminaires.* — Les applications des courants continus à la thérapeutique ont reçu les noms de *galvanisation* et d'*électrolyse* ou *galvanocaustique chimique*.

L'intensité du courant employé dans ces diverses applications doit généralement être inférieure à 50 milliam-pères. La méthode dite des grandes intensités, que l'on a quelquefois appliquée au traitement de l'utérus, mais dont les inconvénients et l'inutilité paraissent se révéler de plus en plus, n'élève pas le maximum au-delà de 250 milliam-pères. Par conséquent les sources d'électricité nécessaires sont toujours des piles à faible débit, dont la résistance intérieure importe d'autant moins qu'elle est généralement négligeable devant celle de la partie du corps humain qui fait partie intégrante du circuit extérieur. La grandeur de cette dernière résistance exige une force électromotrice assez considérable de la source électrique ; on doit donc choisir de préférence, pour constituer la batterie voltaïque, des éléments de pile à tension relativement élevée ; tels sont les éléments Leclanché ou leurs analogues dont la force électromotrice atteint presque un volt et demi. Il est utile que le praticien puisse, dans chaque cas particulier, grouper facilement en tension le nombre d'éléments qu'il veut mettre en œuvre ; il faut aussi qu'il puisse toujours con-

naître l'intensité du courant produit ; l'emploi d'un *collecteur* et d'un *galvanomètre* se trouve donc indiqué.

54. *Batterie de Gaiffe*. — La maison Gaiffe et C^o fabrique des *batteries-modèles pour Docteurs* (c'est le nom

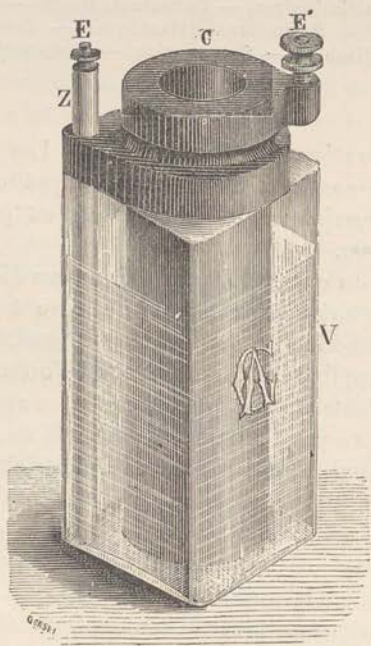


Fig. 41.

qu'elle leur donne), avec 24, 36, 48 et 60 couples. Nous allons décrire celle à 36 couples, qui suffit en pratique courante et qui présente l'avantage d'être assez portable, La couple Gaiffe, représenté par la figure 41, diffère de l'élément Leclanché par la substitution d'une solution aqueuse de chlorure de zinc à 20 pour 100 à la solution de

chlorhydrate d'ammoniaque; cette solution de chlorure de zinc ne sert qu'à établir la communication entre l'électrode de zinc Z et le bioxyde de manganèse qui cède de l'oxygène à ce zinc. Le vase de verre V a 4 centimètres

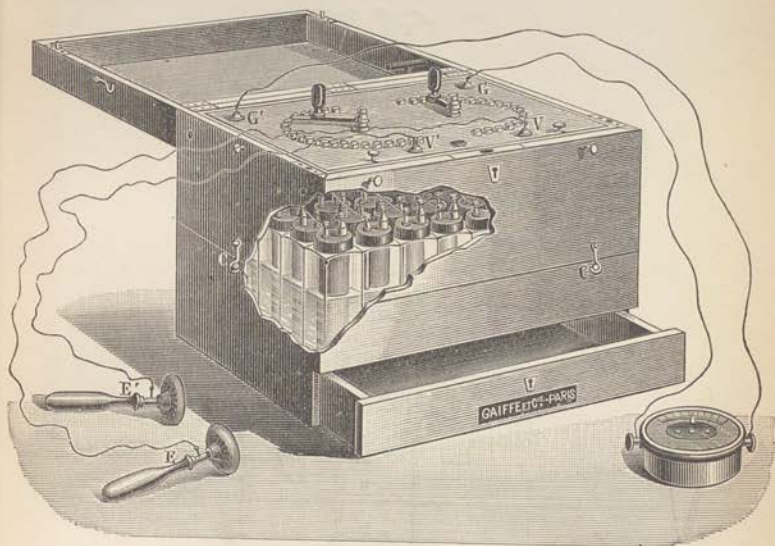


Fig. 42.

de côté sur 10 centimètres de hauteur. Le cylindre creux de charbon C, qui sert à la fois d'électrode et de vase poreux, contient des couches superposées de grains de bioxyde de manganèse et de charbon. L'espace annulaire compris entre le vase de verre et le cylindre de charbon est fermé dans le haut par un mastic spécial qui donne passage à l'électrode de zinc Z. Les bornes E. E'. servent pour les prises de courant. La force électromotrice de cet élément Gaiffe est de 1,45 volt; sa résistance intérieure

est de 3 à 4 ohms ; la surface dépolarisante est environ de 1 décimètre carré. Les 36 éléments, groupés en série de manière à cumuler leurs forces électromotrices respectives, sont renfermés dans une boîte en acajou (fig. 42),

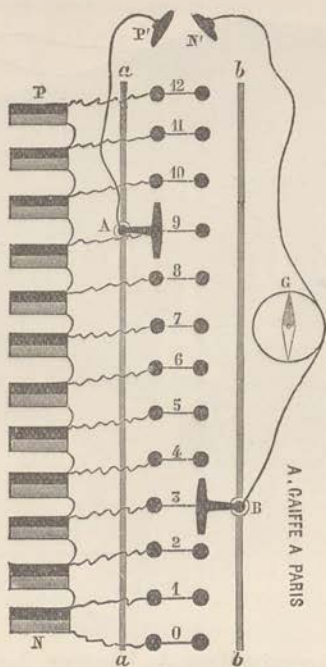


Fig. 43.

sur le couvercle intérieur de laquelle est installé un *collecteur à double cadran*, appareil qui permet au médecin de n'employer, lorsqu'il le juge utile, que telle ou telle partie de la batterie des piles. Pour comprendre aisément l'économie du collecteur, il est bon de recourir à un schéma (fig. 43). Considérons, pour fixer les idées, douze

éléments de pile groupés en série, et soient P et N les pôles positif et négatif de cette batterie; considérons, d'autre part, une double rangée de boutons métalliques 0, 1, 2, 3..., 11, 12 reliés deux à deux par des fils conducteurs; faisons communiquer le couple 0 avec le pôle négatif N, chacun des couples 1, 2..., 11 avec l'électrode positive de l'élément de pile correspondant et le couple 12 avec le pôle positif P de la batterie. Cela posé, prenons un bouton sur chaque rangée, par exemple le numéro 9 à gauche et le numéro 3 à droite, et attachons à ces boutons les rhéophores AP', BN' (mobiles sur les rainures aa', bb'); le courant que l'on captera en fermant le circuit P' N' sera fourni par les six éléments 4, 5, 6, 7, 8, 9. Il est donc facile, lorsque l'on ne doit utiliser qu'un nombre restreint d'éléments, de choisir ceux que l'on veut en excluant les autres. On distingue facilement les signes des contacts des deux rhéophores, en remarquant que *le contact le plus rapproché du zéro est négatif*.

Cela posé, au lieu de former avec les boutons deux rangées rectilignes, formons deux rangées circulaires en inscrivant les numéros correspondants; nous pourrions remplacer les rhéophores mobiles sur rainures par deux manettes tournant autour des centres des rangées; supposons qu'il y ait 36 éléments de pile au lieu de 12; nous obtiendrons le collecteur à double cadran que porte le couvercle intérieur de la batterie modèle représentée par la figure 42. Les manettes M et M' sont respectivement en communication avec les bornes V et V', destinées à la prise du courant. Le collecteur double peut aussi être disposé de manière à prendre les éléments de piles de 2 en 2, au lieu de les prendre de 1 en 1; chaque rangée circulaire ne contient alors que 19 boutons (au lieu de 37), désignés par les numéros pairs 0, 2, 4..., 34, 36.

Pour ne pas s'exposer à mettre rapidement cette batterie

hors d'usage, il convient de ne pas lui faire produire des courants d'une intensité supérieure à 40 milliampères (1). Le nombre des éléments à mettre en œuvre, dans chaque cas particulier, dépend de la résistance extérieure et du nombre de milliampères que l'on veut donner à l'intensité du courant. On peut produire à volonté des interruptions de courant en pressant avec le doigt un bouton d'ivoire placé sur le couvercle intérieur de la batterie. Le catalogue de la maison Gaiffe indique, pour cette batterie de 36 éléments, le prix de 170 francs, non compris le galvanomètre qu'il est indispensable de lui adjoindre.

55. *Galvanomètre aperiodique.* — Un galvanomètre est une véritable balance électrique destinée à donner la mesure de l'intensité du courant. Plusieurs appareils de cette nature sont fondés sur la déviation qu'éprouve une aiguille aimantée mobile en présence d'un courant voisin; ils sont alors influencés par l'action du champ magnétique terrestre et leurs indications peuvent être faussées par l'approche des morceaux de fer et des aimants. Le galvanomètre de MM. Deprez et d'Arsonval est fondé sur le déplacement qu'éprouve un conducteur mobile, placé dans un champ magnétique, lorsque ce conducteur est parcouru par un courant. Un cadre rectangulaire vertical, sur lequel sont enroulées plusieurs spires en fil de cuivre, est mobile autour d'un axe formé par deux fils métalliques qui servent à amener le courant; ce cadre est placé dans un champ magnétique intense, compris entre les deux branches verticales d'un aimant fixe en fer à cheval et un cylindre creux de fer doux maintenu à l'intérieur du cadre par un support indépendant; quand un courant passe dans les

(1) En employant les 36 éléments, ce courant de 40 milliampères correspond à une résistance extérieure d'environ 1200 ohms.

spires, le cadre tend à se placer perpendiculairement à la direction du champ magnétique, mais comme il éprouve une résistance provenant de la torsion du fil, il s'arrête dans une position d'équilibre intermédiaire ; l'amplitude de sa déviation dépend de l'intensité du courant et peut donner sa mesure ; ajoutons que les courants induits qui sont engendrés par le déplacement du cadre en présence du cadre de l'aimant contribuent à amortir les oscillations

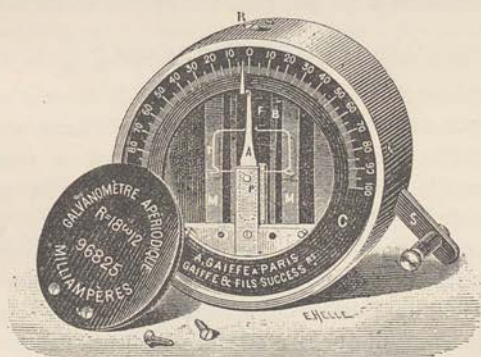


Fig. 44.

de l'appareil ou en d'autres termes, à le rendre *apériodique*, circonstance favorable pour la lecture rapide de l'intensité. La maison Gaiffe construit un galvanomètre basé sur ce principe (fig. 44) ; le cadre-bobine B peut se mouvoir dans le champ magnétique compris entre l'aimant M et le fer doux F. Cette bobine est montée sur des pivots en acier trempé qui roulent dans des chapes en pierre dure polie ; deux ressorts en métal non magnétique amènent le courant et servent en même temps à équilibrer la réaction électromagnétique.

La déviation angulaire de la bobine est transmise, très amplifiée, à l'aiguille-index A, par l'intermédiaire de la four-

chette T qui agit par deux fils de soie sur une petite poulie solidaire de l'axe de rotation de l'aiguille. Le cadran gradué permet de lire la valeur de l'intensité du courant en milliampères. Ce galvanomètre apériodique, n'ayant que dix centimètres de diamètre, est très portatif; on peut le placer horizontalement ou verticalement. Le prix indiqué par le catalogue de la maison Gaiffe est de 90 francs; cette maison construit cinq modèles dont les mesures sont respectivement limitées à 25, 50, 100, 250 et 500 milliampères et dont les précisions correspondantes sont $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2,5 et 5 milliampères; c'est le second de ces modèles qu'il convient d'employer avec la batterie Gaiffe à 36 éléments que nous avons décrite. Le médecin se trouve ainsi en possession des appareils nécessaires et suffisants pour la pratique courante de la galvanisation et de l'électrolyse.

Supposons que les deux électrodes employées pour faire passer le courant dans une partie déterminée de l'organisme soient appliquées sur le corps du malade et que l'intensité du courant que le médecin veut produire soit fixée à m milliampères. Le nombre n des éléments de pile à mettre en œuvre est théoriquement déterminé par la formule

$$n = \frac{IR}{E - Ir},$$

dans laquelle nous désignons

par $I = \frac{m}{1000}$ l'intensité du courant exprimée en ampères,

par $E = 1,45$ volt la force électromotrice d'un élément de pile

par $r = 3,5$ ohms la résistance intérieure de cet élément

par R la résistance du circuit extérieur.

Mais cette résistance extérieure R doit être, la plupart

du temps, considérée comme une véritable inconnue, pour les multiples raisons que nous avons indiquées dans le paragraphe relatif aux résistances du corps humain ; une grosse erreur d'appréciation est toujours à craindre lorsque l'on essaie d'évaluer à priori cette résistance R . D'autre part, les valeurs normales de 1,45 volt et de 3,5 ohms, respectivement attribuées à la force électromotrice et à la résistance intérieure d'un élément de pile sont toujours plus ou moins altérées par la mise en service de la batterie et varient assez souvent d'un élément à l'autre. Dans ces conditions, la formule théorique ne peut être que d'un faible secours ; le mieux est de ne pas s'en rapporter à elle et d'y suppléer par la précieuse méthode de tâtonnement que le double collecteur et le galvanomètre mettent à la disposition de l'opérateur.

Supposons, pour fixer les idées, que nous mettions la manette M en contact permanent avec le bouton marqué zéro ; en mettant lentement la manette M' en contact successif avec le bouton zéro et les boutons suivants, nous verrons le galvanomètre apériodique indiquer successivement des nombres croissants de milliampères, jusqu'à ce que cette manette M' ait pris le contact qui correspond au nombre de milliampères m que nous désirons obtenir. Remarquons que la largeur de la manette est assez grande pour qu'elle puisse poser sur deux boutons à la fois, de manière que l'introduction d'un nouveau couple dans le circuit ait lieu avant l'abandon du couple précédent ; le passage d'un bouton au suivant se fait donc sans qu'il se produise une brusque interruption momentanée du courant, interruption qui ferait éprouver inutilement au malade une sensation désagréable.

Pendant l'application du courant continu, le galvanomètre apériodique accuse fidèlement toute variation d'intensité qui peut se produire.

56. *Excitateurs galvaniques.* — Pour appliquer les courants continus à la thérapeutique, il faut nécessairement employer comme excitateurs des rhéophores ou électrodes, dont la forme et la nature varient suivant les effets à obtenir.

Une électrode à grande surface (de 150 centimètres carrés ou plus), au niveau de laquelle les effets du courant sont peu appréciables, porte le nom d'électrode *indifférente*. Elle doit se composer d'une plaque de métal assez souple (étain pur ou cuivre amalgamé), recouverte d'une partie spongieuse que l'on imbibe d'eau (1). Si l'on employait une simple plaque de métal appliquée sur la peau du malade, on produirait, même avec un courant de faible intensité, une sensation douloureuse de picotement brûlant et l'on s'exposerait à la formation d'une eschare ; la sensation est plus pénible, toutes choses égales d'ailleurs, avec une électrode négative qu'avec une électrode positive. L'électrode indifférente que fabriquent la plupart des constructeurs se compose d'une plaque d'étain recouverte d'une peau de chamois, avec interposition d'une couche d'amadou. On se sert aussi d'électrodes en argile et parchemin (Luraschi), en cuivre nickelé recouvert de couches de gaze fine (Bergonié), *et cætera*.

L'emploi simultané d'une électrode *indifférente* et d'une électrode *active* constitue ce que l'on appelle la *méthode monopolaire*, qui est la plus adoptée en électrothérapie. La méthode *bipolaire* consiste dans l'emploi simultané de deux électrodes actives.

On dit que l'électrisation est *stable* lorsque les deux électrodes conservent des positions fixes sur le malade ;

(1) Pour humecter une électrode, il vaut mieux employer l'eau tiède que l'eau froide. On a complètement renoncé à l'emploi de l'eau salée, à cause des actions électrolytiques auxquelles elle peut donner lieu.

dans ce cas on peut maintenir l'électrode active en place au moyen d'un lien de caoutchouc entourant le membre intéressé et exerçant une pression suffisante pour assurer un bon contact entre cette électrode et la peau du sujet. L'électrisation *labile* se fait en promenant sur la peau, plus ou moins rapidement, l'électrode active ; dans ce cas, il est



Fig. 45.

nécessaire que cette électrode soit portée par un manche isolant que l'opérateur puisse avoir bien en main ; il est utile que ce manche soit muni d'un bouton interrupteur de courant (fig. 45).

Pour l'électrisation labile, on emploie des électrodes en



Fig. 46.



Fig. 47.

forme de boule ou de bouton (fig. 46 et 47), les rouleaux pour frictions (fig. 48), les masseurs multiples (fig. 49), les brosses à fils métalliques (fig. 50), les pinceaux métalliques (fig. 51), *et cætera* (1).

(1) Les figures 46 à 51 sont extraites du catalogue d'électricité médicale de MM. Genisson et Vaast,

Les électrodes actives pour électrisation labile reçoivent



Fig. 48.

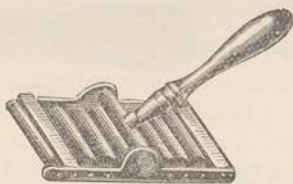


Fig. 49.

des formes variées suivant les parties de l'organisme auxquelles elles doivent s'appliquer. Il est toujours utile, pour



Fig. 50.

éviter les effets électrolytiques, de ne pas mettre le métal directement en contact avec les muqueuses ; il convient



Fig. 51.

donc d'interposer une couche d'eau entre le métal et la surface des tissus. Pour l'oreille, le nez et le larynx, on

peut employer l'excitateur à éponge représenté par la figure 52. Le docteur Suarez de Mendoza emploie pour le traitement



Fig. 52.

des fosses nasales un excitateur spécial (fig. 53), muni d'un petit ballon de caoutchouc C, qui peut être gonflée

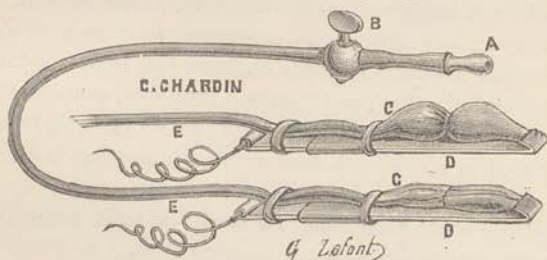


Fig. 53.

par insufflation, pour obtenir un bon contact de la plaque métallique D avec la muqueuse. Pour la galvanisation de

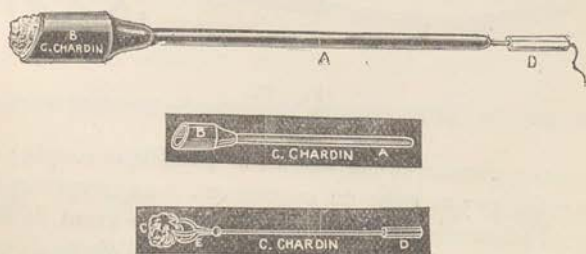


Fig. 54.

l'utérus, on peut recourir à l'excitateur à éponge, du docteur Chéron ; les figures 54 représentent l'ensemble et les

deux parties séparées de cet excitateur. La figure 55 représente un excitateur vaginal ; un tampon d'amadou E est



Fig. 55.

enroulé sur la tige en aluminium D, entourée d'un tube isolateur en caoutchouc, et communiquant avec la partie métallique AB dans laquelle on introduit le fil conducteur du courant. Le docteur Onimus a employé, pour électriser la vessie, une sonde servant à injecter de l'eau tiède (après avoir vidé la vessie) et à donner ensuite passage à un mandrin d'argent qui reçoit le courant ; l'eau remplit ainsi le rôle d'une large électrode. Ce mode de traitement hydro-électrique est employé par le docteur Boudet de Paris pour l'occlusion intestinale ; la sonde représentée par la figure



Fig. 56.

56 est en gomme et contient un fil métallique souple ; elle est reliée par un tube de caoutchouc à un irrigateur par lequel on envoie un lavement d'eau salée avant de faire passer le courant. La figure 57 représente l'électrode vaginale du docteur Margaret Claves, de New-York, pour le traitement hydro-électrique des affections vaginales et péri-utérines ; le disque E avec son entonnoir perforé et le tube de drainage F servent à obturer la vulve et à évacuer

les liquides de la douche ; A est le point d'attache du fil

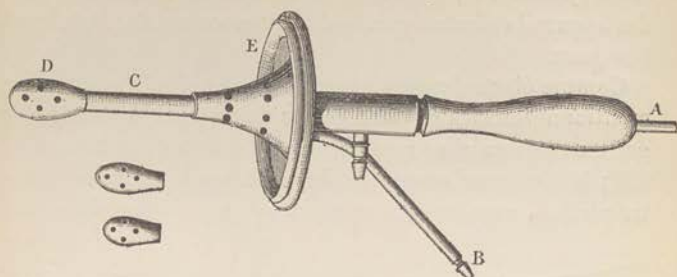


Fig. 57.

conducteur qu'un charbon intérieur au manchon d'ébonite amène jusqu'à l'olive perforée D.

57. *Electrolyseurs*. — L'électrolyse ou galvanocaustique chimique est une véritable application chirurgicale de l'électricité. L'anode ou électrode positive fait coaguler l'albumine du sang et produit une eschare acide, dure et rétractile ; l'eschare produite par la cathode ou électrode négative est, au contraire, alcaline, molle et peu rétractile. Le métal de l'anode doit être aussi inaltérable que possible (or, platine ou charbon) ; pour la cathode on peut, avec moins d'inconvénients, employer aussi l'acier, l'argent et

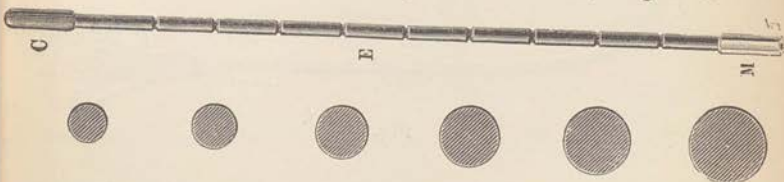


Fig. 58.

le cuivre. On peut distinguer trois sortes d'électrolyses : électrolyse *annulaire* ou *cylindrique*, électrolyse *linéaire*,

électropuncture ; de là une classification correspondante des appareils électrolyseurs dont le nombre s'accroît chaque jour.

Comme électrolyseurs annulaires ou cylindriques, nous mentionnerons les *hystéromètres* du docteur Apostoli qui peuvent être en charbons rigides de divers diamètres (fig. 58) ; la figure suivante (fig. 59) représente un hystéromètre platiné, avec trocard en acier ou en or, muni d'un iso-

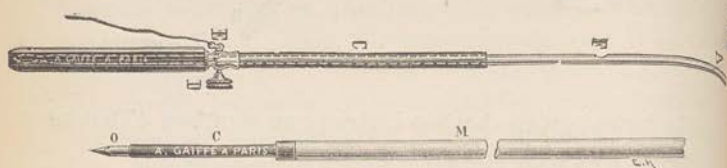


Fig. 59.

lateur C en celluloïd. La figure 60 représente la sonde en platine de *Boomann*, pour l'électrolyse annulaire du conduit lacrymal. La figure 61 représente l'*excitateur cautère*

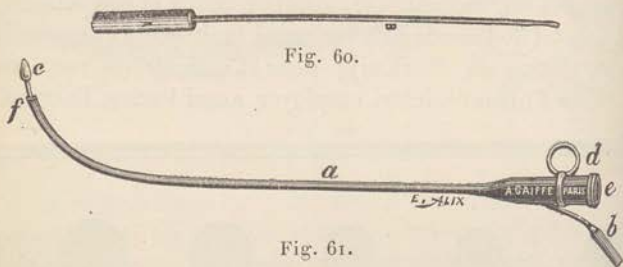


Fig. 61.

du docteur Baratoux pour l'électrolyse de la trompe d'Eustache. Pour l'ablation, par l'électrolyse, des polypes difficilement accessibles, le docteur Gouguenheim emploie un crochet en platine spécial (fig. 62). Indiquons aussi la

sonde excitatrice du docteur Baraduc pour l'électrolyse de

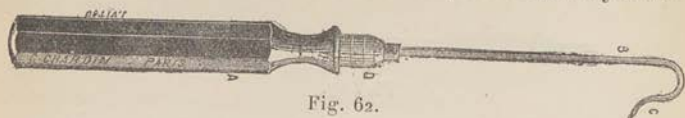


Fig. 62.

la prostate (fig. 63); le point D, que ne recouvre pas l'enveloppe de celluloid, est seul actif.

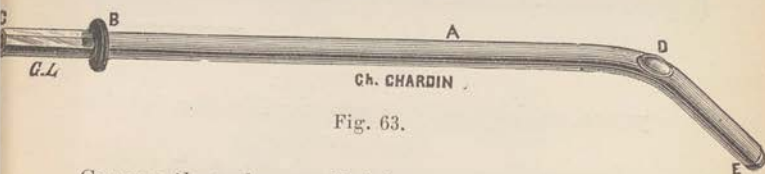


Fig. 63.

Comme électrolyseurs linéaires nous mentionnerons l'u-

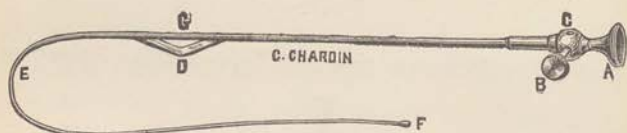


Fig. 64.

réthrotome du docteur Fort. (fig. 64), pour le traitement électrolytique des rétrécissements de l'urèthre ; l'électrolyseur

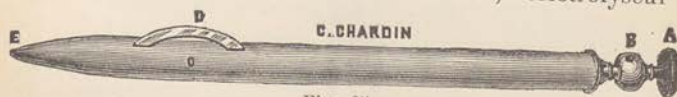


Fig. 65.

du rectum (fig. 65) et l'électrolyseur de l'oesophage (fig. 66).

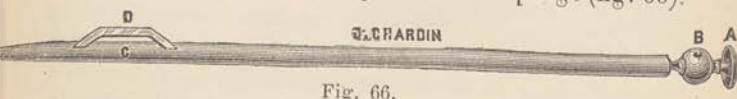


Fig. 66.

Les aiguilles employées pour la galvanopuncture (fig.

67 et 68) peuvent être en acier, en or ou en platine, sui-



Fig. 67.

vant leur destination. Lorsqu'il s'agit du traitement des

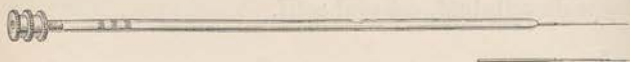


Fig. 68.

anévrismes, on emploie l'*enfonce-aiguilles* (fig. 69), dont



Fig. 69.

la partie P renferme une tige métallique destinée à pousser

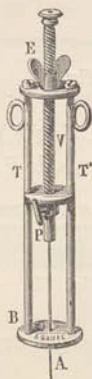


Fig. 70.

l'aiguille A ; la coulisse G glisse à frottement dur sur le tube T, qui porte une division en degrés de 5 millimètres

et sert de buttoir au tube P ; ce petit instrument permet d'enfoncer l'aiguille à la profondeur indiquée d'avance. On emploie ensuite le *tire-aiguilles* (fig. 70) dont le plateau B, traversé par l'aiguille A, s'appliquera sur l'épiderme ; cette aiguille, engagée dans le tube P, qui descend d'abord jusqu'au contact du plateau B, est fortement serrée par une vis ; en faisant tourner l'écrou E, on peut retirer l'aiguille graduellement et sans secousse.

La figure 71 représente l'*électrolyseur bipolaire* du docteur Baraduc pour le traitement des taches érectiles ;



Fig. 71.

les deux conducteurs se placent à l'extrémité du manche isolant A ; les aiguilles BC, disposées de façon qu'aucun court-circuit ne puisse se produire, servent d'anode et de cathode.

58. *Isolants stérilisables*. — Nous croyons utile de reproduire ici l'extrait suivant du compte rendu de la séance de l'Académie de médecine du 20 décembre 1898.

« M. Laborde présente à l'Académie, au nom de M. le docteur André Lucas, un *Isolant stérilisable* pour la construction de certains appareils, en particulier pour les *instruments électrolyseurs*.

Parmi les défauts inhérents aux instruments dont l'emploi s'est considérablement généralisé dans le traitement *électrique* de certaines maladies, figure au premier rang l'absence des garanties nécessaires pour l'*asepsie* et la *stérilisation*.

Ces garanties manquent, par exemple, lorsque les ma-

tières isolantes employées par les constructeurs sont, comme l'ébonite et le celluloïd, fusibles ou inflammables à des températures peu élevées ; la stérilisation soit à l'é-tuve, soit par l'eau bouillante est alors impossible sans détériorer l'instrument.

On peut, dans certains cas, remplacer l'ébonite par le verre ; c'est ce que l'auteur vient de faire pour l'*électrode intra-utérine* ; l'instrument ainsi modifié que je présente a été construit, d'après ses indications, par M. Maison-neuve.

L'emploi du verre n'est d'ailleurs possible que dans le cas où l'instrument peut rester rigide. Il n'en serait pas ainsi s'il s'agissait, par exemple, d'un uréthrotome électrolyseur qui doit prendre une courbure variable pendant son passage dans le canal. Nous remplaçons alors le verre par l'amiante tissée, substance dont la stérilisation peut se faire par le feu. »

59. *Cataphorèse*. — L'action cataphorétique du courant électrique peut-elle être utilisée en électrothérapie ? On trouve à ce sujet quelques croyants et beaucoup d'incréd-ules.

En 1859, Richardson a essayé d'employer l'électricité pour faire pénétrer à travers la peau humaine certains médicaments, tels que la morphine, l'aconitine et le chlo-roforme ; mais il ne semble pas que les résultats obtenus aient été bien concluants.

MM. Onimus et Legros ont pensé que la médecine légale pourrait tirer partie de la cataphorèse électrique pour constater les empoisonnements métalliques ; citons à ce propos le passage suivant de leur *Traité d'électricité médicale* :
« Nous avons fait quelques recherches à ce sujet, mais
« l'expérience la plus saisissante pour montrer l'influence
« électro-chimique est celle que donne la décomposition

« de l'iode de potassium. Soit qu'on le prenne à l'intérieur ou qu'on en injecte une solution sous la peau, on constate au bout de quelques minutes, sur toutes les régions du corps, la présence de l'iode au pôle positif. Sur un rat, par exemple, presque aussitôt après avoir injecté sous la peau quelques gouttes d'une solution d'iode de potassium, nous fîmes passer un courant de 15 éléments Remak, et dans toutes les parties du corps près du pôle positif l'eau amidonné bleuissait par la formation d'iode. Il est donc évident qu'un sel introduit dans l'organisme peut être décelé et décomposé par les courants électriques, mais plusieurs conditions et surtout la solubilité des sels amènent de grandes différences. »

En Amérique le docteur Friederik Peterson a commencé en 1888 diverses recherches sur la diffusion des médicaments à travers la peau et dans les tissus sous-cutanés par une anode galvanique. Les médicaments dont il s'est servi sont la cocaïne, le chloroforme, le menthol, l'aconitine, l'acide phénique, la strychnine, le sublimé corrosif, l'iode, l'iode de potassium, l'ellébore, les citrate, benzoate et chlorate de lithium, etc. L'électrode cataphorétique pourrait être en étain, avec ou sans enveloppe de drap ou d'éponge ; l'électrode spongieuse conviendrait pour les médicaments dont le dosage rigoureux n'est pas nécessaire ; pour les substances particulièrement dangereuses, comme la strychnine, la cocaïne ou l'aconitine, il y aurait lieu d'employer une électrode métallique pleine, entourée d'un petit bourrelet de caoutchouc pour éviter l'évaporation. D'après le docteur Peterson, cette méthode de la diffusion anodale s'appliquerait surtout aux maladies de la peau.

Le docteur Foveau de Courmelles préconise, sous le nom de *bi-électrolyse* une méthode thérapeutique, dans laquelle

les éléments médicamenteux transportés dans l'organisme seraient préalablement dégagés à l'état naissant de certaines combinaisons. L'application consisterait en une plaque servant d'électrode indifférente et en un tube portemédicaments (contenant l'autre pôle du courant) mis en communication avec la partie intéressée de l'organisme.

L'avenir réserve peut-être à la cataphorèse électrique plus de succès qu'elle n'en a aujourd'hui.

60. *Etats variables du courant.* — Nous avons indiqué précédemment (n° 31) les effets physiologiques du courant continu lorsqu'il est périodiquement interrompu et rétabli. En mettant en œuvre ces états variables du courant on peut obtenir des secousses musculaires assimilables à celles que produisent les courants faradiques, auxquels nous consacrons plus loin un paragraphe spécial. Quelques praticiens établissent une distinction entre les courants *interrompus* et les courants *intermittents* ; pour les premiers, la période d'interruption est plus courte que celle du passage, l'inverse a lieu pour les seconds ; M. le professeur Bergonié a donné, d'autre part, le nom de courants *rhythmés* aux courants qui subissent des périodes égales d'interruption et de rétablissement (1).

Pour obtenir automatiquement les interruptions périodiques d'un courant continu, on peut faire usage d'un métronome à mercure. On obtient une solution plus parfaite avec l'appareil que représente la figure 72. Le mouvement d'horlogerie A, qui peut marcher régulièrement pendant une heure, fait tourner le plateau métallique moteur B ; ce plateau produit par frottement la rotation

(1) Il nous manque encore les courants *semi-interrompus*, *semi-intermittents*, *semi-rhythmés* et beaucoup d'autres. Ne désespérons pas de les voir préconiser comme ayant des vertus spéciales.

du galet métallique C qui agit, au moyen de deux pignons dentés, sur les cliquets F et G ouvrant et fermant le courant ; le bouton à glissière H permet de déplacer le sys-

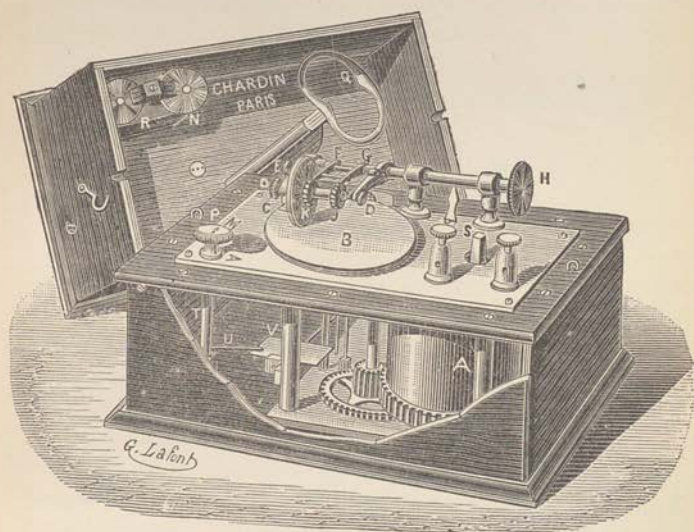
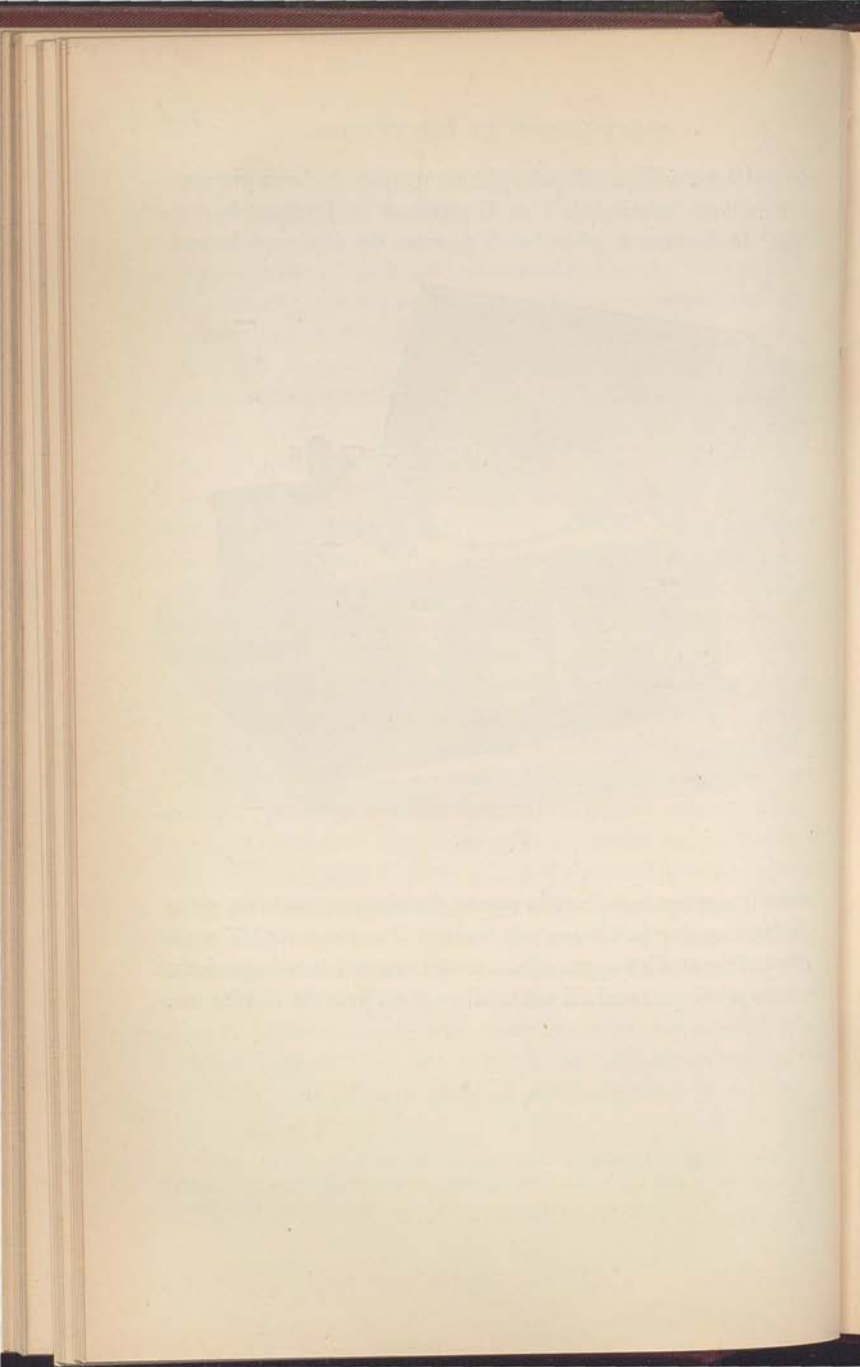


Fig. 72.

tème interrupteur dans le rayon du plateau moteur, pour en faire varier la vitesse ; le bouton P commande la marche et l'arrêt. Cet appareil est certainement très ingénieux et très pratique, mais il est catalogué au prix de 150 francs.



§ 3. — GALVANOCAUSTIQUE THERMIQUE ET ENDOSCOPIE

Piles au bichromate. — Accumulateurs. — Shunts et volmètres. — Mesures des résistances. — Galvanocautères thermiques. — Endoscopie électrique.

61. *Piles au bichromate.* — Tandis que la galvanisation et l'électrolyse n'exigent qu'un faible débit, sous une tension relativement grande, de la source électrique qui leur est consacrée, la galvanocaustique thermique et l'endoscopie exigent un débit relativement considérable, sous une tension peu élevée. Dans le premier cas, la batterie de piles peut avoir, sans inconvénient, une résistance intérieure assez grande, car la perte d'énergie correspondante, (dont la valeur par seconde est égale au produit de cette résistance par le carré de l'intensité du courant), se trouve singulièrement limitée par la faiblesse d'une intensité presque toujours inférieure à un quart d'ampère. Dans le second cas, l'intensité du courant devant s'élever à plusieurs ampères, il importe que la très-majeure partie de la résistance totale du circuit soit représentée par celle d'un galvanocautère ou par celle du filament d'une lampe à incandescence ; il convient, pour ce motif, de demander une grande surface aux piles ou aux accumulateurs que l'on veut mettre en œuvre.

Le couple Poggendorff fournit une bonne solution. Rappelons qu'il se compose, en principe, d'un récipient contenant un mélange de bichromate de potasse et d'acide sulfurique étendu d'eau, dans lequel on fait plonger les deux électrodes zinc amalgamé et charbon. La force élec-

tromotrice est un peu supérieure à 2 volts ; la résistance intérieure est faible ; on diminue fortement la polarisation en donnant une grande surface aux charbons ; ce sont là de grands avantages. Mais cette pile fonctionnerait à circuit ouvert si l'on ne prenait pas la précaution de faire sortir le zinc du liquide dès que doit cesser la mise en service.

Pour rendre pratique l'emploi des piles au bichromate, M. Chardin a adopté d'ingénieuses dispositions. La

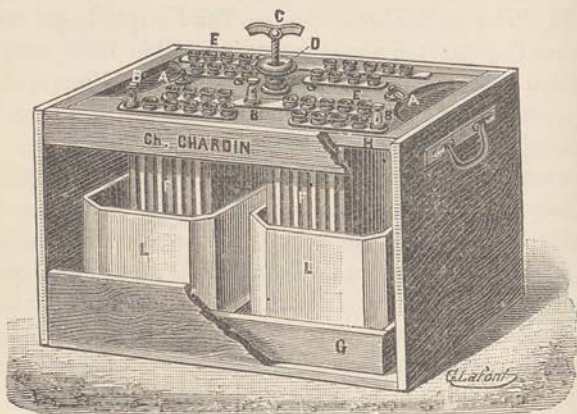


Fig. 73.

figure 73 représente un *appareil de cabinet* (catalogué au prix de 125 francs) spécialement destiné à la galvanocaustique thermique. Le liquide au bichromate est contenu dans les deux récipients en porcelaine L qui reposent sur un casier mobile G ; à chacun de ces récipients correspondent les électrodes F, composées de quatre plaques de zinc et cinq plaques de charbon de cornue, chaque plaque ayant 0 m. 14 de hauteur, 0 m. 13 de largeur et 0 m. 005

d'épaisseur ; chacun des zincs et chacun des charbons est solidement fixé par un écrou E au couvercle supérieur de la boîte en chêne ciré qui renferme les piles. Les prises de courant se font au moyen des bornes B. Pour régler l'immersion des électrodes dans le liquide (1), on fait tourner le bouton de manœuvre D qui commande une vis centrale entraînant le casier G. Ajoutons qu'il est bien préférable de remplacer ce bouton de manœuvre, auquel on ne peut imprimer qu'une rotation trop lente, par la pièce en bronze nickelé que représente la figure 74 ; cette pièce à

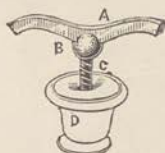


Fig. 74.

poignée A permet de soulever d'un seul coup à la hauteur voulue le casier G, porteur des récipients, et de le fixer dans cette position en faisant glisser avec le doigt la tulipe à vis D jusqu'au couvercle de la boîte. Les deux anneaux A qui sont fixés à ce couvercle servent à enlever le système des électrodes, pour les nettoyer et les remplacer au besoin.

Voici (fig. 75) un autre appareil pour galvanocaustique et pour lumière électrique (catalogué au prix de 200 fr.). La partie à gauche, comprenant quatre récipients L, est

(1) Voici la composition de ce liquide : 250 grammes de bichromate de potasse et 350 grammes d'acide sulfurique pour 1 litre d'eau ; faire dissoudre le bichromate dans l'eau chaude ou froide, ajouter doucement l'acide sulfurique en agitant avec une baguette de verre ; on ajoute quelquefois 15 grammes de bisulfate de mercure, dont l'utilité est très contestable.

destinée à la galvanocaustique ; à chaque récipient correspondent quatre zincs et cinq charbons (hauteur 0 m. 09, largeur 0 m. 07, épaisseur 0 m. 003). La partie à droite,

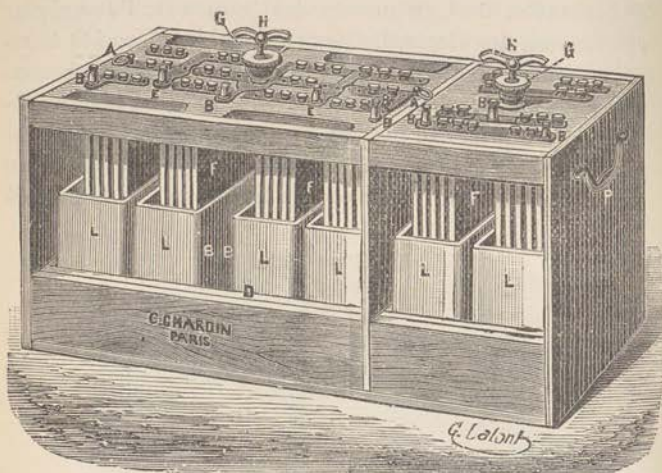


Fig. 75.

comprenant deux récipients est destinée à la lumière ; à chaque récipient correspondent deux zincs et trois charbons (mêmes dimensions que ci-dessus). On peut coupler les deux parties lorsque l'on veut obtenir de grands effets de lumière.

Quels que soient le nombre des zincs et celui des charbons qui les accompagnent pour l'immersion dans le liquide d'un récipient, ce groupement ne constitue qu'un seul élément de quantité, dont la force électromotrice est d'environ 2 volts. Il faut, par conséquent, grouper en tension 2, 3, 4, 6 éléments pour obtenir des forces électromotrices de 4, 6, 8 et 12 volts environ. Cette dernière valeur représente le maximum qui puisse être nécessaire au mé-

decin, lorsqu'il emploie certains instruments, tels que les cystoscopes, ou encore lorsqu'il a besoin de donner une grande intensité lumineuse à une lampe de projection. Pour les usages courants, une force électromotrice de 4 à 6 volts est généralement suffisante ; 2 volts suffisent même pour rougir les petits cautères.

La pile au bichromate compense malheureusement ses avantages relatifs par quelques défauts. Elle n'est pas constante, bien qu'elle soit peu polarisable ; son affaiblissement rapide a pour cause principale la prompte altération du liquide et pour cause accessoire les dépôts d'oxyde de chrome et d'alun de chrome qui peuvent se produire sur les charbons servant d'électrodes positives. Le bichromate de potasse est d'ailleurs sensible aux variations de température ; si le liquide a séjourné dans une enceinte trop froide, il convient de le réchauffer avant la mise en service ; on peut, à cet effet, retirer les récipients en porcelaine et les approcher du feu.

Les appareils que nous avons décrits ci-dessus sont disposés de manière à rendre faciles toutes les manipulations nécessaires pour le nettoyage des électrodes, le remplacement du liquide et les rechanges de zincs ou de charbons. Ces appareils ont l'inconvénient de ne pas être portatifs ; ils doivent s'installer à demeure dans le cabinet ou le laboratoire du praticien.

62. Les accumulateurs. — Les accumulateurs peuvent fournir des courants beaucoup plus constants que ceux des piles au bichromate ; on peut constituer avec eux des batteries portatives ; ce sont là des raisons qui militent sérieusement en faveur de leur emploi.

En se reportant aux considérations exposées au n° 30, on voit clairement que le praticien doit refuser sa confiance aux accumulateurs à formation artificielle (avec

pâtes saturnines rapportées), dont le tempéramment est toujours débile ; il doit sans hésitation accorder la préférence aux accumulateurs au plomb à formation naturelle (1) (type Planté proprement dit), qui possède un tempéramment plus rustique et dont les imperfections primitives n'existent plus aujourd'hui.

Un appareil médical constitué au moyen de l'accumulateur Blot, dit *accumulateur à navettes*, serait, à notre avis, particulièrement recommandable. Voici d'intéressants extraits d'une communication faite par M. d'Arsonval à la Société Internationale des Electriciens le 8 janvier 1896 : « Donnez-moi, disais-je à tous les spécialistes, « un accumulateur rustique qui s'accommodera de tous les « régimes, que je pourrai, au besoin, mettre en court circuit et qui ne laissera à cet exercice ni sa capacité, ni sa « carcasse. C'était, paraît-il, demander l'impossible. « M. Blot me surprit vivement lorsqu'il m'annonça qu'il « avait mon affaire. Rendu défiant par l'expérience, je priai « l'auteur de me confier une batterie de 14 éléments, le « prévenant que j'allais fort malmener son dépôt et qu'il « me fallait un an pour être fixé sur sa valeur. Voilà quatorze mois que dure l'expérience en question ; le résultat m'a à la fois surpris et satisfait au point que je n'ai « pas hésité à présenter le nouveau-né à la Société ». M. d'Arsonval dit ensuite : « La batterie a toujours été « chargée au régime de 25 à 30 ampères, débit maximum « de ma machine Gramme. Si le régime de charge a été à « peu près constant, il n'en est pas de même du régime « de décharge. J'ai demandé à cette batterie des courants

(1) Les machines Gramme et autres ont permis de remédier à la lenteur, autrefois trop grande, de la formation naturelle par charges et décharges successives ; cette question n'intéresse d'ailleurs que le fabricant lui-même, l'acheteur n'a pas à s'en préoccuper.

« dont l'intensité a varié de 20 milliampères à plus de 250
« ampères. Quatre de ces éléments ont été soumis à des
« courts-circuits répétés ayant duré vingt-quatre heures
« pour l'un d'eux et huit jours pour un autre. A part un
« léger allongement des rubans positifs, je n'ai constaté
« aucune détérioration de ces éléments. Chargés de nou-
« veau au refus, ils se sont comportés comme leurs voi-
« sins et continuent leur service normal. Je n'ai pas cons-
« taté de dépôt d'oxyde au fond des vases qui, étant
« simplement recouverts d'huile minérale, contiennent une
« légère couche de poussière provenant du balayage de la
« salle. La force électromotrice de ces éléments est la
« même que celle de leurs congénères (1). Il en est de
« même pour leur capacité utilisable qui oscille entre 127
« et 131 ampères-heure par élément (2) au débit de 10 am-
« pères. Ils conservent très bien leur charge ; les ayant
« chargés à refus le 22 juillet, à mon départ de Paris, j'ai
« pu m'en servir le 20 octobre et encore le 17 novembre
« sans avoir eu besoin de les recharger ». L'accumulateur
Blot présente, par conséquent, une résistance et une élas-
ticité remarquables ; il possède les qualités spécifiques
qu'exige un service irrégulier. Il est vraiment regrettable
que ses fabricants ne construisent pas encore d'appareils
spéciaux pour les applications thérapeutiques ; il leur
serait facile de combler cette lacune de leur industrie.

A défaut de l'accumulateur Blot, le praticien peut recourir à l'accumulateur Chardin qui présente avec lui d'assez grandes analogies.

La figure 76 représente un *appareil de cabinet*, renfermant, dans une boîte en noyer vernis, deux accumulateurs

(1) Soit 2 volts par élément.

(2) Le poids d'un élément étant de 1.500 grammes, la capacité indiquée par M. d'Arsonval est de 15 ampères-heure par kilogramme de plomb.

ayant chacun 0 m. 20 de hauteur, 0 m. 15 de longueur et 0 m. 075 de largeur, pesant chacun 7850 grammes et ayant chacun une capacité de 60 ampères-heure. Cet appareil est catalogué au prix de 125 francs. Les bornes H

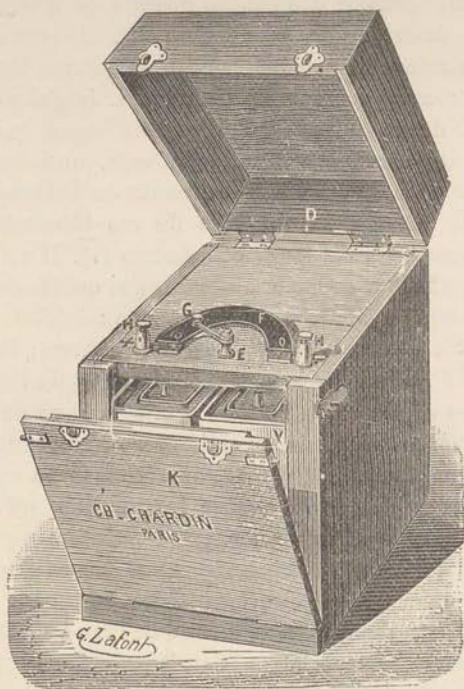


Fig. 76.

servent à la prise du courant ; un combinateur sert à mettre les deux éléments soit en tension soit en quantité ; EG est la manette d'un rhéostat permettant de graduer le courant ; F est une plaque protectrice de ce rhéostat.

La maison Chardin fabrique aussi un *appareil port*

tatif (catalogué au prix de 100 francs) dont les dimensions sont beaucoup plus petites ; chacun des deux accumulateurs a 0 m. 20 de hauteur, 0 m. 15 de longueur, et 0 m. 042 de largeur, pèse 4450 grammes et possède une capacité de 30 ampères-heure.

Le rhéostat est un régulateur à résistance variable permettant de graduer à volonté l'intensité du courant. Il se compose (fig. 77) d'un fil de maillechort E sur lequel s'appuie le frotteur C de la manette AB ; la résistance auxi-

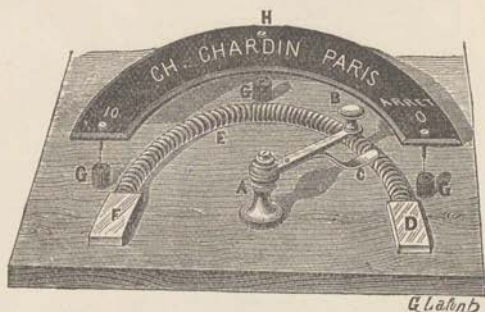


Fig. 77.

liaire que l'on intercale dans le circuit extérieur varie avec la longueur du fil de maillechort qui se trouve comprise entre l'extrémité D et le contact du frotteur C. La plaque de caoutchouc H, dite plaque de garantie, se place sur les points de fixation G pour couvrir le fil E dont la température s'élève beaucoup lorsque le courant passe.

La recharge et l'entretien en charge des accumulateurs peuvent se faire au moyen d'une batterie d'éléments Daniell (au sulfate de cuivre). La figure 78 représente l'appareil que fabrique M. Chardin pour l'alimentation des accumulateurs. La boîte contient trois éléments genre Daniell, conformes au modèle représenté séparément à

droite de la figure ; les vases A sont en terre et renferment les vases poreux E ; trois fils métalliques terminés par des pitons qui s'enfoncent dans une des barres B réunissent par cette barre les trois zincs ou électrodes négatives ; les

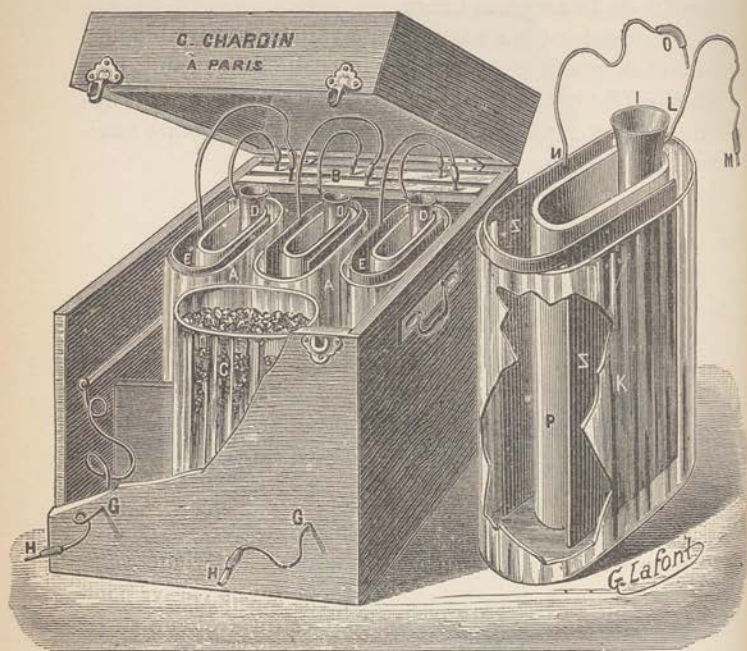


Fig. 78.

trois cuivres D ou électrodes positives sont réunis, de la même manière par l'autre barre B ; on obtient ainsi le groupement en quantité des trois éléments Daniell contenus dans la boîte. Les pitons extérieurs H correspondent aux prises de l'accumulateur ; on leur a donné deux diamètres différents pour rendre impossible le renversement

des pôles. Le vase C contient une réserve de sulfate de cuivre. Cet appareil est catalogué au prix de 45 francs.

63 *Shunts et voltmètres.*— Au lieu de s'imposer l'emploi des batteries de piles ou d'accumulateurs tout installées que les constructeurs lui offrent, le médecin peut, s'il le préfère, grouper lui-même et installer à sa guise dans son cabinet les éléments des piles primaires ou secondaires dont l'emploi doit lui être utile. Cette solution a l'avantage d'être plus économique que la précédente, mais elle exige de la part du praticien des connaissances techniques plus étendues en électricité.

Quelle que soit la solution adoptée, il est indispensable d'avoir à sa disposition quelques appareils de mesure dont nous allons nous occuper.

Nous avons indiqué, dans le paragraphe relatif à la galvanisation et à l'électrolyse, la mesure de l'intensité du courant au moyen d'un galvanomètre apériodique. L'instrument dont nous avons conseillé l'emploi limite ses indications à l'intensité maximum de 50 milliampères ; il paraît donc impossible de l'employer pour la mesure d'intensités supérieure ; mais il est heureusement facile d'étendre considérablement les limites de l'usage d'un galvanomètre en le munissant de *shunts*. On donne ce nom de shunt à une dérivation prise sur les bornes du galvanomètre et permettant de ne le faire actionner que par une fraction déterminée du courant. Soit g la résistance du galvanomètre et s celle du shunt ; d'après la loi des courants dérivés l'intensité I du courant total se divisera en deux parties, inversement proportionnelles à ces résistances g et s , dont la première égale à $\frac{Is}{g+s}$ passera par le galvanomètre, tandis que la seconde égale à $\frac{Ig}{g+s}$ passera

par le shunt ; au lieu d'avoir à indiquer directement l'intensité I , l'aiguille du galvanomètre n'aura à indiquer que l'intensité plus faible $\frac{Is}{g+s}$, en sorte qu'il nous suffira de multiplier par le facteur constant $\frac{g+s}{s}$ (appelé *pouvoir multiplicateur du shunt*) l'intensité partielle

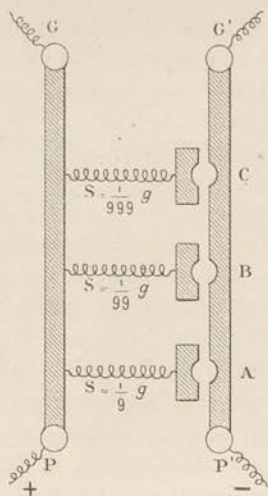


Fig. 79.

indiquée par le galvanomètre pour obtenir l'intensité totale I . Si la résistance s du shunt est 9, 99, 999, fois plus petite que la résistance g du galvanomètre, le pouvoir multiplicateur est de 10, 100, 1.000, en sorte que l'indication d'un milliampère correspond à 10, 100, 1.000 milliampères. Le schéma ci-contre (fig. 79) indique en principe les dispositions du shunt ; les barres conductrices PG et $P'G'$, reliées chacune à un pôle de la pile et à une borne

du galvanomètre, sont munies de trois dériviations dont les résistances respectives sont $\frac{I}{9}$, $\frac{I}{99}$ et $\frac{I}{999}$ de la résistance g du galvanomètre ; chacune de ces dériviations ouvertes peut être fermée à volonté au moyen d'une cheville métallique que l'on enfonce en A, en B ou en C. Ces considérations suffisent pour démontrer que l'emploi des

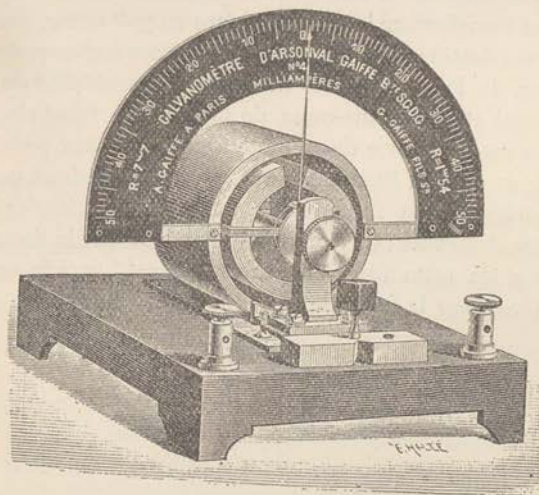


Fig. 80.

shunts permet de multiplier les services que peut rendre un galvanomètre. La figure 80 représente un galvanomètre d'Arsonval-Gaiffe muni d'un shunt à simple effet ; la résistance de ce shunt est de 1 ohm 54, cinq fois plus faible que celle du galvanomètre égale à 7 ohms 70 ; il en résulte que le pouvoir multiplicateur est égal à 6 ; dans la figure, le zéro est placé au milieu de la division en milli-

ampères, de façon que l'on puisse lire aussi bien à gauche qu'à droite lorsqu'on renverse le courant ; on doublerait la sensibilité de l'appareil en plaçant le zéro à l'une des extrémités de la division, mais alors l'appareil ne pourrait pas servir avec les batteries à collecteur double.

L'adjonction d'un shunt (faible résistance en dérivation) permet donc d'augmenter la puissance d'un galvanomètre. Avec l'adjonction d'une grande résistance en dérivation, on peut transformer le galvanomètre en *voltmètre*, nouvel appareil destiné à la mesure des forces électromotrices (au lieu de la mesure des intensités. Considérons un circuit fermé et proposons-nous de mesurer la force électromotrice ou différence de potentiel entre les deux points A et B de ce circuit. Si nous ajoutons entre ces deux points une dérivation, la force électromotrice dont il s'agit se trouvera diminuée; on trouve par le calcul que la nouvelle valeur e' de cette force électromotrice est liée à la valeur primitive e par la formule

$$e' = e \frac{R}{R + \left(1 - \frac{r}{\rho}\right) r}$$

dans laquelle on désigne

par ρ la résistance totale (intérieure et extérieure) du circuit conducteur,

par r la partie de cette résistance totale qui correspond au segment AB du circuit extérieur

et par R la résistance de la dérivation.

Cette formule montre que si la résistance R de la dérivation est considérable relativement à r , la différence entre e' et e devient négligeable, en sorte que l'adjonction de la dérivation ne modifie pas sensiblement la force électromotrice e qu'il s'agit de mesurer. Nous pouvons donc obtenir

la valeur de cette force électromotrice en multipliant la résistance de la dérivation par l'intensité du courant qui la traverse ; si cette dérivation contient comme partie intégrante le fil enroulé sur le cadre mobile d'un *galvanomètre*, l'aiguille de cet appareil, au lieu d'indiquer l'intensité du courant pourra indiquer la force électromotrice e , qui est proportionnelle à cette intensité ; la graduation sera faite en volts et notre appareil deviendra un *voltmètre*. Supposons, pour fixer les idées, que la dérivation ait une résistance de 1000 ohms et que le galvanomètre soit gradué en milliampères ; la formule d'Ohm.

$$e = RI,$$

montre que le nombre des milliampères indiqué pour l'intensité du courant sera précisément le nombre des volts de la force électromotrice. Avec 100 ohms de résistance, on ferait correspondre le milliampère au dixième de volt.

Le voltmètre à grande résistance peut servir aussi à mesurer, à un instant quelconque, la force électromotrice d'une batterie de piles ou d'accumulateurs. Il suffit pour cela de fermer le circuit de cette batterie avec la résistance de l'appareil. Soit E la force électromotrice de la batterie, r sa résistance intérieure, R la résistance du voltmètre et I l'intensité du courant obtenu ; on a exactement

$$E = I (R + r) ;$$

mais comme r est négligeable devant R , on peut, sans erreur sensible, remplacer cette formule par

$$E = IR ;$$

l'évaluation de la force électromotrice se déduit donc sans difficulté de l'indication galvanométrique de l'intensité du courant. Cette méthode permet de constater le degré d'af-

faiblissement qu'a subi une batterie de piles ou d'accumulateurs au bout d'une durée quelconque de mise en service.

64. Mesure des résistances. — Une des méthodes les plus usitées pour la mesure des résistances électriques est celle du *pont de Wheatstone*. Considérons (fig. 81) un système de conducteurs formant les quatre côtés d'un

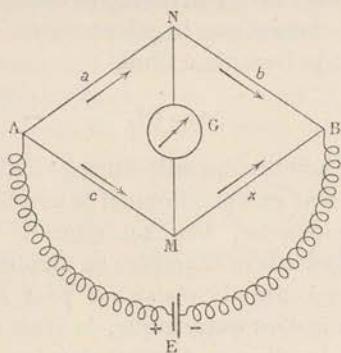


Fig. 81.

parallélogramme AMBN. Les deux côtés AN et BN, appelés *branches de proportion*, ont des résistances respectives connues et fixes a et b ; le côté MB est constitué par la résistance inconnue x qu'il s'agit de mesurer ; enfin le côté AM, appelé *branche de comparaison* est constitué par une résistance que l'opérateur peut faire varier à son gré en ayant constamment sous les yeux l'indication de sa valeur. Cela posé, faisons entrer le parallélogramme, par les deux sommets opposés A et B, dans le circuit extérieur d'une source d'électricité (pile ou dynamo). Installons d'ailleurs entre les deux autres sommets M et N un conducteur muni d'un galvanomètre G. Pour que le courant envoyé

par la pile ne fasse pas dévier l'aiguille du galvanomètre, il faut et il suffit que les valeurs du potentiel en M et en N soient égales entre elles ; on arrive à remplir cette condition en faisant acquérir par tâtonnement à la résistance facultative de la branche de comparaison AM la valeur appropriée c . On démontre aisément par le calcul que l'on a alors

$$x = \frac{b}{a} c,$$

formule qui donne la valeur de la résistance cherchée x . Cette méthode consiste à jeter entre les deux points M et N un *pont* sur lequel le courant ne doit pas circuler ; de là vient le nom de *pont de Wheatstone*.

Remplaçons la ligne brisée ANB par une ligne droite (fig. 82), le long de laquelle puisse se déplacer l'extrémité

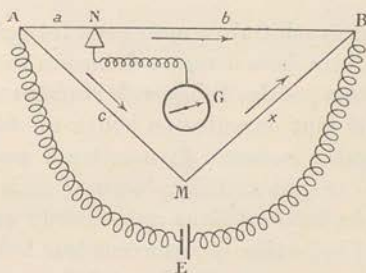


Fig. 82.

N de la branche du galvanomètre. Ce fil rectiligne AB étant supposé cylindrique et homogène, en métal assez peu conducteur comme le maillechort, les deux résistances a et b , dont la somme reste constante et égale à la résistance totale du fil métallique, seront respectivement proportionnelles aux longueurs AN et BN, en sorte que nous pour-

rons faire varier à volonté le rapport $\frac{b}{a}$ par le déplacement du curseur N. En donnant à ce curseur la position qui empêche le courant de traverser le galvanomètre, nous obtiendrons la valeur de la résistance x par la formule

$$x = \frac{b}{a} c = \frac{BN}{AN} c.$$

Une règle divisée disposée parallèlement au fil AB et très près de lui donnera immédiatement les mesures des longueurs BN et AN ; il suffit de multiplier la résistance connue c par le rapport de ces deux mesures pour obtenir la résistance x .

Ces figures schématiques 81 et 82 rendent aisément compréhensibles le mécanisme et la théorie du pont de Wheatstone, mais nous devons y ajouter des explications complémentaires.

Les résistances arbitraires mais connues qu'il est nécessaire d'introduire dans diverses branches sont ordinairement constituées par des *bobines de résistance*. Pour faire une bobine, il faut enrouler en hélice un fil conducteur muni d'une gaine isolante, de manière à concentrer une grande longueur sous un faible volume ; mais nous savons que l'envoi du courant dans ce solénoïde engendre des phénomènes d'induction qui exercent leur influence sur la résistance apparente du fil. Comme il est indispensable qu'une bobine de résistance soit inaccessible à l'induction, on a recours à un procédé bien simple pour lui donner cette immunité ; il suffit de replier le fil sur lui-même, en son milieu, de manière à le doubler sur une demi-longueur, avant de faire l'enroulement ; c'est ce qu'indique schématiquement la figure 83. Les constructeurs fabriquent des bobines dont la résistance s'élève jusqu'à 5000 ohms.

Cela posé, constituons une branche du pont de Wheats-

tone au moyen d'une barre de cuivre ST, dont la résistance

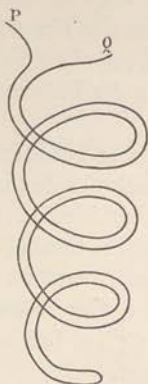


Fig. 83.

soit assez faible pour être négligeable (figure 84). Cette branche doit présenter quelques solutions de continuité,

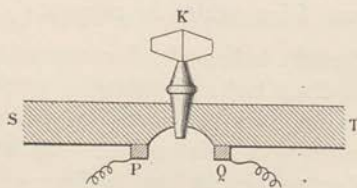


Fig. 84.

analogues à celle qu'indique la figure et qui peut être comblée par l'introduction d'une clé métallique K ; les deux petites bornes en cuivre P et Q sont destinées à recevoir les deux extrémités du fil de la bobine de résistance ci-dessus décrite. Il suffit d'enlever la clé K pour introduire dans la branche de pont ST la résistance de la bobine.

On renferme habituellement plusieurs bobines de résis-

tance dans une boîte spéciale appelée *boîte de résistance*, munie des connexions nécessaires pour que l'on puisse faire à volonté entrer dans le circuit tout ou partie de ces bobines. Si l'on dispose, par exemple, d'une *boîte à décade*, contenant trois séries de dix bobines, de manière que l'on ait

dans la première série 10 bobines d'un ohm,

dans la seconde, 10 bobines de dix ohms,

dans la troisième, 10 bobines de cent ohms ;

on pourra, par l'emploi rationnel des clés de fermeture, constituer toute résistance ayant un nombre entier d'ohms compris entre 1 et 1110. Ces boîtes de résistance coûtent malheureusement cher ; les bobines qu'elles renferment sont en fil de maillechort.

Supposons, pour fixer les idées, que chacune des branches de proportion AN et NB du pont de Wheatstone (fig. 81) soit munie d'une boîte de résistance contenant trois bobines valant respectivement 10, 100 et 1000 ohms ;

nous pourrons faire varier le rapport $\frac{b}{a}$ depuis $\frac{1}{100}$ jusqu'à 100. Quant à la branche de comparaison c , elle devra être munie d'une boîte de résistance à décade, permettant de faire varier ohm par ohm la résistance auxiliaire destinée à équilibrer la résistance inconnue x . Dans le cas fréquent où l'on ne pourra pas réaliser exactement cet équilibre, on constatera que la valeur nécessaire de la résistance auxiliaire c est comprise entre c et $c + 1$ ohms ; les déviations en sens contraires du galvanomètre correspondant à ces deux nombres étant respectivement représentées par les angles α et α' , on calculera x par la formule

$$x = \frac{b}{a} \left(c + \frac{\alpha}{\alpha + \alpha'} \right)$$

63. *Galvanocautères thermiques*. — Le galvanocautère

thermique présente, comparativement au thermocautère Paquelin, des avantages relatifs considérables. Il peut affecter les formes les plus diverses et se réduire à une *anse*, simple fil de platine dont on fait à volonté varier la longueur ; il s'introduit à froid dans l'organe à opérer, s'échauffe presque instantanément au moment fixé par le chirurgien et n'émet qu'un faible rayonnement calorifique ; on peut arrêter instantanément son action par la rupture du courant électrique et le retirer froid après l'opération.

L'instrument porté au rouge, anse ou couteau, doit appuyer sur les tissus, avant de les séparer, afin que l'action du feu puisse toujours produire l'hémostase par la formation de caillots hémostatiques aux extrémités des vaisseaux coupés. Lorsque l'on opère avec une anse, on commence par pédiculer la partie à sectionner, puis on envoie le courant pendant quelques secondes ; aussitôt qu'un crépitement se fait entendre ou qu'il se dégage un peu de fumée, on doit arrêter le courant et serrer de nouveau à froid le pédicule avant de continuer la cautérisation.

Il y aurait de grands inconvénients à porter la température du cautère au-delà du rouge vif. L'incandescence blanche éblouissante est le précurseur de la fusion du platine ; l'opérateur doit toujours la faire cesser par l'ouverture immédiate du courant. L'introduction d'un rhéostat dans le circuit fournit d'ailleurs un moyen facile de diminuer ou d'augmenter à volonté l'intensité du courant.

Les galvanocautères ont des dimensions et des formes très variées ; il y en a de spéciaux pour le larynx, le pharynx, les amygdales, la bouche, le nez, les oreilles et les yeux ; d'autres sont destinés à la gynécologie, d'autres aux pointes de feu. Pour avoir une énumération complète et détaillée de ces instruments, on peut se reporter aux catalogues des constructeurs en renom. Voici quelques descriptions utiles.

La figure 85 représente un manche porte-cautères pour toutes opérations. Les cautères se fixent aux bornes à vis A et E ; les fils conducteurs s'attachent en K. La pédale B D permet de fermer le courant lorsque l'on appuie sur l'un des boutons B ou D, et d'ouvrir ce courant lorsqu'on laisse



Fig. 85.

cette pédale se relever ; le chirurgien peut ainsi rendre intermittente l'action du cautère. Si l'on veut obtenir une action continue d'une certaine durée, il suffit de fermer le courant d'une manière fixe au moyen du verrou C, qui peut se mouvoir parallèlement au manche. Le guichet G sert à examiner et nettoyer au besoin le mécanisme intérieur.

La figure 86 représente un cautère pour gynécologie monté sur branches gainées très résistantes ; la longueur



Fig. 86.

totale est de 18 centimètres. La cautérisation peut être portée jusqu'au fond de l'utérus. On peut adopter diverses formes pour la partie terminale.

Les cautères pour le larynx, le pharynx, les amygdales, les oreilles et le nez sont montés sur des branches diversement courbées ; on conçoit que les formes de ces cautères sont assez variées. Les cautères employés pour les affections des yeux doivent être en fils de platine très fins,

d'un cinquième de millimètre de diamètre, par exemple ; ils peuvent être montés sur tige comme l'indique la figure 87.



Fig. 87.



Fig. 88.

Pour les pointes de feu, on peut employer un cautère à pointes mousses multiples et écartées (fig. 88).

Décrivons maintenant une *anse galvanique*, par exemple celle du docteur Ruault. Le manche, droit ou en forme de crosse (fig. 89) est muni d'un bouton interrupteur A ; les points d'attache des cordons d'amenée du courant (non indiqués sur la figure) se trouvent à l'extrémité du manche. Le poussoir D permet d'agir sur les tiges mobiles et conductrices E K pour les faire glisser dans la masse isolante perforée C. Les bornes de serrage H servent à fixer au manche le guide-anse M, dont les fils de platine G sont fixés aux bornes de serrage F. Il est clair que la poussée en avant de la partie M O fait diminuer le diamètre de l'anse P sans lui faire courir le risque d'être déplacée (1).

(1) C'est ici le fil de platine qui reste fixe, le guide-anse étant mobile. Le contraire a lieu dans les autres systèmes d'anses galvaniques.

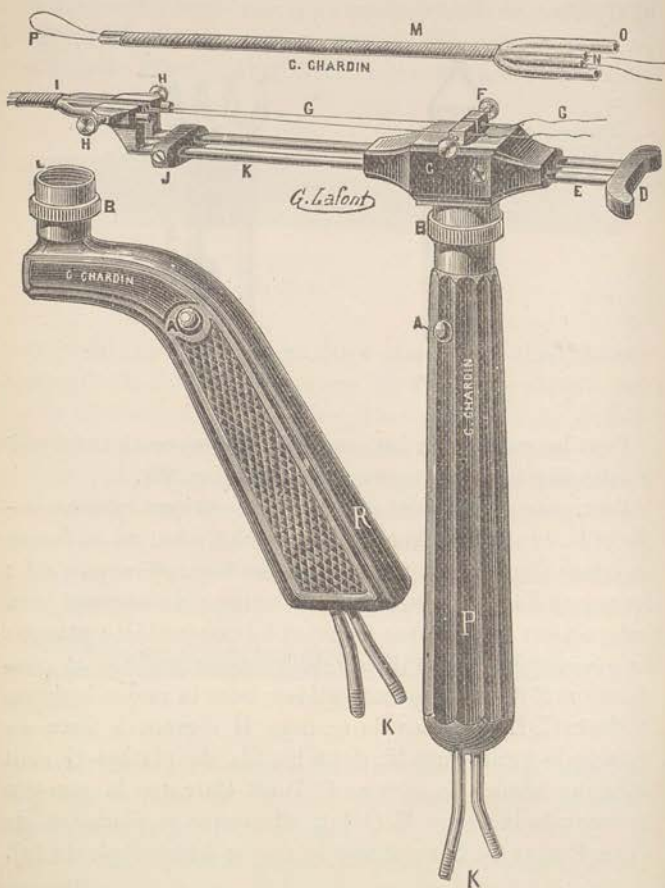


Fig. 89.

66. *Endoscopes électriques.* — L'emploi des lampes à incandescence pour éclairer les cavités profondes de l'organisme rend aujourd'hui de précieux services. Les ingénieuses inventions de M. Trouvé ont grandement contribué aux progrès de l'endoscopie, en permettant de porter le foyer lumineux à l'intérieur de l'organe à examiner ; c'est un puissant moyen d'exploration et d'investigation que cette innovation a donné aux praticiens. Outre qu'elle permet d'obtenir une grande intensité lumineuse avec un foyer de faibles dimensions, la lampe à incandescence a le précieux avantage de ne donner que peu de rayonnement calorifique. On connaît la curieuse expérience qui consiste à faire avaler par un brochet, séjournant dans un aquarium, une lampe à incandescence microscopique, qui rend son corps translucide sans trop l'incommoder par la chaleur qu'elle émet.

La figure 90 représente un *photophore électrique* avec

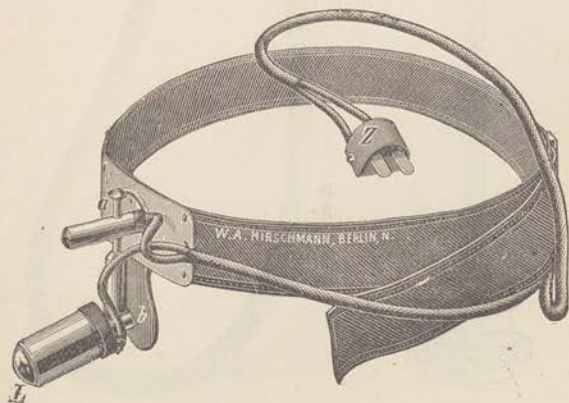


Fig. 90.

bandeau frontal. Cette lampe se compose de deux tubes s'adaptant l'un sur l'autre ; le tube intérieur contient la

lampe à incandescence et le tube extérieur contient la len-

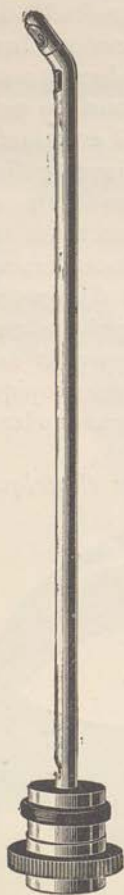


Fig. 91.

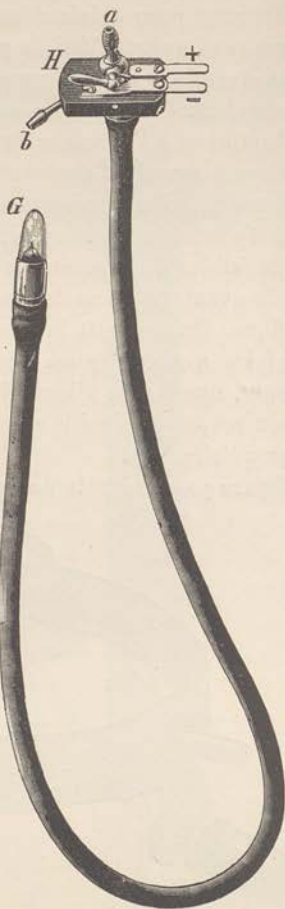


Fig. 92.

tille L qui concentre les rayons lumineux dans un faisceau presque cylindrique. Le support de cette lampe fixé au

bandeau frontal peut se mouvoir autour des charnières *a* et *b*, de manière que l'opérateur puisse orienter à son gré le faisceau lumineux. Cet appareil qui fonctionne avec une tension de 4 à 6 volts est destiné à l'éclairage de l'œil, de l'oreille, du nez, du larynx et du vagin.

Le *cystoscope* (fig. 91) est un instrument destiné à l'éclairage et à l'examen de la vessie tout entière. Il fonctionne avec une tension de 6 à 7 volts. On lui donne un diamètre correspondant à un des numéros 15, 18, 21 de la filière de Charrière. La lampe et sa monture forment le bec de l'instrument, bec aussi court que possible ; dans l'intérieur du tube, un peu en avant du coude, se trouve un prisme à réflexion totale qui permet de regarder par l'oculaire l'image de la partie à examiner.

Le *gastro-diaphanoscope* (fig. 92) sert à obtenir la translucidité de l'estomac. Cet instrument s'introduit comme une sonde œsophagienne élastique ; on remplit l'estomac d'eau qui sort par une ouverture latérale de la sonde. La lampe à incandescence *G* exige une tension de 6 à 7 volts⁽¹⁾. On emploie un instrument tout à fait analogue pour l'éclairage de l'intestin ; dans ce cas, l'eau sort par une ouverture de la capsule en verre qui recouvre la lampe.

Les constructeurs fabriquent aussi un grand nombre d'appareils spéciaux, laryngoscopes, abaisse-langue lumineux, rhinoscopes, otoscopes, vaginoscopes, diaphanoscopes divers. Nous nous bornons à mentionner ces appareils, sans en donner la description.

(1) Les figures 90, 91 et 92 sont empruntées au catalogue de la maison Hirschmann et Gudendag.

The first part of the report is devoted to a general description of the country and its resources. It is found that the country is well adapted for the culture of cotton, sugar, and other tropical crops. The soil is fertile and the climate is healthy. The population is increasing rapidly and the country is becoming more and more civilized. The government is well organized and the laws are strictly enforced. The people are industrious and enterprising. The country is well supplied with food and clothing. The roads are good and the communication is easy. The country is a fine example of a well-governed and prosperous colony.

The second part of the report is devoted to a description of the various branches of industry and commerce. It is found that the country is well supplied with all the necessaries of life. The people are engaged in various occupations, such as agriculture, commerce, and industry. The country is well supplied with food and clothing. The roads are good and the communication is easy. The country is a fine example of a well-governed and prosperous colony.

The third part of the report is devoted to a description of the various branches of industry and commerce. It is found that the country is well supplied with all the necessaries of life. The people are engaged in various occupations, such as agriculture, commerce, and industry. The country is well supplied with food and clothing. The roads are good and the communication is easy. The country is a fine example of a well-governed and prosperous colony.

The fourth part of the report is devoted to a description of the various branches of industry and commerce. It is found that the country is well supplied with all the necessaries of life. The people are engaged in various occupations, such as agriculture, commerce, and industry. The country is well supplied with food and clothing. The roads are good and the communication is easy. The country is a fine example of a well-governed and prosperous colony.

Considérations préliminaires. — Bobines médicales. — Rhéostat à liquide. — Interrupteurs automatiques. — Galvano-faradisation. — Appareils magnéto-faradiques. — Courants sinusoïdaux. — Courants triphasés. — Transformateur inverseur. — Excitateurs faradiques.

67. Considérations préliminaires. — On donne spécialement le nom de *courant faradique* au courant induit qui prend naissance dans le circuit secondaire d'une bobine de Ruhmkorff. Cette épithète de *faradique*, adoptée en souvenir de l'illustre physicien auquel est due la découverte des phénomènes d'induction, devrait, à notre avis, être généralisée pour ce motif et s'étendre à tout courant variable dont la production repose sur l'induction magnétique ou électrodynamique. On pourrait alors désigner par le mot *faradisation* l'emploi médical des courants intermittents en général.

Ayant précédemment indiqué la nature du courant de la bobine de Ruhmkorff (n° 43), nous allons seulement rappeler ici les faits essentiels. Le courant induit de *fermeture* est *inverse*, c'est-à-dire en sens contraire du courant primaire, tandis que le courant induit de *rupture* est *direct* (fig. 93). La quantité d'électricité induite est la même dans ces deux courants, mais le courant induit de rupture a moins de durée et plus d'intensité que celui de fermeture; il en résulte que les effets du premier de ces courants sur l'organisme sont plus puissants que ceux du second; la différence de ces effets est assez grande pour que les électrophysiologistes regardent souvent comme

négligeable l'action du courant induit de fermeture. Si l'on introduit dans le circuit secondaire un excitateur dont les deux boules puissent recevoir un écartement variable

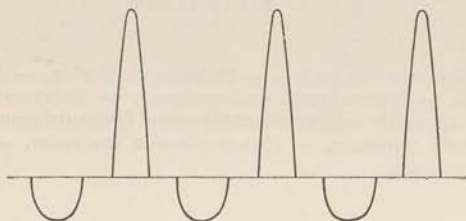


Fig. 93.

à volonté, on augmentera d'autant plus la prédominance du courant induit de rupture que l'on rendra plus grande la longueur de l'étincelle jaillissant entre les deux boules ; le courant inverse, dont la force électromotrice est moindre que celle du courant direct, finira même par disparaître complètement pour un écartement déterminé, en sorte que l'intervalle d'air compris entre les deux boules de l'excitateur se comportera comme une sorte de filtre arrêtant

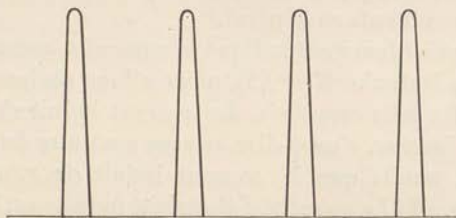


Fig. 94.

les courants inverses. Ainsi réduit aux ondes induites correspondant aux ruptures périodiques du circuit primaire, le courant induit, représenté graphiquement par la figure 94, peut être assimilé à un courant voltaïque

saccadé, de haute tension, dont les courts passages seraient séparés par des intervalles de repos relativement longs. C'est en considérant seulement les courants induits de rupture que l'on est conduit à attribuer un pôle positif et un pôle négatif au circuit secondaire de la bobine de Ruhmkorff.

Le choix d'une bobine destinée aux usages thérapeutiques est assez difficile à faire d'après les indications des praticiens, parce que ces indications sont peu concordantes. Le Congrès des Electriciens de 1881 a recommandé le type de bobine que nous allons décrire et qui doit être actionné par un élément Daniell.

Bobine primaire : longueur 88 millimètres, diamètre extérieur 36 ; composée de 300 tours, répartis sur quatre couches de fil de cuivre de 1 mm. de diamètre. Nous trouvons, d'après ces données, que le fil primaire a environ 30 mètres de longueur et 0,60 ohm de résistance

Bobine secondaire : longueur 65 millimètres, diamètre extérieur 68 ; composée de 5.000 tours, répartis sur quatre couches de fil de cuivre de 0 mm. 25 de diamètre. Nous trouvons, d'après ces données, que le fil secondaire a environ 875 mètres de longueur et 283 ohms de résistance.

La cavité cylindrique, intérieure à la bobine primaire, dans laquelle doit se placer le noyau de fer doux a environ 25 millimètres de diamètre.

Aucune indication n'est donnée au sujet du trembleur ; mais nous pouvons rappeler que, d'après la plupart des praticiens, il convient que le nombre des vibrations par seconde, soit inférieur à 80.

Il est évident que le courant induit de cette bobine doit avoir une haute tension et un faible débit. Au Congrès de l'Association Française pour l'avancement des Sciences tenu à Tunis en 1896, M. le docteur Bordier a émis cet

avis que le fil de la bobine secondaire devrait être gros et non pas fin ; d'après ce praticien distingué, le fil induit de la bobine que nous venons de décrire devrait avoir un diamètre de 1 mm. 2 à 1 mm. 3 (plus grand que celui du fil primaire) et une longueur de 60 à 100 mètres seulement ; ce serait là le moyen d'obtenir de bonnes contractions musculaires sans faire souffrir le patient. Nos lecteurs ne manqueront pas de remarquer que la bobine ainsi modifiée donnerait un courant induit dont la tension ne serait certainement pas supérieure à celle du courant primaire ; il serait, par conséquent, plus pratique de renoncer à l'emploi de ce transformateur impuissant, et d'utiliser directement le courant de la pile rendu intermittent par un interrupteur périodique quelconque.

On peut dans une bobine d'induction destinée aux applications médicales supprimer le condensateur, si l'on veut rendre moins brusque l'excitation produite par le courant induit direct. Si la tension secondaire prise dans sa plénitude est trop élevée, on y remédie d'une manière simple en adjoignant à la bobine un *graduateur* qui permet de la réduire à volonté. Deux dispositions principales permettent d'atteindre ce but. La première, réalisée dans les *appareils à chariot*, dont le type est dû à Dubois-Raymond, consiste à rendre la bobine induite mobile sur la primaire, de manière à faire varier à volonté le nombre des spires soumises à l'action inductrice. La seconde, imaginée par Duchenne de Boulogne, consiste à glisser entre le circuit primaire et le noyau de fer doux, un tube de cuivre, qui affaiblit l'action inductrice en absorbant une partie de l'énergie électrique sous forme de courants de Foucault. L'adjonction d'un *graduateur* à une bobine de Ruhmkorff permet au médecin d'obtenir par un tâtonnement méthodique la tension secondaire qui lui paraît strictement utile ; il n'y a pas alors d'inconvé-

nient à ce que la bobine puisse donner trop de tension, il y en aurait à ce qu'elle ne fut pas capable d'en donner assez.

Les contractions musculaires que produisent les courants faradiques sont plus fortes lorsque le courant agit sur le nerf moteur d'un muscle que lorsque ce courant agit sur le muscle lui-même. Le rapide passage d'un courant induit direct provoque une secousse musculaire simple dont la représentation graphique, en prenant le temps pour abscisse et la contraction du muscle pour ordonnée, est donnée par une courbe analogue à celle qu'indique la figure 95, la montée est plus rapide que la

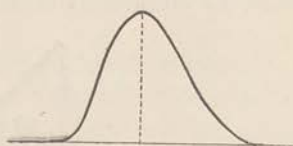


Fig. 95.

chute, la durée totale est généralement inférieure à un dixième de seconde (1). La succession rapide de plusieurs excitations, ne laissant pas au muscle le temps de se relâcher, produit cet état particulier, auquel on donne le nom de *tétanos physiologique* : le muscle conserve un certain degré de raccourcissement, autour duquel il oscille, pour ainsi dire, par un tremblement convulsif. La tétanisation d'un muscle exige pour se produire une vingtaine d'excitations par seconde ; si l'on prolonge suffisamment l'application du courant, le muscle finit par se relâcher, par suite de fatigue. La contraction tétanique augmente

(1) On divise théoriquement la secousse en trois périodes : 1^o Excitation latente, de 0''004 à 0''01 ; 2^o Energie croissante, de 0''03 à 0''04 ; 3^o Energie décroissante, de 0''04 à 0''06.

avec le nombre des vibrations, mais seulement jusqu'à une certaine limite qui, d'après M. d'Arsonval, est comprise entre 2.500 et 5.000 excitations par seconde.

Quant aux effets sensitifs du courant faradique, ils varient suivant l'intensité de ce courant depuis le picotement et le fourmillement jusqu'à une intolérable sensation de brûlure. On provoque facilement les phénomènes vasomoteurs.

68. *Bobines médicales.* — Voici, à titre de renseignements, quelques-uns des types de bobines d'induction que divers constructeurs tiennent à la disposition des médecins.

Figure 96. Appareil à glissière du docteur Du Bois Rey-

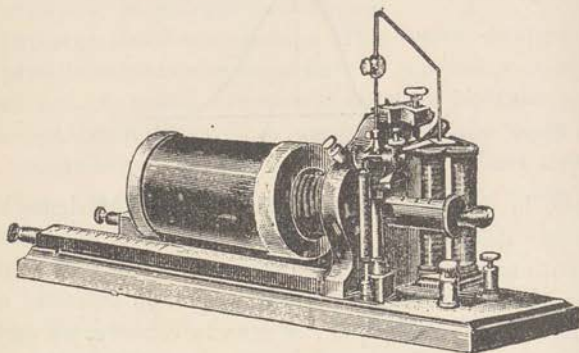


Fig. 96.

mond, avec régulateur interrupteur à boules ; on peut capter à volonté le courant primaire ou le courant secondaire (Maison Genisson et Vaast, prix indiqué par le catalogue 65 francs).

L'appareil doit être actionné par un élément Leclanché, dont la force électromotrice est d'environ 1,45 volt.

Figure 97. Appareil à chariot (petit modèle), dont la

coulisse est divisée en deux parties pouvant se replier l'une sur l'autre afin que l'on puisse renfermer l'appareil dans

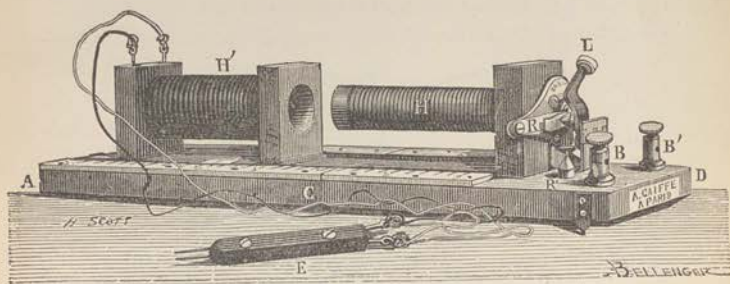


Fig. 97.

une boîte de faible volume. Les bornes B et B' servent à amener le courant d'une pile au chlorure d'argent dont la force électromotrice est très voisine d'un volt. (Maison Gaiffe, prix indiqué par le catalogue 55 francs).

Figure 98. Appareil ayant comme graduateur un tube de

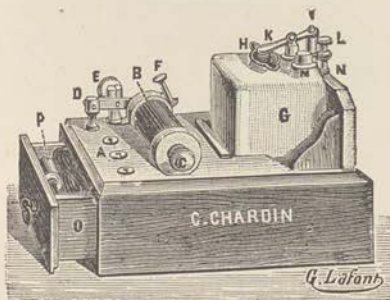


Fig. 98.

cuiivre C qui se glisse entre la bobine primaire et le noyau de fer doux. Le trembleur, dont le ressort est attaché en D,

peut être immobilisé en agissant sur le bouton E ; dans ce cas le bouton F permet de produire à volonté les intermittences. Les bornes A servent à recueillir le courant induit. La bobine primaire reçoit le courant d'une pile au bichro-

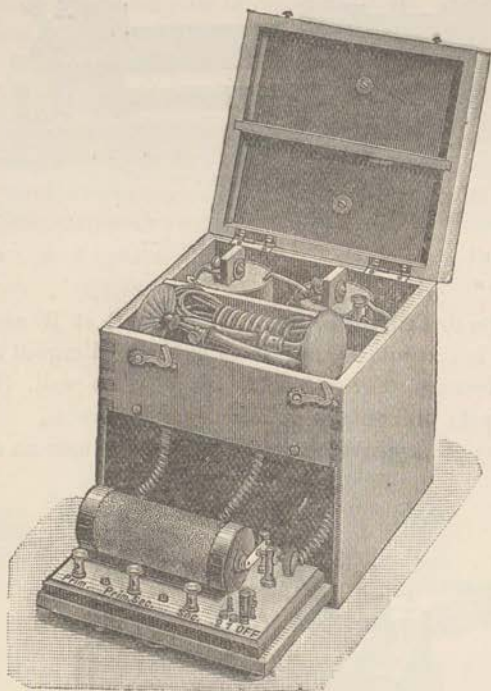


Fig. 99.

mate G, ayant une force électromotrice d'environ 2 volts. Pour mettre cette pile en activité il suffit de prendre la cathode de zinc L et de l'immerger dans le liquide par l'orifice que ferme le bouchon en caoutchouc N. (Maison Charadin, prix indiqué par le catalogue 20 francs). Un appareil

portatif du même genre, renfermé dans une boîte en acajou, est coté 35 francs.

Figure 99. Appareil transportable, renfermé dans une boîte en noyer verni. La bobine primaire est actionnée par deux piles sèches qu'un commutateur permet de prendre ensemble ou séparément. Une case spéciale renferme les deux manches et diverses électrodes nécessaires pour les applications médicales du courant (Maison Richard, Ch. Heller et C^{ie}, prix indiqué par le catalogue 50 francs).

69. *Rhéostat à liquide*. — Les moyens de graduation du courant faradique qui résultent de l'emploi du chariot ou de celui du tube de cuivre ont été critiqués, comme insuffisants, par quelques praticiens dont la sévérité sur ce point est peut être excessive. Quoi qu'il en soit, nous croyons

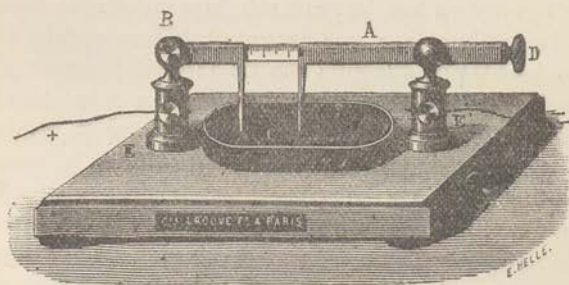


Fig. 100.

utile d'indiquer, comme moyen de graduation *extérieur à la bobine*, l'emploi d'un rhéostat dont la résistance doit être assez considérable. Dans le *rhéostat à liquide de M. Trouvé* (fig. 100), la résistance variable est représentée par l'épaisseur d'un milieu liquide ; deux bras métalliques coudés A et B, glissant à frottement dans les deux colonnettes E et E', qui s'introduisent au moyen de leurs bornes

dans le circuit extérieur de la bobine induite, baignent leurs tiges verticales dans le liquide peu conducteur que contient la cuve C ; l'écartement de ces bras règle et mesure la résistance auxiliaire ainsi introduite dans le circuit. On peut ainsi faire varier en plus ou en moins l'intensité du courant ; il n'est pas nécessaire que la bobine soit munie d'un graduateur.

M. Trouvé, dont la grande ingéniosité est si connue, a imaginé un autre rhéostat très simple et bien facile à construire. En mélangeant de la poudre fine de charbon de cornue avec la moitié de son poids de gélatine chaude ou colle forte, on forme une sorte de galette de deux à trois millimètres d'épaisseur, dans laquelle on découpe à l'emporte-pièce des rondelles d'environ 25 millimètres de diamètre ; ces disques sont ensuite empilés dans un tube de verre fermé à un bout par une tubulure métallique simple et à l'autre bout par une seconde tubulure munie d'un écrou dans lequel s'engage une vis destinée à presser plus ou moins fortement les disques de charbon et gélatine les uns contre les autres. Ce rhéostat est basé sur la diminution considérable que la pression fait subir à la grande résistance qu'offre le mauvais contact de corps superposés. Un appareil de ce genre permet d'introduire dans le circuit une résistance variable depuis 5.000 jusqu'à 20.000 ohms, en passant par toutes les valeurs intermédiaires ; il est peu coûteux et très portatif.

70. Interrupteurs automatiques. — Le trembleur de Neef, pour l'interruption périodique du courant primaire d'une bobine d'induction, se compose ordinairement d'une lame élastique fixée par une de ses extrémités et terminée par une petite masse de fer doux, qui oscille entre le bout du noyau de fer inducteur et une pointe métallique, servant d'enclume, dont l'extrémité est platinée afin de diminuer

ses chances de fusion. GaiFFE a modifié cette forme de l'interrupteur en remplaçant la lame élastique par une lame de fer mobile autour d'un axe horizontal et s'appuyant au repos sur l'une des branches d'un levier coudé que l'on peut faire tourner autour d'un axe horizontal ; il suffit de faire varier la position de ce levier pour augmenter ou pour diminuer la course de la lame et, par suite, le nombre des intermittences par seconde. On arrive, en somme, à donner des limites plus ou moins étendues à la fréquence des interruptions, mais sans régler ni déterminer exactement leur nombre.

M. Trouvé munit ses appareils d'induction d'un très ingénieux interrupteur spécial, dit à *pendule horizontale extensible*, qui permet au praticien de faire varier, à volonté et avec une grande exactitude le nombre des inter-

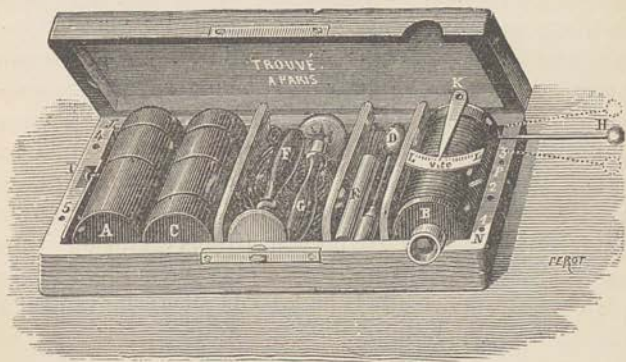


Fig. 101.

mittences du courant depuis 3 jusqu'à 50 par seconde ; une aiguille mobile sur un limbe gradué donne l'indication de ce nombre. La figure 101 représente un petit appareil d'induction muni de ce trembleur-régulateur, que

nous nous bornons à mentionner sans le décrire ; indiquons seulement qu'il est d'un maniement simple et qu'il ne coûte qu'une trentaine de francs.

71. *Galvano-faradisation.* — Ce procédé d'électrisation consiste à mélanger ensemble, pour les conduire aux mêmes électrodes appliquées sur le corps du malade, un courant faradique et un courant galvanique. A cet effet, la bobine induite d'un appareil faradique est introduite en tension dans le circuit extérieur d'une batterie de piles. On peut faire en sorte que les courants induits directs soient du même sens que le courant voltaïque ; la représentation graphique du courant total ou résultant peut alors être indiquée par la figure 93, dans laquelle on abaisserait l'axe horizontal des temps d'une quantité égale à l'intensité du courant de la pile. On peut aussi, en renversant le sens d'attelage de la bobine, faire en sorte que les courants induits directs soient en sens contraire du courant voltaïque ; la représentation graphique correspondante s'imagine aisément. Remarquons cependant que le mélange des deux courants n'est pas tout à fait simple, car il y a réaction du courant faradique sur celui de la pile et réaction du courant de la pile sur les phénomènes d'induction. L'opérateur peut faire varier à son gré les proportions du mélange des deux courants, suivant qu'il rend plus ou moins grande la force électromotrice de la batterie de piles relativement à celle de la bobine induite.

72. *Appareils magnéto-faradiques.* — Les types de ces appareils sont la machine de Clarke et celle de Page. Une armature de fer doux tournant rapidement devant les pôles d'un aimant permanent en fer à cheval détermine des variations du champ magnétique ; il en résulte que des courants d'induction prennent naissance dans les bobines

qui entourent soit les extrémités de l'armature de fer doux (machine de Clarke) soit les extrémités polaires de l'aimant permanent (machine de Page).

La figure 102 représente un appareil Gaiffe, dans lequel des bobines sont enroulées etsur l'armature et sur l'aimant.

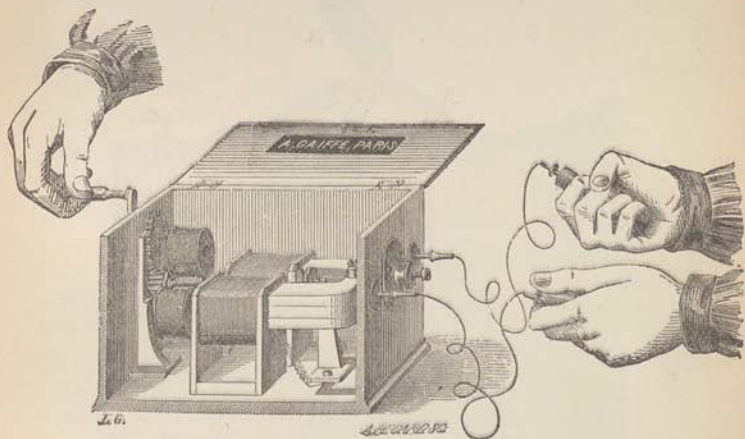


Fig. 102.

Un commutateur placé sur l'axe de l'armature relie les deux paires de bobines, et permet de capter la somme de leurs courants. Chacune des bobines porte deux fils, l'un fin et long, pour les courants de tension, l'autre gros et court, pour les courants de quantité. La rotation de l'armature s'obtient au moyen d'une manivelle et d'un engrenage multiplicateur de la vitesse. Une vis de rappel permet de déplacer l'aimant de manière à faire varier à volonté la distance de ses extrémités polaires à l'armature tournante ; on obtient ainsi la graduation du courant. Cet appareil est catalogué au prix de 100 francs.

La figure 103 représente un appareil de Clarke, modifié

par Gaiffe, qui l'a doté d'un organe servant à la fois d'interrupteur, de modérateur et de redresseur de courants (catalogué au prix de 80 francs).

Les appareils magnéto-faradiques sans commutateur

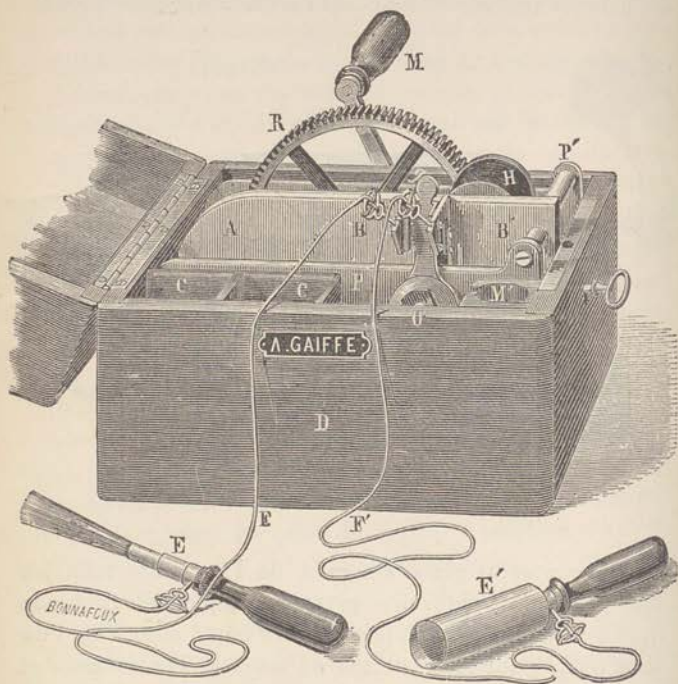


Fig. 103.

donnent des courants alternatifs dont la forme présente quelque analogie avec celle des courants sinusoïdaux. Avec le commutateur on obtient des courants tous dirigés dans le même sens, dont l'ensemble produit un courant ondulatoire et saccadé.

73. *Courants sinusoïdaux.* — Lorsque la force électromotrice créée dans une dynamo à courants alternatifs par le champ magnétique inducteur est une fonction sinusoïdale du temps déterminée par la formule

$$e = E \sin 2\pi \frac{t}{T},$$

dans laquelle T représente la durée de la période, et lorsque d'ailleurs le coefficient de self-induction du circuit est supposé constant, l'intensité du courant alternatif est elle-même une fonction sinusoïdale du temps, déterminée par la formule

$$i = I \sin 2\pi \frac{t - \theta}{T},$$

dans laquelle θ représente un laps de temps qui dépend de la self-induction et de la résistance de l'induit. Nous avons précédemment indiqué (n° 37) la représentation graphique du courant sinusoïdal.

Une machine magnéto-électrique de Clarke ou de Page, lorsqu'elle n'est pas munie d'un commutateur donne bien un courant alternatif, mais la forme de ce courant diffère très sensiblement de la sinusoïde. Pour obtenir une solution plus approchée, on peut recourir à l'emploi d'une dynamo avec électro-aimants inducteurs, analogue aux dynamos Gramme, Siémens ou Edison.

M. le professeur d'Arsonval qui a donné le nom de *voltatisation sinusoïdale* aux applications électrothérapeutiques des courants sinusoïdaux, emploie le dispositif que représente la figure 104.

Un moteur électrique, actionné par un courant dont le circuit contient un rhéostat de réglage, commande par un accouplement flexible une dynamo transformatrice. L'excitation de cette dynamo est indépendante et se fait

généralement aux bornes d'arrivée du courant qui actionne le moteur; dans ces conditions le voltage (continu, sinusoïdal ou ondulatoire) dépend uniquement de la vitesse

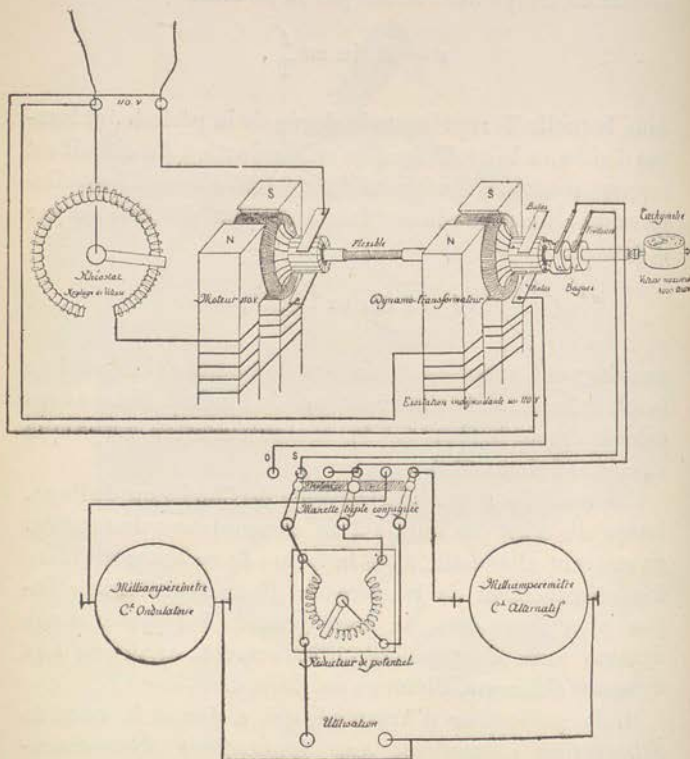


Fig. 104.

de rotation, le champ magnétique restant constant. La dynamo-transformatrice est munie d'un collecteur de dix-huit lames, dont les deux balais permettraient de capter un courant *continu*. Deux bagues isolées, commu-

niquant respectivement avec deux lames du collecteur, permettent, d'autre part, de capter par les frotteurs qui leur correspondent, un courant *sinusoïdal*. Entre l'un quelconque des deux balais et l'un quelconque des deux frotteurs, on peut capter un courant *ondulatoire*. La figure schématique indique comment on peut utiliser soit le courant sinusoïdal, soit le courant ondulatoire, qui arrivent aux gouttes d'une manette triple conjuguée. Quand la manette de gauche est en S (position qu'elle occupe dans la figure), les deux bornes d'arrivée du courant au réducteur de potentiel (qui sert à régler la fréquence) communiquent avec les deux frotteurs, en sorte que le courant capté est sinusoïdal. En poussant cette manette de gauche en O, on capterait un courant ondulatoire par un balai et un frotteur. Comme chacun de ces deux genres de courant exige un galvanomètre spécial, c'est la manette de droite qui opère automatiquement la permutation des galvanomètres. Un tachymètre, indiqué à droite de la figure, fait connaître à chaque instant la vitesse de rotation.

M. d'Arsonval a constaté que les courants sinusoïdaux n'impressionnent pas douloureusement les nerfs sensitifs lorsque leur fréquence est faible. Ce genre de courant paraît activer la nutrition des tissus ainsi que les combustions respiratoires. La voltaïsation sinusoïdale produit la contraction des fibres lisses, en restant souvent sans action sur les fibres striées. D'après le docteur Apostoli, ce mode d'électrisation exerce une action sédatrice très efficace contre certaines affections douloureuses de l'utérus et de ses annexes.

74. *Courants triphasés.* — Il est possible de répartir en trois séries les bobines élémentaires de l'induit d'un alternateur Gramme et d'établir entre ces bobines les con-

nexions convenables pour créer trois circuits distincts fournissant ce que l'on appelle trois courants alternatifs *triphases*.

La figure 105 représente schématiquement les trois circuits induits a, a', a'' couplés *en étoile* ; on prend un des bouts de chacun de ces circuits et on réunit ces trois bouts au point P ; les trois autres bouts A, A', A'' forment les

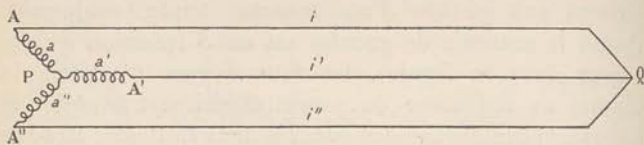


Fig. 105.

origines des conducteurs destinés à recevoir respectivement les trois courants triphasés, dont les intensités ont pour valeurs

$$i = I \sin \quad mt$$

$$i' = I \sin \left(mt + \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$i'' = I \sin \left(mt + \frac{4\pi}{3} \right).$$

Ces courants sinusoïdaux ont tous les trois la même intensité maximum et la même période, mais ils n'ont pas les mêmes phases, c'est-à-dire que leurs intensités respectives ne s'annulent pas ensemble ; ils sont *déphasés* ou *décalés* à un tiers de période. Pour que ces courants circulent, il suffit de réunir en un point Q les extrémités libres des trois conducteurs. Imaginons, en effet, que l'on ferme le circuit en faisant communiquer métalliquement les points P et Q, au moyen d'un conducteur auxiliaire ; les trois courants passant ensemble dans ce conducteur produiraient un courant total dont l'intensité

serait égale à la somme $i + i' + i''$ de leurs intensités respectives ; or, on démontre par calcul que *cette somme est constamment nulle*, en sorte qu'aucun courant n'existe en réalité dans notre conducteur auxiliaire ; la conséquence de cette remarque, c'est que ce conducteur auxiliaire est parfaitement inutile pour fermer le circuit. Les points P et Q sont deux points *neutres*, en chacun desquels les trois courants se détruisent.

Au lieu de réunir au point Q les extrémités libres des trois conducteurs partant du point P, on peut munir chacune de ces extrémités d'une électrode servant d'excitateur ; en appliquant ces électrodes sur trois points d'une région du corps humain, on obtiendra la fermeture du circuit ; telle est la manière d'employer les courants triphasés en électrothérapie. M. le docteur Guimbail, préconise l'emploi de ces courants pour guérir ou tout au moins améliorer l'hypertrophie de la prostate.

75. Transformateur inverseur. — Un courant alternatif à fréquence suffisante ne doit produire aucun phénomène d'électrolyse s'il est rigoureusement sinusoïdal ; sa représentation graphique montre, en effet, que les ondes positives (courbes supérieures à l'axe du temps) sont superposables aux ondes négatives ; les actions antagonistes des deux sens du courant doivent donc se compenser ou s'annihiler complètement quant aux effets électrolytiques. Si quelques effets de cette nature se produisent parfois, ainsi que l'on constaté plusieurs praticiens, il convient d'en attribuer la cause à une certaine dissymétrie du courant alternatif employé, courant qu'il est difficile d'obtenir sous la forme rigoureusement sinusoïdale.

L'un des auteurs de cet ouvrage, M. Félix Lucas a pensé qu'il serait utile et intéressant de transformer un courant continu en un courant alternatif qui, sans être assujéti à

présenter la forme sinuoïdale proprement dite, posséderait cependant la symétrie nécessaire pour supprimer toute aptitude électrolytique, et dont la fréquence pourrait être réglée au gré de l'opérateur.

La schéma ci-contre (fig. 106) permet de saisir aisément le principe et le mode de fonctionnement de ce petit appareil auquel on peut donner le nom de *transformateur inverseur*.

Considérons deux roues de cuivre A et B identiques entre elles et montées avec isolement sur un arbre métal-

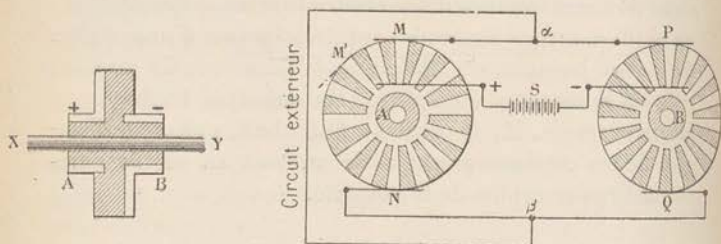


Fig. 106.

lique XY. Chacune d'elles se compose d'un moyeu cylindrique portant vers l'une de ses extrémités un nombre quelconque de rayons ou secteurs (quinze, par exemple), faisant entre eux des angles égaux et laissant entre eux des secteurs vides égaux aux pleins. Ces deux roues ont des orientations antagonistes, c'est-à-dire que, parallèlement à l'axe de rotation, il y a correspondance entre les secteurs pleins de l'une d'elles et les secteurs vides de l'autre. Une pièce d'ébonite interposée entre les deux roues projette des saillies qui viennent remplir leurs secteurs vides ou entre-rayons et isole, d'autre part, leurs moyeux de cuivre de l'arbre métallique XY. Les deux roues de cuivre et la pièce d'ébonite ainsi disposées forment ensemble une large roue munie de deux moyeux de cuivre en saillie A

et B et dont la surface cylindrique soigneusement tournée présente à droite comme à gauche une succession régulière de parties en cuivre et de parties en ébonite, tandis que l'ébonite intervient seule au milieu.

Cela posé, reportons-nous au schéma des connexions dans lequel les deux roues cuivre-ébonite sont représentées de face et posées sur un même plan. Les secteurs munis de hachures représentent l'ébonite, tandis que les secteurs intermédiaires représentent les rayons de cuivre. L'antagonisme des orientations des deux roues est nettement indiqué sur cette figure. Deux balais frotteurs, diamétralement opposés, M et N, desservent la première roue ; la seconde est de même desservie par les balais P et Q ; des communications métalliques α et β sont respectivement établies, d'une part, entre les balais M et P et, d'autre part, entre les balais N et Q ; le circuit extérieur s'établit entre α et β . Le courant continu fourni par la source S (dynamo ou batterie d'accumulateurs) est envoyé aux moyeux A et B par deux balais frotteurs, respectivement positif et négatif.

Le jeu de la machine est facile à comprendre. Lorsque les roues sont dans les positions indiquées sur la figure, le balai M, qui touche une surface de cuivre, reçoit l'électricité positive de la source, tandis que le balai N, en contact avec l'ébonite, ne reçoit rien ; d'autre part, le balai Q, touchant une surface de cuivre, reçoit l'électricité négative de la source, tandis que le balai P, touchant l'ébonite, ne reçoit rien ; les bornes positive et négative de la source S se trouvent ainsi reportées respectivement en α et en β , en sorte que, dans le circuit extérieur, le courant doit aller de α en β . Supposons maintenant que les deux disques aient tourné simultanément de la fraction de tour nécessaire pour que sur chacune des roues il y ait permutation entre le cuivre et l'ébonite (cette rotation doit être, par exemple,

d'un trentième de tour si, comme cela est indiqué dans la figure, chacune des roues porte quinze rayons de cuivre) ; en raisonnant comme ci-dessus, nous verrons que les bornes positive et négative de la source S seront respectivement reportées en β et en α , en sorte que, dans le circuit extérieur, le courant ira de β en α , sens opposé à celui que nous obtenions précédemment. Lorsque les quatre balais M, N, P, Q se trouvent en contact avec des génératrices séparatrices du cuivre et de l'ébonite, le courant de la pile se trouvera fermé en courts-circuits de M en P et de N en Q, en sorte qu'aucun courant ne passera dans le circuit extérieur. On voit ainsi qu'il suffit de faire tourner l'appareil avec une vitesse uniforme pour recueillir un courant alternatif dans le circuit extérieur ; si l'on désigne par n le nombre des rayons de cuivre d'une des roues, et par N le nombre de tours que l'appareil fait pas seconde,

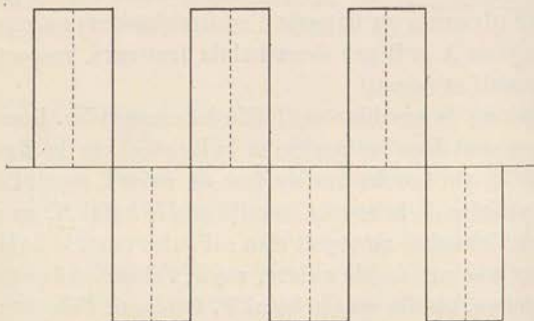


Fig. 107.

le nombre des inversions du courant extérieur par seconde est $2Nn$, et la durée de la période est de $\frac{1''}{Nn}$. La source génératrice continue S débite d'ailleurs l'électricité sans

interruption pendant que l'appareil tourne et que l'on capte extérieurement un courant alternatif.

Pour définir la nature de ce courant alternatif, traçons sa représentation graphique en prenant le temps pour abscisse et l'intensité du courant pour ordonnée. Si les courts-circuits étaient rigoureusement instantanées, on obtiendrait la ligne brisée oscillante à ondes rectangulaires que représente la figure 107 ; l'intensité maximum du courant capté, représentée par chacune des ordonnées tracées en pointillé, est égale à l'intensité du courant continu débité par la source élémentaire ; les parties supérieures du graphique sont superposables aux parties inférieures. Quelque courte que puisse être la durée des courts-circuits, il y a cependant lieu d'en tenir compte ; on obtient alors la graphique de la figure 108, dans lequel

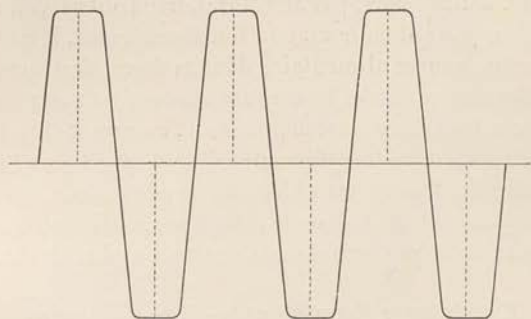


Fig. 108.

les verticales de la figure précédente ont été remplacées par des lignes légèrement inclinées ; nous nous rapprochons ainsi de la forme sinusoïdale ; les demi-ondes supérieures restant superposables aux demi-ondes inférieures, le courant ne peut pas être électrolyseur.

Avec des courants de cette nature, aucune action chi-

mique ne peut se produire au contact des électrodes avec le corps humain ni, à plus forte raison, dans les organes traversés par le courant. Comme phases successives, nous distinguons une montée rapide de l'intensité, une courte permanence, un chute rapide de l'intensité, une nouvelle permanence de courte durée, et ainsi de suite ; il en résulte que l'emploi d'un courant de cette nature pour produire des excitations doit participer à la fois de la faradisation proprement dite et de la voltaïsation sinusoïdale ; cet emploi conviendrait, par exemple, pour l'électrisation consécutive aux atrophies qui résultent souvent d'une immobilisation imposée par les exigences de la consolidation d'une fracture,

Deux types de transformateur inverseur que nous avons fait construire, d'une part, par la maison Sautter et Harlé et, d'autre part, par M. Chazal, nous ont servi à constater que, pour obtenir un bon fonctionnement, il faut employer une source alimentaire dont la force électromotrice ne soit pas trop élevée. Le courant alternatif obtenu ne peut donc pas être à forte tension ; mais en l'envoyant dans le circuit primaire d'un transformateur, analogue à une bobine de Ruhmkorff sans trembleur ni condensateur, on peut obtenir par induction dans le circuit secondaire un courant alternatif de même nature mais de tension plus élevée.

¶ 76. *Excitateurs faradiques.* — Les électrodes à employer comme excitateurs pour des courants faradiques



Fig. 109.



Fig. 110.

ou des courants alternatifs peuvent être choisies en partie parmi celles qui servent pour la franklinisation et la galvanisation. Nous en indiquons quelques autres dont l'usage est plus spécial.

Fig. 109. — Electrode-poing pour faradisation générale.

Fig. 110. — Brosse électrode double, bipolaire, pour faradisation générale (1).

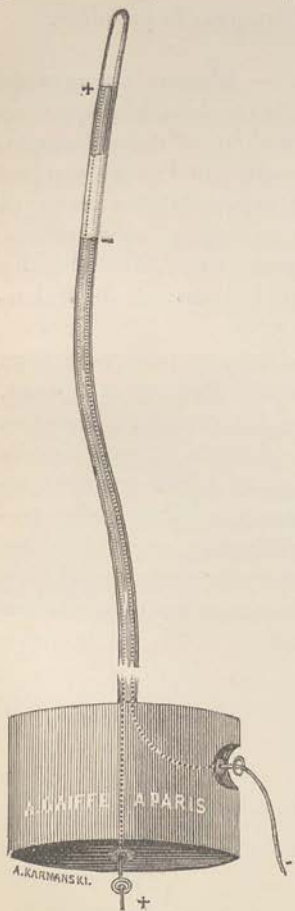


Fig. 109.

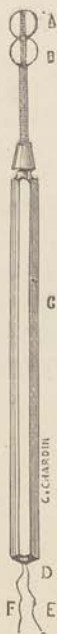


Fig. 110.

(1) Ces deux figures sont extraites du catalogue Richard Heller et C^{ie}.

Fig. 111. — Excitateur utérin double annulaire du docteur Apostoli.

Fig. 112. — Excitateur bipolaire pour la paupière.

77. *Production de l'ozone.* — L'ozone ou oxygène électrisé est un agent thérapeutique, dont la respiration donne de bons résultats dans l'asthme et dans l'anémie. Toutes les machines statiques produisent l'ozone pendant leur fonctionnement; son odeur caractéristique révèle sa présence dans l'atmosphère qui environne ces machines. La production de l'ozone accompagne aussi la création des courants faradiques, au moyen de la bobine de du Ruhmkorff.

Pour obtenir l'ozone en abondance, on peut recourir au système suivant, que préconisent MM. Ducretet et Lejeune. Un courant alternatif à 110 volts, distribué par une station centrale d'électricité, est envoyé dans le circuit primaire d'un transformateur dont le circuit induit est relié à un *ozonogène*. Cet *ozonogène* se compose d'une caisse rectangulaire dans laquelle sont superposées, avec vides entre elles, des lames de verre dont une surface est garnie d'étain et paraffinée; les feuilles d'étain communiquent alternativement avec les bornes du circuit induit du transformateur.

§ 5. — AUTOCONDUCTION

Appareil de M. d'Arsonval. — Effets physiologiques des courants de haute fréquence. — Applications thérapeutiques de l'autoconduction.

78. *Appareil de M. d'Arsonval.* — Pour obtenir les courants alternatifs à haute fréquence, M. le professeur

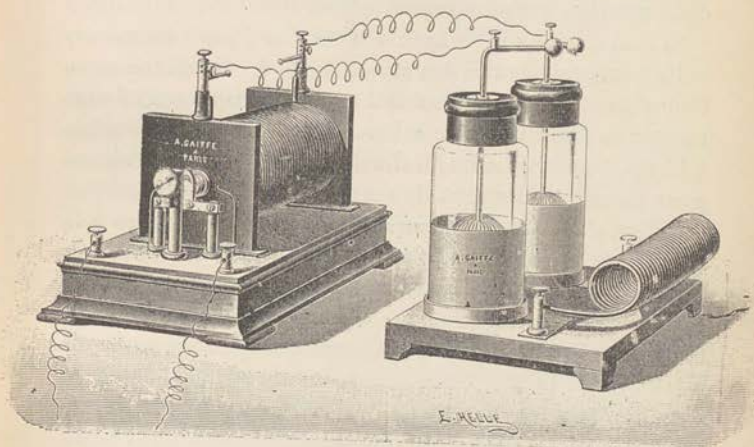


Fig. 113.

d'Arsonval a adopté le dispositif suivant (fig. 113), qui diffère sensiblement de l'appareil de Tesla précédemment décrit (n° 44).

Une bobine de Ruhmkorff, ordinairement actionnée par des piles ou des accumulateurs et pouvant donner des étincelles de 20 centimètres, envoie son courant induit dans

les armatures de deux bouteilles de Leyde montées en cascade. Ces armatures intérieures sont reliées entre elles par un excitateur à boules. Les armatures extérieures sont, de leur côté, reliées entre elles par un solénoïde à gros fil.

Les bouteilles de Leyde chargées par la bobine produisent entre les deux boules de l'excitateur, des *décharges oscillantes* (n^o 14), de manière à faire traverser le solénoïde par des courants alternatifs de haute fréquence. On peut recueillir ces courants en attachant des conducteurs au solénoïde ; on obtient alors une action d'autant plus énergique que le nombre des spires comprises entre les deux attaches est plus grand.

Si l'on trouvait insuffisante la tension d'environ 20.000 volts (correspondant à des étincelles de 4 centimètres) que l'on obtient dans le solénoïde à gros fil, on pourrait l'augmenter en faisant agir ce solénoïde sur un autre solénoïde à fil fin, immergé dans l'huile de naphte ou la valvonine pour assurer l'isolement de ses spires.

Si l'on disposait d'un courant alternatif d'éclairage à la tension de 110 vols, on pourrait brancher sur ce courant un transformateur de tension, analogue à une bobine de Ruhmkorff sans interrupteur ni condensateur, et employer le courant induit de ce transformateur pour charger les bouteilles de Leyde. Dans ce cas, un arc permanent tend à s'établir entre les deux bouteilles de décharges ; on y remédie facilement au moyen d'une insufflation d'air qui éteint cet arc dont la présence empêcherait les décharges oscillantes de se produire.

79. *Effets physiologiques des courants de haute fréquence.* — Ces effets ont été très nettement décrits par M. d'Arsonval dans une note insérée aux Archives de physiologie en avril 1898. Voici un extrait de cette magistrale communication :

« On peut utiliser de deux façons différentes les courants de haute fréquence : 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.

.....

« Au point de vue physiologique, les effets 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 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 milliampères, 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). — 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 trillions par seconde (rouge) et supérieure à 728 trillions 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 ses 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 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 Brown-Sequard 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^o Les tissus traversés par ces courants deviennent rapidement moins excitable 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^o Le système nerveux-vaso-moteur est fortement in-

fluencé. Si l'on 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 sphymographe de Marey. Il y a donc inhibition manifeste du système nerveux vasomoteur 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^o 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 un des pôles de la bobine à haut potentiel, 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^o 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 ».

80. *Applications thérapeutiques de l'autoconduction.*

— On trouve dans le Compte rendu de la Séance du 18 mars 1895 à l'Académie des Sciences une importante communication du docteur Apostoli concernant l'influence des courants alternatifs de haute fréquence, prenant nais-

sance par induction dans le corps humain, sur l'état général du sujet dans diverses manifestations pathologiques.

Le solénoïde à gros fil de l'appareil d'Arsonval, employé pour les recherches de M. Apostoli, avait d'assez grandes dimensions pour qu'il fut possible de placer un homme à l'intérieur. Le sujet immergé dans ce solénoïde subissait chaque jour un traitement par autoconduction pendant une vingtaine de minutes.

L'hystérie et les névralgies localisées se sont montrées réfractaires, c'est-à-dire qu'elles n'ont subi aucune amélioration. Mais on a obtenu des résultats positifs pour un grand nombre d'affections d'une autre nature, comme l'indique l'extrait suivant de la communication de M. Apostoli.

« La plupart des malades qui ont bénéficié très nettement de ces soins sont des ralentis de la nutrition : arthritiques, goutteux, rhumatismaux, glycosuriques, etc.

« Chez presque toutes, une amélioration très marquée a été acquise, mais celles qui ont éprouvé le plus grand bienfait sont surtout des arthritiques présentant des phénomènes, soit articulaires, soit névralgiques.

« Dès les premières séances, avant même toute influence locale apparente ou toute action sur la sécrétion urinaire, c'est l'état général qui a été tout d'abord heureusement influencé, et voici le schéma d'ensemble de l'amélioration symptomatique telle nous l'avons notée au jour le jour, en faisant abstraction des nuances qu'a pu comporter chaque cas particulier.

« *Restauration des forces ;*

« *Réveil de l'appétit ;*

« *Retour du sommeil ;*

« *Réapparition de la gaieté et de l'énergie au travail ;*

« *Sédation de certains malaises nerveux ;*

« *Marche plus aisée, facies meilleur, etc.*

« Ultérieurement, les troubles locaux, douloureux ou trophiques se sont progressivement amendés; ainsi, une malade, qui s'était vu réduite à une impotence presque complète par une arthrite coxofémorale, a repris le fonctionnement de ses jambes. Une autre, que des douleurs vives empêchaient de fermer les mains, a complètement récupéré ses mouvements, etc... Parallèlement à cette amélioration symptomatique, l'examen de la sécrétion urinaire a démontré que la diurèse devenait plus satisfaisants et que les déchets organiques étaient plus facilement éliminés. Les combustions étaient augmentées et on en avait la preuve par la diminution du chiffre de l'acide urique, en même temps que le taux de l'urée devenait plus élevé. Le rapport entre ces deux substances, qui, avant tout traitement, était très fort, diminuait peu à peu, au point de se rapprocher du rapport moyen de 1/40.

« L'élimination des éléments minéraux était elle-même influencée, mais d'une manière moins évidente.

« Nous rappelons également, tout en nous réservant de compléter nos premiers résultats sur d'autres malades du même genre, que, chez trois diabétiques, la quantité de sucre a diminué considérablement, au point même de disparaître, après un certain nombre de séances, sans aucun traitement additionnel. »

« En résumé, les faits nombreux que nous avons observés depuis un an nous permettent d'apporter, dès aujourd'hui, une confirmation clinique nouvelle aux découvertes physiologiques de M. d'Arsonval sur l'action des courants alternatifs de haute fréquence, prenant naissance, par induction, dans les tissus.

« Ces courants ont une influence puissante sur l'activité nutritive et, à ce titre, ils constituent une indication de premier ordre dans un grand nombre de troubles fonc-

tionnels, provoqués par un ralentissement ou une perversion de la nutrition ».

Plus récemment le docteur Guimbail, médecin-directeur des Thermes-Valentia, à Monaco, a constaté l'action curative des courants à haute fréquence pour toutes les formes de la sciatique.

§ 6. — RADIOGRAPHIE ET FLUOROSCOPIE

Appareils de production des rayons X. Effets thérapeutiques et actions consécutives.

81. *Appareils de production des rayons X.* — Nous avons exposé précédemment (n° 45) l'histoire de la découverte des rayons Röntgen ainsi que les principales propriétés de ces rayons.

Nous avons indiqué sommairement comment on peut les produire, soit au moyen de la bobine de Ruhmkorff, soit au moyen d'une machine électrostatique. Il nous paraît utile de donner ici quelques développements à ce sujet.

La radiographie et la fluoroscopie ont chacune leurs avantages spéciaux. La première permet une étude approfondie du sujet soumis à l'observation et livre un précieux document photographique ; la seconde permet de faire *de visu* un examen rapide.

La figure 117 indique comme matériel à employer une bobine de Ruhmkorff B, actionnée par une source d'électricité voltaïque, un tube de Crookes spécial T soutenu par une pince articulée fixée elle-même à un support spécial, et un châssis C, renfermant la plaque photographique qui doit fournir la radiographie d'un objet (une main humaine, par exemple) placé entre le châssis et le tube. Ce châssis spécial est fermé hermétiquement par une feuille de celluloïd opaque ; la surface sensible doit être placée au-dessus, vis à vis du tube T, afin que les rayons X ne soient pas absorbés en partie avant d'arriver jusqu'à elle. La position du châssis C dépend de la nature du sujet à radio-

graphier ; s'il s'agit d'un sujet vivant, d'un malade, il

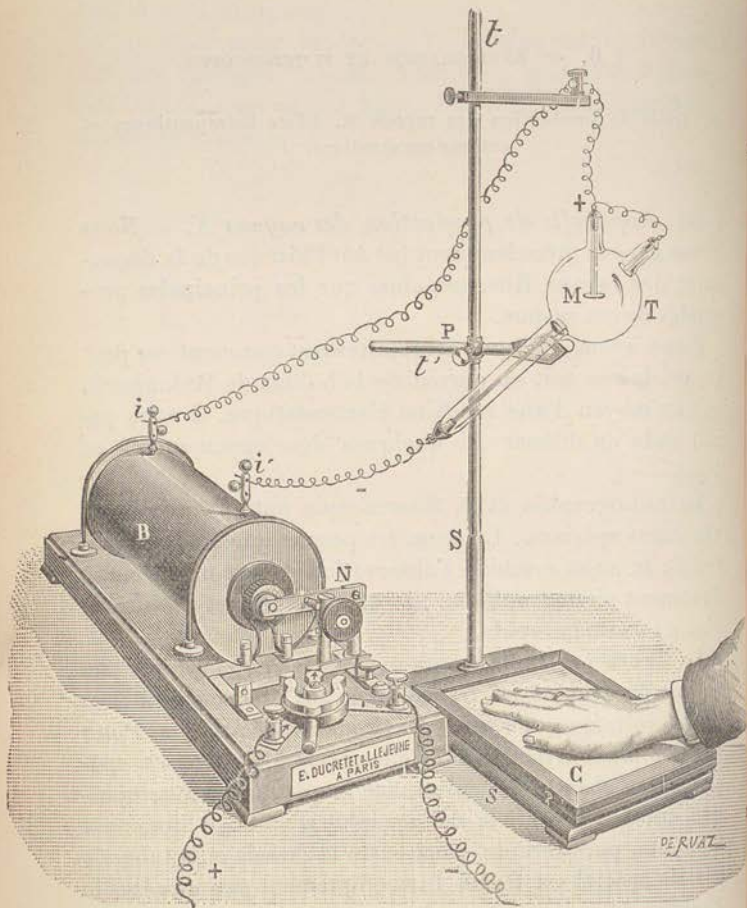


Fig. 117.

faut que celui-ci puisse supporter, sans trop de fatigue, l'immobilité complète pendant la durée assez longue de la

pose. Ordinairement le sujet est couché ; le châssis est placé derrière lui. La durée de la pose dépend de la puissance de la bobine d'induction, de la qualité du tube à vide, de la distance de ce tube au châssis, de l'épaisseur et de l'opacité des parties à radiographier, enfin de la qualité des plaques sensibles. Le docteur Rœntgen a remarqué en 1895 que la lame de verre et la gélatine des plaques sensibles deviennent fluorescentes sous l'action des rayons X ; en partant de ce principe, on a cherché à diminuer les temps de pose en superposant directement à la plaque sensible un écran fluorescent. Il est probable que de nouveaux progrès succéderont à ceux qui sont déjà accomplis, mais il est certain que l'on sait dès à présent obtenir de très belles radiographies (1).

Au lieu de la bobine d'induction, on peut employer la machine électrostatique pour obtenir les rayons X. La figure 118 indique le dispositif adopté par M. Bonetti. Le docteur Descot, de Lyon, a eu, le premier, l'idée de rompre en un point le circuit direct formé par la machine reliée au tube, et de placer au point d'interruption deux boules dont l'écartement variable permet de régler la tension et la fréquence de la décharge dans le tube ; l'emploi de ce *détonateur* donne de bons résultats, mais on peut obtenir mieux encore au moyen de deux détonateurs, placés respectivement de chaque côté de l'ampoule, comme l'indique la figure. Chacun de ces détonateurs a deux boules inégales ; il faut que le détonateur relié au pôle positif de la machine ait sa petite boule en communication avec celle-ci et sa grosse boule reliée aux deux anodes de l'ampoule ; le détonateur relié au pôle négatif de la machine doit au contraire, avoir sa grosse boule en commu-

(1) Le musée radiographique Radiguet met en vente, pour conférences ou pour leçons, des collections de radiographies tirées sur papier ou sur verre.

nication avec celle-ci et sa petite boule en communication avec la cathode de l'ampoule. On règle empiriquement l'écartement des boules, suivant le tube employé et les conditions de fonctionnement de la machine. Ce dispositif per-

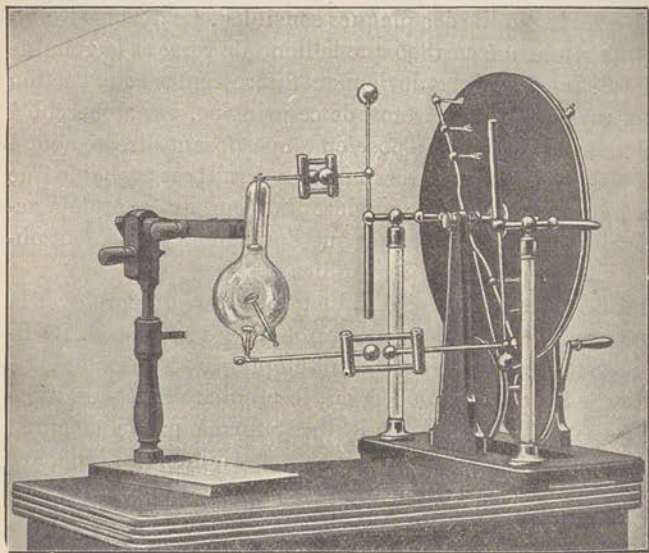


Fig. 118.

met d'obtenir de bonnes radiations sans jamais échauffer les tubes.

On peut obtenir un écran destiné à la fluoroscopie en déposant une couche mince de platinocyanure de baryum sur un bristol entouré d'un cadre en bois et vernissant ensuite cette couche. La luminosité de ces écrans est supérieure à celle que donne soit le tungstate de calcium, soit le fluorure double d'uranyle et d'ammonium. Il est bon de recouvrir l'écran fluorescent par un verre préserva-

teur qui n'altère pas l'observation des détails et permet au besoin de faire des repérages. Le corps à examiner doit naturellement être placé entre le tube actif et l'écran. Si l'on opère dans une pièce bien obscure, l'image de l'organe exploré devient visible pour tout un auditoire ; lorsqu'il est impossible de faire l'obscurité dans la pièce, on doit recouvrir d'un grand voile noir imperméable l'écran et la tête de l'observateur.

Un habile constructeur, M. Seguy, fabrique, un appareil portatif pour la production et l'utilisation des rayons X ; voici la description qu'il donne lui-même de cette *lorgnette humaine*.

Elle se compose d'une caisse à poignées renfermant dans les compartiments séparés :

1^o Une batterie mobile d'accumulateurs de 8 éléments, soit 16 volts, 75 ampères-heures ;

2^o Un transformateur spécial pour courant de haute tension donnant une étincelle de 20 centimètres ;

3^o Une ampoule bi-anodique montée sur un support articulé, mobile le long d'une glissière ;

4^o La lorgnette proprement dite constituée par une chambre noire pliante et un écran fluorescent.

Pendant l'opération, les accumulateurs, le transformateur et l'ampoule sont laissés en place dans leurs compartiments respectifs.

La lorgnette est tenue à la main par l'observateur qui en applique directement le viseur capitonné sur ses arcades sourcilières et sur l'arête du nez, de manière à intercepter le passage des rayons lumineux ambiants, tandis qu'il dirige du côté de l'ampoule génératrice des rayons X, le bout muni de l'écran fluorescent. On interpose le corps à observer entre l'ampoule et l'écran en l'appliquant le plus près possible de ce dernier.

Chaque appareil est muni d'un plomb fusible formant coupe-circuit qui, intercalé dans le circuit des accumulateurs, empêche la batterie de se décharger à l'excès sur le transfor-

mateur. Il suffira en cas de fusion de le remplacer pour que l'appareil soit en état de marcher à nouveau.

La mise en marche se fait à l'aide d'un interrupteur spécial qui, en fermant le circuit, donne au marteau trembleur son premier mouvement et empêche ainsi l'adhérence dangereuse à la bobine. En outre, un rhéostat placé à portée de l'opérateur et d'un maniement extrêmement doux permet de régler la marche de l'appareil, de façon à faire donner à l'ampoule son maximum de rendement.

Un voltmètre placé dans le circuit primaire permet de s'assurer que les accumulateurs sont toujours convenablement chargés. De plus, toutes ces pièces sont interchangeable,

Le prix de l'appareil complet, accumulateurs, bobine ampoule, etc., est de 1250 francs.

La *Lorgnette humaine* permet de faire toutes les observations médicales du ressort de la radiologie.

La longueur d'étincelle est suffisante pour actionner une ampoule n° 2 et permettre d'examiner aussi bien la cavité thoracique que les membres, à l'aide de l'écran fluoroscopique contenu dans la jumelle.

On peut, en outre, avec cet instrument faire toutes les épreuves de radiographie, même celles qui se rapportent au bassin.

Les recherches des corps étrangers, balles, etc., et les examens de fractures et de luxations sont les plus facilement faits soit à l'aide de l'écran, soit à l'aide de la plaque sensible ; les examens des organes contenus dans la cavité thoracique se font aussi avec beaucoup de succès, tels : la recherche de la tuberculose pulmonaire, l'étude des épanchements des cavités pleurales, des indurations ganglionnaires, des modifications du volume du cœur, de la constitution des anévrismes aortiques et les péricardites, etc...

On parvient aussi à reconnaître certaines lésions des organes sous diaphragmatiques : telles que les modifications du volume du foie et les ampliatiions de l'estomac, surtout du côté de sa petite courbure ; l'examen des organes du bassin, grand et petit, peut-être aussi fertile en résultats avec la *Lor-*

gnette Humaine, à condition d'orienter convenablement le malade, de façon à éviter l'obstacle créé par la ceinture iliaque.

82. Effets thérapeutiques et accidents consécutifs. —

Les docteurs Lortet et Genoud ont montré, (C. R. Académie des Sciences du 22 juin 1896), que l'action des rayons X modifie le développement aigu de la tuberculose et en transforme heureusement les allures chez des cobayes tuberculisés expérimentalement. Comme les rayons X traversent facilement, chez l'homme et surtout chez l'enfant, les parois thoraciques et les poumons, MM. Lortet et Genoud concluèrent de leurs expériences que ces rayons pourraient exercer une action bienfaisante sur les tuberculoses superficielles et limitées à la plèvre.

Le Docteur Despeignes a démontré l'action révulsive des rayons X sur le cancer de l'estomac. Ces rayons traversent facilement les masses intestinales, alors même qu'elles sont remplies de matières alimentaires.

L'électrothérapie pourra certainement tirer, dans l'avenir, un grand parti des rayons Röntgen. Il faut d'ailleurs apporter beaucoup de prudence dans les applications de ces rayons, à cause des accidents consécutifs qui sont à redouter.

Les rayons X, en agissant sur la peau, peuvent produire une éruption superficielle érythémateuse, à laquelle succèdent des eschares profondes et douloureuses ; une action révulsive analogue pourrait, non sans danger, se produire dans l'intimité des tissus. Ajoutons que les rayons X exercent une action épilatoire énergique. Ils agissent aussi sur la rétine et irritent les yeux.

Pour atténuer autant que possible ces inconvénients, il convient de placer le tube à vide à 15 centimètres au moins de distance de la peau ; d'interposer une mince feuille

d'aluminium reliée au sol, laquelle, transparente pour les rayons X, conduit au sol les décharges électriques du tube à vide ; placer une plaque de cuivre ou de plomb sur la partie du corps que l'on veut soustraire à l'action des rayons ; employer, pour les observations fluoroscopiques, des lunettes à verre très dense.

TROISIÈME PARTIE

APPLICATIONS THÉRAPEUTIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ

par le docteur André LUCAS

Faint, illegible text at the top of the page, possibly bleed-through from the reverse side.

GEORGE PARKIN

UNIVERSITY OF ABERDEEN

1881

INTRODUCTION

L'efficacité thérapeutique de l'électricité a été longtemps contestée; après avoir nié les résultats obtenus, on a essayé de les attribuer à la suggestion, c'est-à-dire à l'imagination des malades, alors même que les admirables travaux d'Erb, de Duchenne de Boulogne, de Tripier d'Onimus et d'autres maîtres encore, avaient mis en lumière les puissantes actions physiologiques et modificatrices de l'organisme qu'exerce l'agent électrique. Le scepticisme justifie quelquefois cette célèbre pensée de Montaigne : « Tout vice est issu d'asnerie ». Quoiqu'il en soit, une grande réaction s'est produite; grâce aux efforts persévérants d'éminents praticiens, amis du progrès, les vertus curatives de l'électricité se sont affirmées avec autorité. L'électrothérapie est aujourd'hui très documentée; c'est une compilation intéressante et utile, celle qui consiste à rassembler méthodiquement ces matériaux d'un nouvel édifice, en indiquant leurs provenances autorisées à des degrés divers. Tel est l'objet de cette troisième partie de notre traité d'électricité médicale. Nous la divisons en neuf paragraphes portant les titres suivant :

- § 1. — Electro-diagnostic.
- § 2. — Maladies de la peau.
- § 3. — Maladies de l'appareil d'innervation.
- § 4. — Maladies des appareils circulatoire et respiratoire.
- § 5. — Maladies de l'appareil digestif.
- § 6. — Maladies des organes génito-urinaires.
- § 7. — Gynécologie.
- § 8. — Organes des sens.
- § 9. — Appendice.

INTRODUCTION

The first part of the book is devoted to a general survey of the subject. It begins with a brief history of the subject, tracing its development from its earliest beginnings to the present day. The author then discusses the various methods used in the study of the subject, and the importance of each. He also touches upon the various branches of the subject, and the interrelations between them. The second part of the book is devoted to a detailed study of the subject. It begins with a discussion of the various methods used in the study of the subject, and the importance of each. The author then discusses the various branches of the subject, and the interrelations between them. The third part of the book is devoted to a detailed study of the subject. It begins with a discussion of the various methods used in the study of the subject, and the importance of each. The author then discusses the various branches of the subject, and the interrelations between them.

The fourth part of the book is devoted to a detailed study of the subject. It begins with a discussion of the various methods used in the study of the subject, and the importance of each. The author then discusses the various branches of the subject, and the interrelations between them. The fifth part of the book is devoted to a detailed study of the subject. It begins with a discussion of the various methods used in the study of the subject, and the importance of each. The author then discusses the various branches of the subject, and the interrelations between them.

§ I. — ELECTRO-DIAGNOSTIC

Considérations préliminaires. — Topographie des points moteurs. — Réaction de dégénérescence. — Réaction partielle. — Réaction à distance. — Valeurs séméiologique et pronostique de la D R. — Electro-diagnostic en gynécologie. Electro-diagnostic d'affections diverses.

83. *Considérations préliminaires.* — D'après M. le professeur Landouzy, la thérapeutique doit-être :

clinique en ses informations,
pathogénique en ses indications,
physiologique en ses moyens,
opportuniste en ses décisions.

Cette judicieuse observation indique à l'homme de l'art les diverses étapes qu'il doit successivement parcourir avant d'arriver à l'emploi des moyens curatifs. Elle affirme une fois de plus l'incontestable nécessité de la recherche préalable d'un diagnostic précis. Cette recherche, souvent difficile et délicate, exige de la part du praticien beaucoup de savoir, d'attention et de sagacité. L'énergie électrique, qui peut revêtir des formes si variées, offre ici son précieux concours. On désigne sous le nom d'*électro-diagnostic* un ensemble de procédés d'investigation ayant pour objet d'éclairer le diagnostic et même parfois le pronostic des maladies.

Comme créatrice de la lumière par incandescence, c'est-à-dire de foyers lumineux intenses ayant de faibles dimensions et donnant peu de rayonnement calorifique, l'électricité met à notre disposition les *endoscopes* et les *cystoscopes* précédemment décrits (n° 66), qui nous permettent

de rendre bien accessibles à nos regards les cavités et profondeurs de l'organisme vivement éclairées.

Comme génératrice des rayons X, l'électricité nous offre un autre moyen d'investigation bien précieux, dans certains cas, pour l'établissement du diagnostic, en nous donnant l'étrange faculté de voir l'invisible, dans l'intérieur du corps humain,

En 1879, M. le Docteur Vigouroux a introduit en électro-diagnostic les mesures de résistance électrique prises sur diverses parties du corps. Il paraît établi que la résistance entre deux électrodes appliquées sur deux points déterminés du corps, est tantôt augmentée, tantôt diminuée par l'existence de certains états pathologiques. Charcot a regardé la diminution de la résistance électrique de la peau comme un symptôme important du goître exophtalmique; plusieurs auteurs attribuent cette diminution à la transpiration presque constante des personnes atteintes de cette affection, tandis que d'autres auteurs l'attribuent à l'état du système vaso-moteur. Chez les hystériques et les épileptiques la résistance est généralement augmentée, Dubois a constaté que, dans un cas d'hémiplégie, la résistance d'un bras était sept fois plus grande du côté malade que du côté sain. La résistance a plutôt tendance à diminuer dans la chorée, la manie et la neurasthénie. Nous n'insisterons pas davantage sur ce moyen de diagnostic, relativement à la valeur duquel il y a, à notre avis, bien des réserves à faire dans l'état actuel des connaissances acquises sur les résistances du corps humain (n^o 32).

Beaucoup plus certaine et précieuse est la méthode d'électro-diagnostic basée sur l'examen des réactions électriques des nerfs et des muscles. On a indiqué précédemment quelles réactions de cette nature se produisent, à l'état physiologique, sous l'influence des courants galvaniques (n^o 31 et 60) et faradiques (n^o 67); les modifica-

tions pathologiques de ces réactions, lorsqu'elles sont constatées avec soin, permettent non seulement de diagnostiquer certaines maladies nerveuses, mais encore d'arriver à des conclusions importantes concernant la durée probable et la gravité de ces maladies. C'est toujours la méthode unipolaire qui doit être adoptée, en donnant de grandes dimensions à l'électrode indifférente (généralement appliquée sur la région dorsale) et, au contraire, de petites dimensions à l'électrode active destinée à concentrer le courant sur les parties à explorer. On peut avoir à observer soit des modifications *quantitatives*, se rapportant à l'intensité des réactions musculaires sous l'influence de l'excitation électrique, soit des modifications *qualitatives*, concernant l'excitation produite par l'application alternative des pôles positif et négatif (anode et cathode) du courant.

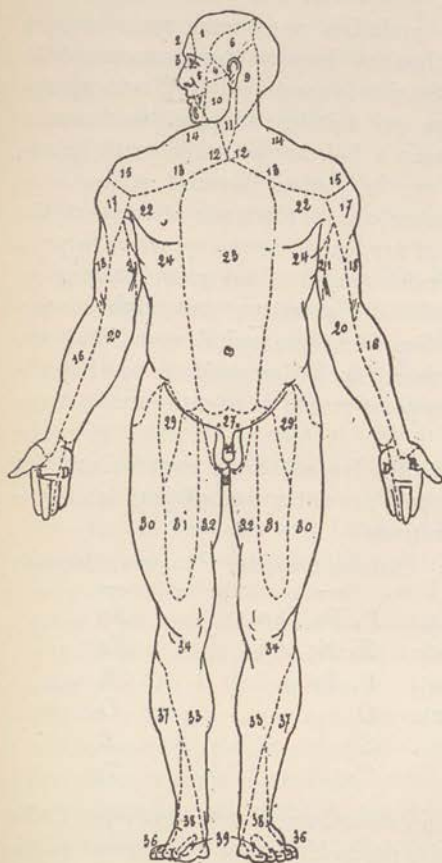
Il est utile de connaître les notations conventionnelles suivantes, que la plupart des auteurs emploient dans l'exposé de leurs observations :

| | Auteurs Français | Auteurs Allemands |
|-------------------------|------------------|-------------------|
| Pôle positif ou anode. | P, Po, An | An |
| Pôle négatif ou cathode | N, Ne, Ca | Ka |
| Fermeture du courant. | F, Fe | S |
| Ouverture du courant. | O | O |
| Secousse | S | Z |
| Tétanisation. | Te | Te |

Au moyen de ces notations, on peut désigner par Ca Fe S la secousse produite par la fermeture du courant galvanique lorsque la cathode est appliquée comme électrode active, par An OS la secousse produite par l'ouverture du courant avec une électrode active anodique, et cœtera.

84. *Topographie des points moteurs*. — Pour procéder

à l'examen des réactions électriques des nerfs et des mus-



1. Nerf sus-orbitaire qui alimente la peau du front et du crâne.
2. Nerf sus-trochléaire.
3. Racine du nez alimentée par le nerf lacrymal.
4. Nerf temporo-maxillaire.
5. Nerf sous-orbitaire allant à la paupière inférieure, à l'aile du nez, à la lèvre supérieure.
6. Nerf auriculo-temporal.
7. Nerf buccal se rendant à la joue et à l'angle de la bouche.
8. Dentaire inférieur.
9. Branche mastoïdienne du plexus cervical.
10. Branche auriculaire du plexus cervical.
11. Branche cervicale transverse.
12. Rameau sussternal de la branche sus-claviculaire.
13. Rameau moyen de la même branche.
14. Rameau sus-claviculaire.
15. Rameau acromial de la branche sus-claviculaire.
16. Nerf musculo-cutané de la région externe de l'avant-bras.
17. Région du nerf circlexe.
18. Branche cutanée externe du radial.
19. Branche cutanée interne du radial.
20. Brachial cutanée interne.

Fig. 119.

cles d'un malade, il est indispensable de choisir les meilleurs points d'application de l'électrode active pour exciter

spécialement et exclusivement le nerf ou le muscle à étu-

21. Accessoire du brachial cutané interne.
22. Deuxième et troisième nerfs perforants latéraux.
23. } Nerfs intercostaux.
24. }
25. Branche abdomino-génitale supérieure (fesses).
26. Branche abdomino-génitale supérieure (abdomen).
27. Branche abdominale
28. Branche abdomino-génitale inférieure.
29. Branche inguino-cutanée interne.
30. Branche inguino-cutanée externe.
31. Branche fémoro-cutanée.
32. Nerf musculo-cutané interne.
33. Saphène interne.
34. Rameaux du nerf crural allant au genou.
35. Tibial postérieur.
36. Saphène interne.
37. Rameau cutané du sciatique poplité interne.
38. Musculo-cutané du sciatique poplité interne.
39. Rameaux postérieurs de la région lombaire.
40. Rameau cutané du petit sciatique.
41. Rameau scrotal du petit sciatique.
42. Nerf dorsal de la verge.
43. Nerf hémorrhoidal inférieur.

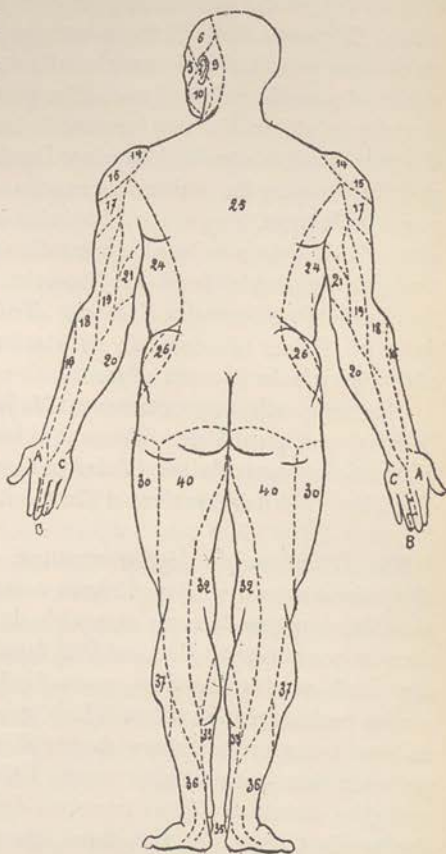


Fig. 120.

dier. On doit à Duchesne de Boulogne les premières indications exactes qui aient été données sur la localisation

des effets moteurs des courants ; cet intéressant sujet a fait ensuite l'objet des études de plusieurs physiologistes éminents, Ziemssen, Erb, Onimus, etc ; grâce à ces travaux, il est devenu possible de dresser le tableau des points d'émergence des nerfs utiles à connaître pour les applications électriques ou, en d'autres termes, de tracer la topographie des points moteurs où doit-être appliquée l'électrode active pour provoquer les meilleures réactions motrices. Les figures suivantes, 119 et 120, destinées à servir pour ainsi dire, d'aide mémoire, sont empruntées au *Manuel d'électrologie médicale* de M. G. Trouvè; elles sont extraites du *Guide Pratique des Sciences Médicales* et ont paru dans la *Revue illustrée de polytechnique médicale et chirurgicale* du 30 août 1891.

D'autres praticiens, notamment M. le docteur Castex, de Rennes, ont publié des figures qui indiquent des points d'insertions musculaires (Voir, par exemple, le numéro d'octobre 1895 des Archives d'Electricité médicale).

85. Réaction de dégénérescence. — La réaction de dégénérescence, que l'on désigne souvent, pour abrégé, par DR, consiste dans un ensemble de variations qualitatives et quantitatives d'excitabilité faradique et galvanique des nerfs et des muscles, sous l'influence de certaines causes pathologiques. C'est à Erb que sont dues les premières études méthodiques de ces phénomènes dont l'importance est considérable pour l'électrodiagnostic des maladies nerveuses. Nous trouvons dans le *Traité de médecine* de Charcot et Bouchard, un exposé magistral de cette question par M. Babinski ; nous ne pourrions puiser à meilleure source nos inspirations pour traiter, en le résumant, un sujet de cette importance.

Les phénomènes de la réaction de dégénérescence sont très nettement accusés dans les paralysies traumatiques,

ainsi que dans la paralysie faciale d'origine périphérique. Moins nets dans les autres paralysies, ces phénomènes peuvent cependant se manifester d'une manière assez caractéristique pour fournir des indications fort utiles.

Dans la période d'état, la réaction de dégénérescence présente les caractères suivants :

A. Abolition complète de l'excitabilité du tronc nerveux, sous l'influence des courants galvaniques et des courants faradiques (Une légère augmentation de l'excitabilité électrique, durant un jour ou deux, se produit quelquefois au début, dans un cas de traumatisme ; elle diminue ensuite progressivement ; et la période d'état s'établit au bout d'une huitaine de jours).

B. Abolition de l'excitabilité des muscles sous l'influence des courants faradiques (1), tandis que cette excitabilité est conservée et même augmentée sous l'influence des courants galvaniques. La secousse obtenue par la fermeture du courant galvanique diffère beaucoup de la secousse physiologique ; tandis que celle-ci est très rapide, presque instantanée, la secousse pathologique dont nous parlons est paresseuse et lente, même avec un courant d'intensité faible ; en sorte qu'il se produit une tétanisation qui persiste jusqu'à l'ouverture du courant. (C'est dans le cours ou vers la fin de la deuxième semaine que se produit l'augmentation de l'excitabilité galvanique qui peut, dans les semaines suivantes, atteindre un degré très élevé et être accompagnée de modifications qualitatives de la secousse).

Le retour de l'état physiologique est toujours lent à se produire. La période d'état peut subsister pendant plus de cinq semaines.

(1) Il est possible cependant qu'une excitation très énergique produise une réaction.

La réaction de dégénérescence peut se manifester sous une forme *fruste*, lorsqu'il s'agit de névrites dues à des causes internes, dans lesquelles le nerf présente des altérations plus ou moins profondes sans que toutes les fibres soient également atteintes. Dans ce cas, M. Babinski attache une grande importance aux caractères suivants :

A. Abolition de l'excitabilité galvanique ou faradique du tronc nerveux.

B. Abolition ou diminution de l'excitabilité faradique des muscles et ralentissement de la contraction due à la fermeture du courant galvanique.

86. Réaction partielle. — Les caractères complets et typiques de la DR, tels que nous venons de les décrire, n'existent que partiellement dans certains cas. On se trouve alors en présence d'une DR particulière à laquelle Erb a donné le nom de *réaction de dégénérescence partielle*.

L'excitabilité des nerfs est conservée, au moins en partie, sous l'influence des courants galvanique et faradique, tandis que les muscles restent soumis aux caractères qui correspondent à la période d'état.

La constatation de la DR partielle conduit à un diagnostic moins grave que celle de la DR complète; elle indique des désordres pathologiques moins sérieux et permet un pronostic plus favorable.

Il arrive souvent que l'excitabilité faradique des muscles est seulement diminuée, au lieu d'être complètement abolie. D'après Remach, il n'est pas rare d'observer une contraction lente à la suite du passage d'un courant faradique. M. Babinski a vu la contractilité faradique s'épuiser plus ou moins complètement au bout de 10 à 20 secondes, sous l'influence d'un courant volta-faradique tétanisant; le muscle ne recouvrait sa contractilité première qu'après un repos de 15 à 30 secondes; inverse-

ment, M. Babinski a vu l'excitation faradique des muscles provoquer une crampe qui persistait pendant 20 à 60 secondes après le passage du courant.

87. Réaction à distance. — La *réaction de dégénérescence à distance* est une autre forme de la DR qui peut rendre quelques services pour le diagnostic de certaines affections nerveuses. La méthode d'exploration consiste à établir une assez grande distance entre les électrodes et le muscle exploré. L'électrode indifférente étant, comme à l'ordinaire, placée au-dessous de la nuque, on place l'électrode active en un point qui varie selon la situation du muscle.

Le Dr Ghilarducci, de Rome, qui s'est spécialement occupé de cette forme de réaction (signalée avant lui par M. Huet et par M. le professeur Doumer, de Lille), divise les muscles en deux catégories, ceux à tendon long et grêle et ceux à tendon gros et court. Dans le premier cas, l'électrode active doit être appliquée à l'extrémité de la portion tendineuse; dans le second cas, elle doit être appliquée à distance des muscles (sur le dos de la main s'il s'agit du deltoïde, à la moitié du mollet s'il s'agit du muscle biceps fémoral, etc.).

L'électrode active doit être cathodique; c'est surtout à la fermeture que les contractions se manifestent; ces contractions sont remarquables par leur énergie. Les excitations sont amplifiées, ce qui permet de préciser les indications dans les cas qui resteraient douteux en appliquant la méthode d'Erb. Le docteur Ghilarducci fait remarquer, pour expliquer ce phénomène, que les ondes électriques parcourant le muscle sont plus lentes avec l'exploration à distance qu'avec l'exploration ordinaire.

88. Valeurs séméiologique et pronostique de la DR.

— La DR complète ou partielle peut servir, lorsqu'elle se présente, à diagnostiquer les maladies suivantes :

1^o Affections des nerfs périphériques ;

a. Traumatismes : section, contusion, écrasement, compression ;

b. Névrites succédant au traumatisme, à une intoxication, à une infection.

2^o Affections des centres nerveux ;

a. Cornes antérieures de la moelle : paralysie spinale de l'enfance, paralysie spinale aiguë de l'adulte ;

Paralysie spinale antérieure subaiguë (même dans la paralysie diffuse de Duchenne) ;

b. Myélites diffuses ;

c. Affections diverses de la moelle : atrophie musculaire progressive (types Aran-Duchenne et Charcot-Marie) ; syringomyélie ; sclérose latérale amyotrophique.

Le pronostic peut être aussi éclairé par les résultats des observations auxquelles conduit la recherche de la DR ; voici des indications à ce sujet :

1^o La névrite saturnine ;

les paralysies périphériques ;

les paralysies spinales ;

les paralysies traumatiques.

ont un pronostic lié à la disparition ou à la diminution de la contractilité faradique.

2^o La paralysie faciale *a frigore* présente les particularités suivantes :

Si la DR n'est pas constatée, la guérison sera rapide. Elle se fera attendre environ deux à trois mois en cas de DR partielle. En cas de DR complète, on peut pronostiquer la longue durée et peut-être l'incurabilité de l'affection.

Toutefois on ne doit pas conclure sans s'inspirer, d'autre part, des renseignements fournis par les autres symptômes.

89. *Electro-diagnostic en gynécologie.* — Grâce aux travaux d'Apostoli, Bergonié, Le Blond, Chéron, Régnier, etc., l'électricité rend aujourd'hui les plus grands services pour le traitement des fibromes et autres affections utérines. Elle constitue, en outre, un précieux moyen de diagnostic de divers états pathologiques de l'utérus et de ses annexes.

La sensibilité de l'utérus au courant galvanique continu est subordonnée à celles des annexes. D'après Apostoli, un utérus qui supporte sans réaction opératoire ou post-opératoire un courant de 100 à 150 milliampères a toujours sa périphérie saine; c'est un utérus tolérant, la chose est incontestable, mais n'est-ce pas abuser de sa tolérance que de le soumettre à un courant si intense! Il suffirait, nous semble-t-il, d'interroger l'utérus avec un courant de 50 milliampères, puisque, toujours d'après Apostoli, la périphérie de l'utérus est suspecte s'il ne supporte pas ou supporte mal ce courant et réagit après l'opération. Tout utérus dont l'intolérance s'atténue avec le temps possède des annexes dont le processus inflammatoire est en régression. Lorsqu'un utérus ne peut pas supporter un courant de 20 à 50 milliampères d'après Apostoli, ou de 15 milliampères seulement, d'après Régnier, il possède des annexes affectés de lésions suppurées ou kystiques non justiciables de la chirurgie conservatrice.

Nous croyons que cette dernière conclusion est sujette à quelques réserves. Pendant notre internat dans le service et sous la direction de M. le docteur Le Blond, nous avons eu l'occasion de faire personnellement les observations suivantes, que nous avons ainsi rapportées dans notre thèse de Doctorat.

« Nous avons eu nous-même l'occasion de pratiquer « l'électrolyse dans des cas où l'infection de l'utérus « s'étendait jusqu'à ses annexes inclusivement; nous

« n'avons jamais dépassé une intensité de 25 milliampères
« et une durée de cinq minutes ; dans ces conditions, la
« première séance était presque toujours suivie de dou-
« leurs assez vives dans toute la région abdominale ;
« au bout de trois ou quatre séances, les douleurs ne se
« produisaient plus ».

C'est aux effets antiseptiques du courant que nous croyons devoir attribuer cette disparition des douleurs.

Le courant galvanique peut fournir des indications précises pour le diagnostic et pour le pronostic des fibromes utérins. En prenant pour anode l'électrode active, introduite dans l'utérus, on constatera après quelques séances ou bien que les symptômes fâcheux s'atténuent manifestement, ou bien qu'ils persistent et s'aggravent. Dans le premier cas, il faudra continuer l'application du courant jusqu'à ce qu'il ait produit tout son effet salutaire ; dans le second cas, on pourra généralement constater soit l'existence des tumeurs fibrokystiques, soit la dégénérescence maligne des fibromes, d'où la nécessité d'une intervention chirurgicale.

L'emploi du courant faradique calme rapidement la douleur ovarienne, lorsqu'elle est hystérique. Si la douleur résiste à l'action de ce courant, on peut affirmer que sa cause n'est pas hystérique ; il faut alors, suivant les cas, recourir soit au courant galvanique, soit à l'intervention chirurgicale.

L'exploration électrique de l'utérus est contre-indiquée par la grossesse et par la péritonite aiguë : dans ces deux cas, elle serait dangereuse ; elle ne l'est ailleurs que dans ces deux cas.

90. *Electro-diagnostic d'affections diverses.* — Nous croyons, utile de compléter ce paragraphe de l'électro-

diagnostic par des indications spéciales concernant diverses affections.

a. *Plaies par armes à feu.* — Il importe toujours, de savoir si le projectile n'est pas resté dans le tissu, surtout lorsqu'il s'agit d'une plaie abdominale. On peut facilement retrouver ce projectile s'il est resté à fleur de peau ; il est plus difficile de le retrouver dans les autres cas. Fréquemment, dit M. le professeur Duplay, le projectile s'enkystrera ; avant de recourir à un moyen d'exploration, on ne devra pas oublier qu'un stylet engagé rompra ou brisera bien souvent l'artère ou le gros vaisseau que le projectile avait contourné.

L'emploi des rayons X permet de constater la présence, dans une région quelconque du corps, d'un corps étranger métallique ou non.

L'*explorateur électrique Trouvé* peut aussi s'employer

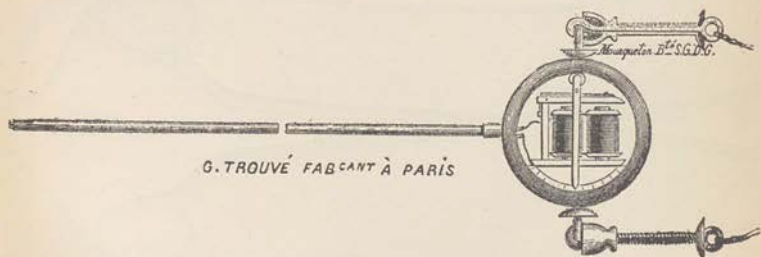


Fig. 121.

avec avantage. Il se compose (Fig. 121) de deux parties respectivement appelées révélateur et stylet. On commence par explorer la plaie au moyen d'une canule rigide ou souple, à mandrin mousse, et l'on se sert de cette sonde pour introduire le stylet du révélateur ; ce stylet est formé de deux tiges d'acier isolées électriquement et terminées en pointes acérées ; quand la plaie est fermée, le stylet est

simplement composé de deux aiguilles ordinaires à acupuncture, reliées au révélateur par des fils conducteurs. Ce révélateur est analogue à une sonnette électrique, actionnée par une pile au bisulfate de mercure ; il est renfermé dans une petite boîte en argent, en forme de montre, munie de chaque côté d'une glace transparente épaisse ; les fils conducteurs de la pile aboutissent à deux anneaux, par deux petits mousquetons spéciaux. Le circuit électrique sera fermé quand un corps métallique sera touché par les deux pointes du stylet et jouera le rôle du bouton d'appel d'une sonnette électrique, en faisant vibrer le révélateur.

Après avoir reconnu la position du projectile, le chirurgien peut en opérer l'extraction au moyen de l'*extracteur*

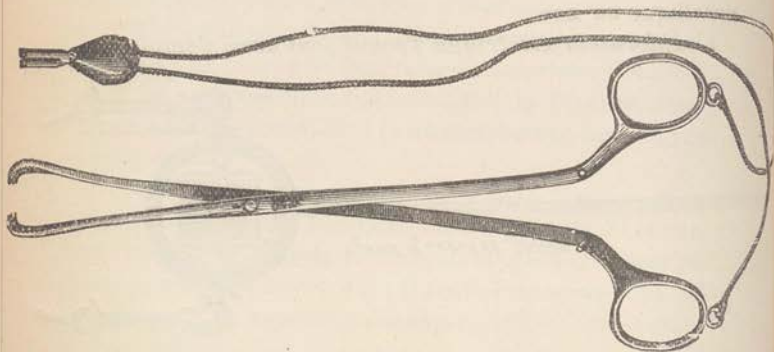


Fig. 122.

teur Trouvé. Cette extracteur électrique (Fig. 122) est une longue pince d'acier, dont les deux branches sont isolées électriquement l'une de l'autre et qui prend la place du stylet ; on peut saisir sûrement l'objet métallique, sans s'exposer à prendre un os, ou un tissu voisin.

b. *Plaies des os, fractures, cals, etc.* — Lorsque le dia-

gnostic est rendu difficile par la présence d'une tuméfaction ou d'un épanchement, la radioscopie ou la radiographie permettra de préciser ce diagnostic.

c. *Compression des nerfs.* — Elle est généralement caractérisée par l'absence de contractilité sous l'influence des courants électriques. Quelquefois cependant l'excitabilité électrique est conservée, mais on peut alors constater aussi l'absence d'atrophie musculaire.

d. *Stomatite mercurielle et hydrargyrisme.* — M. Balzer a imaginé un petit instrument qui révèle la présence des quantités infinitésimales de mercure dans l'organisme. Cet appareil se compose, d'un anneau d'or placé à l'intérieur d'un anneau de cuivre dont il est séparé par un isolant; ces deux métaux constituent une petite pile électrique lorsqu'il sont mis en contact avec un liquide acidulé, il suffit donc de les appliquer sur la gencive, par exemple, pour que l'anneau d'or acquière des traces d'amalgamation lorsqu'il y a présence du mercure.

e. *J. Destarac. Trois cas de paralysie hystérique chez les enfants. Valeur diagnostique et thérapeutique de l'électricité (Archives d'Electricité médicale, 1897, 15 Décembre, p. 466).* — L'auteur rapporte trois observations de paralysie hystérique chez des enfants ne présentant aucun autre stigmate d'hystérie. La première concerne une petite fille de huit ans atteinte d'astase-abasie; les jambes présentent une paralysie flasque, mais ont conservé des mouvements dans la position assise et dans la marche à quatre pattes. Pas de réaction de dégénérescence, pas d'anesthésie. La guérison est obtenue après une séance de faradisation énergique et douloureuse. La seconde concerne une fille de dix ans atteinte de paralysie des deux jambes à la suite de douleurs. Pas trace de réaction de dégénérescence, pas d'anesthésie, réflexes rotuliens conservés. Quelques minutes de faradisation amenèrent la

guérison. Le troisième cas est celui d'un jeune garçon présentant une monoplégie du bras gauche consécutive à un panaris du doigt. La guérison fut amenée par une séance de faradisation.

L'auteur se demande avec raison si ces guérisons si rapides sont dues à l'action thérapeutique de l'électricité ou à la suggestion.

Il insiste sur la grande valeur thérapeutique de l'électricité et sur les services que cet agent peut rendre dans l'électro-diagnostic ; il combat l'opinion généralement admise de l'existence de la réaction de dégénérescence dans les paralysies hystériques.

(A Vigouroux).

§ 2. — MALADIES DE LA PEAU

Cicatrices. — Tatouages. — Sycosis de la barbes, Epilation. — Nœvi materni. — Angiomes cutanés. — Verrues, Végétations. — Ulcères. — Lupus. Elephantiasis.

91. *Cicatrices.* — On peut avec le secours de l'électricité réagir soit contre la coloration, soit contre des adhérences avec les plans sous-jacents.

Pour faire disparaître la coloration on peut employer la galvanisation stable; on prend la cathode comme électrode active appliqué sur la cicatrice, et l'anode comme électrode indifférente; l'intensité du courant doit-être d'environ 10 milliampères; les séances auront une durée de 10 minutes et seront répétées deux ou trois fois par semaine. Dans certains cas il convient de remplacer l'électrode active par une aiguille dont on dirige successivement l'action électrolytique sur des points cicatriciels suffisamment rapprochés, de manière à faire naître autour des piqûres des petits cercle blancs qui se juxtaposent et font disparaître la coloration primitive.

Pour faire disparaître les adhérences on aura recours au massage faradique.

92. *Tatouages.* — Pour détruire un tatouage, M. le docteur Variot conseille de le badigeonner avec une solution de tannin, de faire ensuite des piqûres à l'aiguille et d'appliquer sur ces piqûres une solution de nitrate d'argent. M. le docteur Jullien, médecin de Saint Lazare, a obtenu d'excellents résultats en remplaçant le tannin par le bioxalate de potasse.

M. le Docteur Fauveau de Courmelles préconise la bi-électrolyse (n^o 59) avec aiguilles trempées successivement dans le tannin et dans l'azotate d'argent. L'aiguille est prise comme anode, la cathode se place en pôle perdu. Le résultat que l'on obtient ainsi est une cicatrice peu visible formée par des points blancs juxtaposés. L'intensité du courant doit être de 10 à 12 milliampères; les séances doivent se succéder à cinq ou six jours d'intervalle.

93. Sycosis de la barbe. Epilation. — Le sycosis parasitaire de la barbe est une affection cutanée dont le traitement exige l'épilation.

Nous recommandons tout spécialement dans ce cas l'épilation électrique, qui présente le double avantage de n'être pas douloureuse et de ne pas laisser de cicatrices visibles. On peut employer l'un ou l'autre des deux procédés de galvanisation suivants. Dans les deux cas on prend comme anode indifférente une plaque recouverte de peau de chamois, appliquée sur la peau dans le voisinage de la région à épiler.

La première méthode consiste à enfoncer l'aiguille recourbée qui sert de cathode active jusqu'au niveau du bulbe pileux; on fait passer un courant de deux à six milliampères; le poil, saisi avec une pince sans exercer aucune traction, ne tarde pas à se détacher par suite de l'action électrolytique du courant,

La seconde méthode, dont nous revendiquons la priorité, n'exige pas l'emploi d'une aiguille. C'est la pince elle-même qui sert de cathode active; elle est isolée de la main de l'opérateur soit au moyen d'un gant, soit par tout autre moyen; la région à épiler est préalablement lavée avec de l'éther ou de l'alcool, de manière à dégraisser le poil qu'on humecte ensuite avec un liquide conducteur tel qu'une dissolution de chlorure de sodium; on n'exerce

aucune traction avec la pince ; l'action électrolytique se produit au niveau de la séparation du bulbe pileux et du tissu environnant ; le poil se détache en quelques secondes. Cette méthode que nous avons employée en plusieurs circonstances, a l'avantage de ne produire aucune cicatrice et de supprimer complètement la douleur qu'occasionnerait l'enfoncement d'une aiguille. Il suffit que l'intensité du courant soit, comme ci-dessus, de deux à six milliam-pères ; elle pourrait d'ailleurs être augmentée sans aucun inconvénient.

L'épilation électrique est toujours définitive, c'est-à-dire que la récidive n'est jamais à craindre. Si l'on constatait ultérieurement la réapparition de quelques poils, elle serait uniquement due à ce l'opérateur les aurait arrachés par mégarde au lieu de les laisser détruire par l'action du courant. L'opérateur peut éviter ce petit danger en ayant soin d'espacer suffisamment les séances d'épilation pour ne lasser ni sa patience ni celle du sujet. Il faut d'ailleurs éviter d'enlever dans une même séance plusieurs poils contigus ; grâce à cette précaution on n'aura à redouter aucune inflammation post-opératoire.

94. *Nœvi materni*. — Les *nœvi materni*, vulgairement appelés *taches de vin*, sont justiciables du même traitement électrique que les angiomes cutanés, dont nous parlons ci-dessous.

95. *Angiomes cutanés*. — Les angiomes cutanés se présentent sous l'aspect de taches dont la coloration augmente sous l'influence d'un afflux sanguin. Cette coloration est rouge ou violette, suivant que l'origine de l'angiome est artérielle ou veineuse.

Nous trouvons dans le tome I du *Traité de Chirurgie* publié sous la direction de MM. Duplay et Reclus, un ma-

gistral exposé, dû à la plume de M. Quénu, chirurgien des hôpitaux. Nous en extrayons les passages suivants :

« En ces dernières années, l'usage de l'électro-puncture
« dans la thérapeutique des angiomes s'est tellement généra-
« lisé en France et à l'étranger, qu'on ne compte déjà plus
« les succès qu'elle a donnés. Les insuccès ont été rares et les
« quelques accidents qu'on a signalés, tels que la suppura-
« tion, l'érysipèle, etc., ne sont vraiment pas imputables à la
« méthode.

« D'une façon générale ce traitement consiste à implanter
« en pleine tumeur érectile des aiguilles métalliques, à tra-
« vers lesquelles on fait passer un courant électrique con-
« tinu.

« Deux questions sont à examiner, celle de l'intensité du
« courant et celle de la durée.

« Les Anglais attachent peu d'importance à mesurer le
« courant employé ; ils se basent sur les effets produits visi-
« bles du courant. De même Monoyer s'attache à l'observation
« de ce qui se passe au bout de son aiguille : généralement
« au bout de vingt à trente secondes, les piqûres s'entourent
« d'une zone blanche qui peu à peu grandit. Dès qu'elle a
« atteint trois ou quatre millimètres de rayon, il retire l'ai-
« guille et la place plus loin.

« Duncan utilise des courants de 40 à 80 milliampères,
« certains vont jusqu'à 100 milliampères.

« Boudet remarque qu'avec des courants plus faibles les
« caillots obtenus sont moins friables et que pour les
« tumeurs érectiles, en particulier, il est préférable de ne pas
« dépasser 20 à 25 milli-ampères, s'il y a moins de trois
« aiguilles ».

« *Mayor a obtenu un résultat satisfaisant en se bornant à*
« *des courants de 6 et même de 2 milli-ampères.*

« La durée doit nécessairement varier suivant l'importance
« de l'angiome ; en général les séances sont de cinq à dix
« minutes.

« Les suites sont des plus simples, la réaction totale est
« minime, la douleur cesse avec le passage du courant : au

« bout de quelques jours on observe à la place de l'aiguille
 « un petit noyau induré, après huit ou dix jours on est auto-
 « risé à faire une deuxième séance.

« Le nombre des séances nécessaires est évidemment des
 « plus variables, une seule peut guérir de petits angiomes, la
 « plupart du temps trois ou quatre suffisent à des angiomes
 « de moyenne importance. Mais dans le cas de tumeurs érec-
 « tiles diffuses, il faut agir sans craindre de multiplier les
 « séances, en laissant de temps en temps quelques intervalles
 « un peu plus longs, afin de pouvoir juger mieux les points
 « ou la rétraction s'opère. C'est ainsi que Schwartz a fait
 « subir en l'espace de deux ans 80 séances d'électro-puncture
 « à un malade atteint d'un angiome de la moitié de la face.

« La longueur du traitement dans ce cas et dans des cas
 « analogues se justifie bien par la diffusion de la lésion vas-
 « culaire et d'ailleurs *quel autre traitement eut été possible?*

« L'objection tirée de la douleur est plus recevable; il est
 « certain que les malades souffrent beaucoup pendant le pas-
 « sage du courant et surtout au moment de ses variations, à
 « son établissement et à son extinction. Schwartz, pour
 « atténuer cet inconvénient, a fait au préalable dans la
 « région à électriser une injection de 4 à 5 centigrammes
 « de cocaïne; s'il s'agit d'enfants de plus de huit à dix mois
 « ou d'adultes pusillanimes, rien n'empêche de recourir à
 « l'anesthésie chloroformique. *Les résultats de l'électro-punc-
 « ture se font encore remarquer par le peu d'importance et
 « souvent même par l'absence complète de cicatrice: c'est là un
 « avantage lorsqu'il s'agit d'un angiome de la face.* ».

En résumé, voici le manuel opératoire.

Cathode indifférente; anode active consistant en une
 aiguille ou un paquet d'aiguilles en or ou en acier, avec
 manche isolant. Courant galvanique d'une intensité de 6
 à 10 milliampères, intensité qu'il est toujours utile
 (quoiqu'en pensent quelques praticiens anglais) de con-
 trôler au moyen du galvanomètre. Durée de l'application
 du courant, de 30 à 60 secondes pour chaque piqûre.

Eviter autant que possible de multiplier, pendant une séance, les piqûres sur une même partie de l'angiome.

Ajoutons qu'à notre avis il ne faut jamais recourir à l'emploi de courants intenses. Un courant faible agissant plus longtemps vaut mieux qu'un courant fort de durée moindre (1).

96. Verrues, végétations. — La galvanisation permet soit d'atrophier, soit de sectionner ces tumeurs. On prendra toujours l'anode comme électrode indifférente.

Si l'on veut obtenir l'atrophie, on prend pour cathode active une plaque de faibles dimensions que l'on applique sur les tumeurs. Intensité du courant, environ 10 milliampères ; séance de 10 minutes une fois par semaine. Les autres moyens thérapeutiques doivent être employés parallèlement avec ce traitement par l'électricité.

Pour sectionner une des tumeurs on prend pour cathode active une aiguille en or, que l'on enfonce au niveau de la base d'implantation et à laquelle on imprime de légers mouvements de bascule pendant le passage d'un courant de 8 à 10 milliampères. Si la tumeur à sectionner est un peu volumineuse, on remplace l'aiguille par l'anse galvanique.

97. Ulcères. — L'emploi de la galvanisation et de la faradisation pour faire cicatriser les ulcères n'a pas donné jusqu'ici des résultats encourageants.

M. Marquant a exposé, dans sa thèse de doctorat en 1874, les résultats des études qu'il a faites, sous la direc-

(1) Les *angiomes des muqueuses* (généralement d'origine veineuse), sont justiciables du même traitement que les angiomes cutanés. Quant aux *angiomes sous-cutanés*, ils sont justiciables d'un traitement analogue à celui des anévrismes dont nous parlerons plus loin.

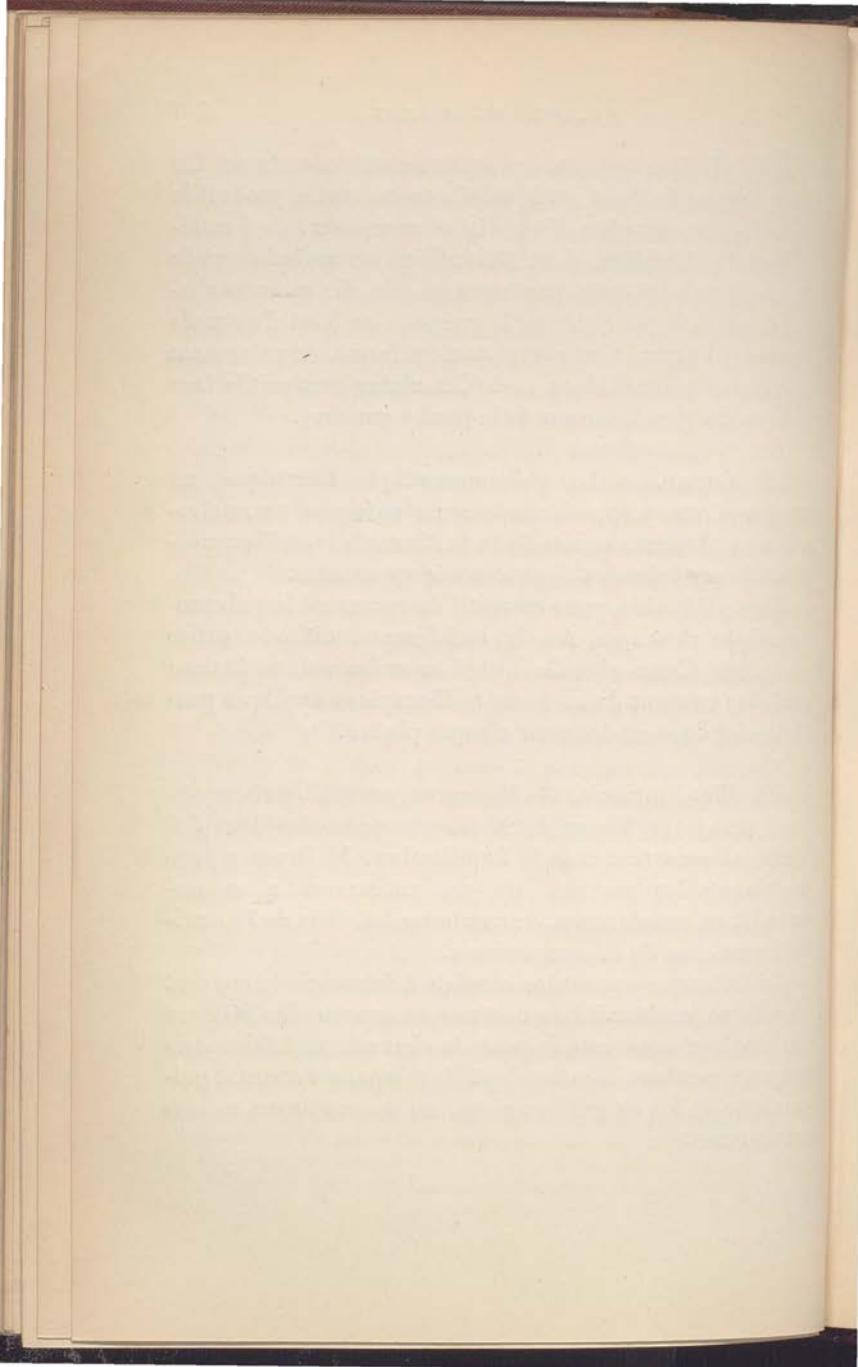
tion de M. Doumer, sur les actions combinées du souffle électrique et du bain statique. Ce traitement a produit la cicatrisation complète d'un ulcère variqueux, de 6 centimètres de diamètre, dont était affligé un malade âgé de 61 ans; trois séances par semaine, de dix minutes chacune, ont suffi pour obtenir la guérison au bout d'un mois environ; l'ulcère s'est complètement fermé, en présentant une cicatrice d'un blanc rosé (Cet ulcère occupait la face externe du tiers inférieur de la jambe gauche).

98. *Lupus*. — La galvanocaustique thermique, au moyen d'une pointe incandescente enfoncée successivement en plusieurs points de la partie malade, a l'inconvénient de produire des cicatrices très apparentes.

Il est préférable, pour ce motif de recourir à la galvanocaustique chimique. Anode indifférente, cathode active composée d'une aiguille que l'on enfonce dans le tissu malade; courant de 15 à 20 milliampères appliqué pendant 15 à 60 secondes pour chaque piqûre.

99. *Elephantiasis*. — Moncorvo, en 1848, puis, après lui, Arango et Vieira de Mello ont préconisé l'emploi de la galvanisation et de la faradisation. M Broca a jugé concluants les travaux de ces auteurs et a recommandé, en conséquence, de combiner les effets de l'électricité avec ceux de la compression.

La technique opératoire consiste à faire agir le courant faradique pendant 5 à 10 minutes, au moyen d'excitateurs en charbon recouverts de peau de chamois, et à faire agir ensuite, pendant le même laps de temps, un courant galvanique de 5 à 10 milliampères, au moyen de ces mêmes excitateurs.



§ 3. — MALADIES DE L'APPAREIL D'INNERVATION

Hémorragies méningées. — Maladies de l'encéphale. — Maladies de la moelle. — Maladies des nerfs périphériques. — Myopathie primitive progressive. — Goître exophtalmique. — Neurasthénie. Hystérie. — Migraine.

100. *Hémorragies méningées.* — Les épanchements sanguins dans les enveloppes du cerveau peuvent se produire soit entre les os du crâne et la dure-mère, soit entre la dure-mère et l'arachnoïde (hémorragie sus-arachnoïdienne), soit entre l'arachnoïde et la pie-mère (hémorragie sous-arachnoïdienne).

L'emploi du courant galvanique, à défaut d'autres moyens thérapeutiques, est préconisé par quelques auteurs. L'application doit se régler d'après le siège de l'hémorragie ; elle aurait pour effet d'activer la résorption de l'épanchement sanguin. Nous donnons ces indications sous toutes réserves.

101. *Maladies de l'encéphale.* — Plusieurs affections de l'encéphale sont plus ou moins justiciables du traitement par l'électricité ; nous indiquerons notamment les suivantes.

a. *Hémiplégie.* — D'après Onimus, on peut commencer l'application des courants continus sept ou huit jours après le début de l'hémiplégie : on place l'électrode positive sur le front (du côté de la lésion cérébrale) et la négative sur la nuque, et l'on fait passer pendant environ 3 minutes un courant de 2 à 5 milliampères. On place ensuite l'électrode négative sur le ganglion cervical supérieur et l'on fait passer pendant 5 minutes un courant de 6 à 10 milliam-

pères. Si l'hémorragie a été légère, on obtient un bon résultat dès les premières séances; si, au contraire, l'hémorragie a été très forte, l'action du courant est peu efficace, elle ne peut que calmer les douleurs et faire momentanément cesser les contractures.

b. *Epilepsie Jacksonienne*. — Bardet, Larat et Vigouroux déclarent que l'électricité n'a encore rendu aucun service bien constaté dans le traitement de cette maladie. M. Foveau de Courmelles conseille de placer sur le thorax une anode indifférente et de prendre pour cathode active une aiguille que l'on enfonce dans l'écorce cérébrale au siège de la lésion; l'intensité du courant galvanique serait de 3 milliampères et la durée de son application serait de 3 à 5 minutes. Cette méthode ne paraît pas avoir rencontré beaucoup de partisans; inutile d'ajouter que nous ne la recommandons pas.

c. *Anémie et congestion cérébrale*. — Vigouroux regarde la faradisation des carotides comme un moyen d'agir sur la circulation cérébrale. Bardet ne croit pas ce moyen d'action bien sérieux et constate l'absence de résultats acquis.

Peut-être pourrait-on employer utilement l'autoconduction.

d. *Hémorragie cérébrale*. — Mêmes observations que pour les hémorragies méningées.

e. *Ophthalmoplégie nucléaire progressive*. — Cette affection appelée aussi *polioencéphalite supérieure chronique*, provient d'une lésion des pédoncules cérébraux. La galvanisation rendra aux muscles un peu de tonicité. Erb applique l'anode active sur l'une des paupières et la cathode indifférente sur le côté opposé de la nuque; l'intensité du courant ne doit pas dépasser 10 milliampères.

Lorsque la maladie est d'origine syphilitique, c'est seulement sur le traitement spécifique que l'on doit compter.

C'est donc lorsque l'origine de la maladie n'est pas vénérienne qu'il y a lieu de recourir à la galvanisation comme unique moyen de traitement.

f. *Paralysie labio-glosso-laryngée*. — La galvanisation de la colonne vertébrale, associée à la galvanisation et à la faradisation des muscles atrophiés ou paralysés, est indiquée comme efficace par M. Guinon (*Traité de médecine* de Charcot et Boucharde). Il ne faut pas d'ailleurs renoncer aux moyens thérapeutiques ordinaires.

102. *Maladies de la moelle*. — L'emploi de l'électricité doit-être absolument évité pendant la période de début des maladies de la moelle épinière (1), ainsi que pendant les poussées congestives. Ces réserves faites, nous indiquerons comme justiciables du traitement électrique les affections suivantes.

a. *Myélite aiguë*. — Lorsque le mouvement fébrile et les convulsions ont disparu, on peut recourir à la galvanisation. Anode indifférente appliquée sur la nuque, cathode active placée en divers points de la colonne vertébrale, surtout au niveau de l'inflammation ; intensité du courant prudemment graduée de 5 à 15 milliampères.

MM. Apostoli et Planet ont présenté, le 14 avril 1898, à la Société Française d'Electrothérapie une note concernant un cas de myélite aiguë infectieuse guéri par l'électricité ; voici les conclusions de ces éminents praticiens,

1^o Dans le cours d'une infection grippale, on peut observer des troubles multiples du système nerveux relevant soit d'une myélite, soit d'une névrite périphérique ;

2^o La myélite grippale rentre dans le groupe des myé-

(1) Il n'est pas inutile de rappeler que la moelle épinière se termine inférieurement à la dernière vertèbre dorsale. C'est donc à tort que certains auteurs indiquent les vertèbres inférieures à celle-ci comme points d'applications d'une électrode active.

lites aiguës infectieuses, à côté de la myélite syphilitique aiguë et de la myélite rabique.

Dans les myélites de ce genre, la moelle est envahie par les agents microbiens eux-mêmes ou simplement par les toxines.

Il n'existe pas de lésion anatomique proprement dite. La démonstration est évidente après les recherches de Cettinger et Marinesco, et les expériences de Widal et Bezançon ;

3^o La myélite aiguë grippale peut emprunter, au point de vue symptomatique, la forme d'une des maladies systématiques de la moelle, de la sclérose latérale amyotrophique de Charcot, par exemple ;

4^o Tandis que la maladie de Charcot a une marche fatalement progressive, la myélite aiguë grippale, de même que la myélite aiguë syphilitique, peut se terminer par la guérison.

5^o Dans les myélites aiguës infectieuses, il s'agit simplement de troubles dynamiques, tandis que, dans les myélites systématiques, il s'agit d'un processus destructeur ;

6^o A des troubles dynamiques, il convient d'appliquer une médication ayant pour effet de modifier la circulation et la nutrition.

La cure électrique nous paraît répondre à cette indication, et elle nous a donné un succès remarquable sous forme de galvanisation ascendante de la moelle.

b. *Paralysie infantile*. — Ne jamais recourir à l'électricité avant que la période de régression n'ait commencé ; on risquerait de communiquer à une moelle enflammée des excitations plutôt dangereuses. Pendant la période de régression on peut employer le traitement électrique pour lutter contre les atrophies musculaires et les paralysies. Duchenne de Boulogne a obtenu de bons effets par la faradisation musculaire, associée à l'hydrothérapie et au massage. D'autres praticiens ont préconisé la galvani-

sation soit continue, soit avec inversions fréquentes du courant.

A notre avis, c'est au niveau des muscles atteints qu'il convient de porter les excitations électriques, en évitant de mettre en cause les centres nerveux.

c. *Tabès dorsalis*, (appelé aussi *ataxie locomotrice*). Onimus recommande de ne pas électriser le malade pendant les poussées congestives.

D'après Rumpf, la révulsion cutanée au moyen du pinceau faradique modifie favorablement la marche de la maladie. Le docteur Vigouroux emploie les étincelles et la friction électrique sur le tronc et les membres inférieurs. Le docteur Joffroy recommande la galvanisation fréquemment intervertie.

d. *Syringomyélie*. — Cette affection, caractérisée par l'existence de cavités dans la colonne médullaire, est justifiable de la révulsion électrique, qui présente, comparativement aux autres moyens de révulsion, l'avantage de ne pas produire de troubles trophiques cutanés.

La faradisation et la franklinisation paraissent indiquées, en les portant soit localement sur la colonne vertébrale, soit au niveau des atrophies musculaires.

e. *Compression de la moelle*. — Éviter l'emploi de l'électricité pendant l'état spasmodique. Sous cette réserve, la faradisation permet de réagir contre les atrophies.

103. Maladies des nerfs périphériques. — On désigne souvent sous le nom général de *névrites* la plupart des altérations des nerfs, qu'elles soient d'origine inflammatoire ou de nature dégénérative. Abstraction faite des néoplasmes, toutes les lésions des nerfs font partie des névrites. Au point de vue clinique, qui nous intéresse ici particulièrement, nous avons à distinguer deux catégories de névrites, savoir, celles qui sont sous la dépendance pri-

mitive ou secondaire des centres nerveux et celles qui proviennent d'altérations périphériques de nerfs dont les centres trophiques restent sensiblement normaux. Les indications que nous avons données relativement aux maladies de l'encéphale et de la moelle subsistent pour les névrites de la première catégorie ; celle de la seconde catégorie comportent seules des indications spéciales que nous allons exposer.

a. *Névrites périphériques.* — Lorsque la névrite périphérique résulte d'un traumatisme, la galvanisation peut donner d'excellents résultats. La cathode active se place sur le point où se trouve la lésion, l'anode indifférente étant appliquée sur une partie plus centrale du nerf ; courant de 10 à 15 milliampères, durée d'application d'environ 10 minutes. Il convient de recourir en outre à la faradisation ou à la franklinisation pour combattre l'atrophie musculaire.

S'il s'agit d'une névrite périphérique infectieuse ou toxique, il faut éviter d'employer l'électricité au début de la maladie, pendant toute la période aiguë. Sous cette réserve, le traitement est le même que ci-dessus ; il faut, d'ailleurs, graduer les intensités électriques suivant la tolérance du malade.

Le docteur Régnier a publié dans les *Archives de l'électricité médicale*, du 15 septembre 1897, un mémoire que M. Vigouroux a résumé de la manière suivante dans la *Presse Médicale*.

L'auteur fait connaître les résultats thérapeutiques qu'il a obtenus avec les courants alternatifs dans le traitement de six paralysies saturnines, d'une paralysie alcoolique et d'une paralysie réflexe consécutive à une chute. Le courant lui est fourni par la station centrale du secteur de la rive gauche au potentiel de 110 volts ; des rhéostats permettent de le graduer ; la force électro-motrice ordinairement em-

ployée est de 8 à 10 volts. L'application est faite de la façon suivante : grande électrode indifférente, de 150 centimètres carrés, placée sur le dos du malade ; électrode active, représentée par un rouleau de 5 centimètres de long sur 5 de diamètre, qu'il promène successivement sur le trajet des nerfs moteurs sur les muscles, pendant deux minutes sur chaque point.

De ses observations, il tire les conclusions suivantes :

1^o Le courant alternatif, provenant d'une station centrale, est bien supporté par le malade, à condition que l'opérateur dispose de bons rhéostats ;

2^o L'effet des courants alternatifs sur les nerfs sensitifs est beaucoup moins prononcé que celui des courants faradiques ; leur effet mécanique est aussi énergique mais moins brutal ;

3^o L'action des courants alternatifs ressemble, sans y être tout à fait identique, à celle de la galvano-faradisation de Watteville.

b. *Polynévrites*. — Les applications du courant électrique doivent être faites pour chaque nerf malade, en suivant les prescriptions données pour les névrites.

c. *Paralysies périphériques fonctionnelles*. — Le diagnostic, souvent difficile, exige toujours la plus grande attention ; c'est de lui que dépend le pronostic de la maladie.

La galvanisation a surtout pour but de combattre la névrite, compagne habituelle de la paralysie. On complète le traitement en produisant des contractions rythmées au moyen du courant faradique. La franklinisation peut aussi rendre des services, surtout lorsque la paralysie présente les caractères de la DR complète.

La durée du traitement varie beaucoup suivant les cas ; elle ne peut donc pas être indiquée *à priori*.

La *paralysie faciale*, laquelle est, en général, unilatérale, est, pour ainsi dire, le type des paralysies périphé-

riques. Les deux électrodes, qui doivent s'appliquer respectivement des deux côtés de la face, doivent être très souples, de manière à se mouler facilement sur le visage, et présenter chacune une surface d'environ 150 centimètres carrés ; dans ces conditions, on pourrait pousser jusqu'à 40 milliampères l'intensité du courant galvanique, sans s'exposer à produire des eschares sur le visage du patient.

d. *Paralysies consécutives aux maladies infectieuses ou aux intoxications.* — On observe souvent des paralysies consécutives à la diphthérie, à la fièvre typhoïde, au choléra, à la variole, etc. ; elles sont probablement dues à l'intoxication produite par le principe morbide. Le pronostic de ces maladies est presque toujours favorable ; on peut attendre d'excellents effets de l'électrothérapie pour stimuler tout l'organisme et favoriser le retour du système locomoteur à l'état physiologique.

Voici une intéressante observation que nous empruntons au *Traité d'électricité médicale* de MM. Onimus et Legros.

« St., employé, âgé de 38 ans, sans maladie antérieure, a été atteint d'une variole, au commencement du mois de mai 1870. La maladie a un cours régulier, mais au bout de quinze jours, à partir du début de l'affection, il éprouve une douleur dans l'avant-bras. Cette douleur persiste depuis cette époque, elle est continue, assez violente, empêchant même le malade de dormir. Tous les mouvements de l'avant-bras et du bras s'effectuent normalement. Complètement remis de sa maladie, le malade essaie d'écrire, mais il ne peut tenir la plume, il ne peut appuyer la main et de plus il éprouve du tremblement. Il ressent en même temps des picotements et des fourmillements dans le petit doigt et l'annulaire et tout le long du côté interne de l'avant-bras. Il y a en même temps un peu de gonflement, mais très léger, dans la main, entre le petit doigt et l'annulaire.

On emploie inutilement des bains sulfureux, des frictions, des lotions ammoniacales.

Au bout de huit séances, pendant lesquelles nous électrisions la partie supérieure de la moelle et le grand sympathique, il fut complètement guéri ».

Dans toutes ces affections qui succèdent à des fièvres éruptives ou à d'autres maladies aiguës, le docteur Onimus recommande la galvanisation du muscle et du grand sympathique, en employant de préférence les courants ascendants, surtout lorsque l'on n'a pas à redouter l'excitation qu'ils produisent. « Il faut remarquer », dit cet éminent praticien, « que l'influence de l'électricité sur les « corps organiques se prolonge plus ou moins longtemps « après son action directe ; car ce n'est pas l'électricité « qui guérit, mais les modifications qu'elle détermine « dans les tissus, modifications qui se prolongent et qui « agissent les unes sur les autres. Les corps vivants ont « eux-mêmes leur activité ; ils sont à la fois cause et effet, « et toute augmentation dans une de leurs manifestations « entretient pendant longtemps une augmentation dans « toutes les autres. A l'état normal, l'être vivant tient à « sa disposition tous les produits nécessaires pour son « fonctionnement : l'électricité à courant continu vient « activer les phénomènes physiques et chimiques nécessaires à ce fonctionnement ; elle agit comme ce que l'on « appelle en mécanique les forces de dégagement ».

Le manuel opératoire pour le traitement des paralysies dont il s'agit par la galvanisation, se résume comme il suit : anode appliquée à la partie inférieure de la moelle, cathode placée vers les premières vertèbres dorsales ; courant de 15 à 20 milliampères ; durée d'environ cinq minutes, subordonnée d'ailleurs à la tolérance du sujet.

Quelques auteurs préconisent, d'autre part, la franklinisation sous forme de bains ou d'aigrettes, puis d'étincelles

principalement appliquées le long de la colonne vertébrale.

Quant à la faradisation, on ne doit pas la faire intervenir avant que le processus atrophique ne soit écarté.

Les paralysies alcoolique, arsenicale, saturnine, sont aussi justiciables du traitement électrique, comme le sont les paralysies périphériques.

e. Névralgies. — Le traitement électrique réussit d'autant mieux que la névralgie est plus récente; sa vertu curative est incontestable.

Régnard a préconisé l'emploi des plaques métalliques (métallothérapie) appliquées sur les points douloureux, de manière à faire agir pendant longtemps un courant très faible. On obtient des résultats plus rapides et plus certains au moyen de la galvanisation, en donnant au courant une intensité inférieure à 10 milliampères; anode active sur la région douloureuse, cathode indifférente sur une région quelconque du tronc; le courant peut être ascendant ou descendant ou successivement dans les deux directions.

Duchenne de Boulogne recommande la faradisation au moyen d'un pinceau promené sur la région douloureuse.

104. Myopathie primitive progressive. — Ladame de Genève, préconise la galvano-faradisation (n^o 71). On peut soit appliquer les deux électrodes sur les muscles à électriser, soit placer l'anode sur le point d'élection du tronc nerveux et promener la cathode sur les masses musculaires malades. Le courant faradique doit avoir la valeur moyenne qui correspond à une contraction modérée du muscle lorsque ce courant est employé seul; quant au courant galvanique, qui se superpose au précédent, il ne doit avoir qu'une intensité de 6 à 8 milliampères. Les séances doivent être journalières et ne pas durer plus d'un quart

d'heure. On peut continuer le traitement pendant des années en interrompant tous les deux ou trois mois par un séjour à la mer ou à la montagne. Une médication tonique et reconstituante doit être associée au traitement électrique.

105. *Goutte exophtalmique*. — Cette sorte de dystrophie d'origine nerveuse, appelée aussi *maladie de Basedow*, a été maintes fois traitée avec le plus grand succès par l'électrothérapie ; c'est ce que l'on paraît trop oublier aujourd'hui lorsque l'on a exclusivement recours aux injections de liquides organiques.

Non-seulement l'électricité a produit des améliorations sérieuses, mais elle a amené aussi beaucoup de guérisons. La galvanisation et la faradisation sont toutes les deux favorables. Le pôle positif étant placé sur la nuque, l'opérateur promène le pôle négatif sur les yeux, sur la région précordiale et surtout sur le cou ; en agissant sur cette dernière région, il convient de donner au courant la plus grande intensité compatible avec la tolérance du malade.

106. *Chorée*. — La *chorée*, vulgairement appelée *danse de Saint-Guy*, paraît peu justiciable de la galvanisation et de la faradisation. La franklinisation serait plus recommandable, d'après l'observation suivante, qui a été publiée par le docteur Verhoogen, de Bruxelles.

« Mademoiselle F. G..., seize ans, présente depuis quatre mois des mouvements choréiques s'étendant à toute la moitié du corps, y compris la face. Ces mouvements ne cessent pas complètement la nuit. Lassitude générale, constipation opiniâtre, migraine ophtalmique survenant régulièrement tous les cinq ou six jours. L'écriture est difficile, lente et fortement tremblée.

« Le traitement a consisté dans le bain statique de cinq

minutes, suivi d'une friction rapide sur toute la moitié droite du corps à l'exception de la tête, puis souffle sur la face et la tête. Durée totale : 10 minutes. Séance tous les 2 jours.

« Au bout de 6 séances; l'écriture est redevenue normale, les mouvements choréiques ont complètement cessé; le sommeil est régulier. Un mois après le début du traitement, la guérison est complète et la malade n'a pas eu un seul accès de migraine ».

D'après plusieurs auteurs, certaines formes frustes de la chorée (paramyoclomes multiples de Friedreich, chorée fibrillaire de Morven, etc.), peuvent être guéries par la galvanisation. On applique l'anode sur le rachis et la cathode au niveau des points atteints; intensité d'environ 10 milliampères.

107. Neurasthénie. — Cette maladie est justiciable de l'électrothérapie, dont les bons effets ne tiennent pas seulement à son action suggestive.

Erb préconise la galvanisation locale comme thérapeutique de symptômes.

Beard recommande la faradisation générale peu intense; il emploie aussi la galvanisation des centres nerveux, mais alors seulement qu'il n'y a aucune perturbation dans la nutrition et dans les forces musculaires.

Vigouroux donne la préférence à la franklinisation générale (bain statique, effluves, etc.).

Nous empruntons à la *Presse médicale* les analyses de deux mémoires présentés par MM. Apostoli et Planet, à la Société française d'électrothérapie.

Le premier de ces mémoires est daté de janvier 1898.

MM. Apostoli et Planet étudient l'action de l'électricité statique ou franklinisation sur certains sujets manifestement hystériques, dans le but de combattre les symptômes

de neurasthénie tels que la céphalée, l'insomnie, la fatigue générale, l'agitation, les douleurs localisées, etc.

Voici les conclusions de ce travail :

1° L'hystérie et la neurasthénie sont deux névroses qui se rencontrent très fréquemment associées, sur le même sujet, à des degrés divers et dans des circonstances variables ;

2° Les neurasthéniques, qui sont ainsi entachés d'hystérie, retireront un bénéfice très grand du traitement électrique par la statique ou franklinisation ;

3° Le processus curateur du bain statique se manifeste surtout par l'action exercée contre l'insomnie et par le retour du sommeil normal ;

4° La plupart des hystériques (mais non tous), qui se trouvent améliorés par la statique, témoignent une intolérance variable pour la haute fréquence (et, en particulier, plus grande pour l'auto-conduction dans la cage) ;

5° La faradisation, qui a été indiquée comme pouvant seule donner un résultat quand on a affaire à certaines manifestations locales de l'hystérie, notamment dans les troubles de la sensibilité d'un organe ou d'une région, se montre quelquefois impuissante, tandis que la statique, qui agit d'une façon générale, peut donner des résultats plus rapides et plus considérables ;

6° Avec la statique, on peut faire disparaître certaines manifestations hystériques, comme les tics convulsifs compliqués.

En résumé, la statique ou franklinisation (composée de bain simple avec révulsion sur la colonne vertébrale ou sur les points douloureux) est le mode électrique le plus efficace et capable de rendre le plus de services dans le traitement d'un certain nombre d'hystériques.

Les neurasthéniques arthritiques sont au contraire justiciables des courants à haute fréquence.

Le second mémoire est daté du 12 mai.

MM. Apostoli et Planet communiquent un travail avec observations à l'appui et dont voici les conclusions :

1^o Certains sujets hystériques supportent mal au début l'application de l'électricité franklinienne, au point de faire croire tout d'abord à une véritable contre-indication ;

2^o Beaucoup d'hystériques de race israélite présentent cette intolérance initiale ;

3^o Cette intolérance n'est le plus souvent que temporaire ; elle s'atténue bientôt et se modifie progressivement, pour se transformer en une tolérance plus ou moins parfaite ;

4^o Pour obtenir ce résultat, on commence par faire des séances très courtes, quotidiennes, de deux à cinq minutes. La durée des séances est ensuite progressivement prolongée, suivant la tolérance acquise.

Le bain statique, d'abord appliqué simple, peut alors être complété par l'emploi de l'ozonateur et par les étincelles révulsives.

5^o Grâce à cette méthode, on peut combattre avec succès et faire cesser, même chez les hystériques en état d'hyperexcitation, certaines manifestations, soit neurasthéniques, soit hystériques proprement dites.

108. *Hystérie.* — L'action psychique du traitement peut avoir une heureuse influence sur les hystériques. Il semble aussi que, dans certains cas, l'électricité ait réellement une vertu curative.

Charcot et Vigouroux ont souvent eu recours à la franklinisation pour traiter diverses manifestations de l'hystérie. Le bain électrostatique, d'une durée de 5 à 20 minutes, produit souvent une amélioration.

Le traitement statique peut faire diminuer le nombre des attaques chez les grandes hystériques.

On obtient, d'autre part, de bons résultats par la galvanisation, lorsqu'il s'agit de traiter les symptômes isolés de l'hystérie. Cathode indifférente posée sur la nuque, anode active appliquée sur les points douloureux ou sur les zones hypnogènes.

109. Migraine. — Onimus et Legros ont vu quelquefois des maux de tête très-violents, d'origine rhumatismale, disparaître par une application du courant galvanique sur le front pendant quelques minutes.

M. Labbé a communiqué, en août 1894 à la Société d'électrothérapie, l'observation suivante, concernant la guérison d'une migraine chronique par la franklinisation :

« Mme A....., bien réglée, a toujours été bien portante jusqu'à trente-sept ans ; depuis huit ans, sans aucun changement dans ses habitudes, elle éprouve de violentes migraines. Au début, les accès furent d'abord périodiques : tous les mois, au moment des règles, puis, tous les quinze jours ; mais, depuis deux ans, les crises sont devenues de plus en plus fréquentes, presque quotidiennes ; depuis deux mois, la malade souffre nuit et jour. Les douleurs occupent surtout les régions frontales et sus-orbitaires gauche : la malade compare ses douleurs à de véritables coups de marteaux. Cet état douloureux s'accompagne toujours de vomissements et d'étourdissements qui obligent la malade à s'aliter. Les traitements les plus variés ont été vainement tentés ; aucun ne lui a réussi, même l'antipyrine si fort en vogue.

On propose le traitement électrique à la malade, en la prévenant de sa durée probablement longue, en raison de la chronicité du mal.

Le traitement est commencé le jour même, 25 août 1887 ; ce jour-là Mme A... était assez bien et n'éprouvait qu'une légère douleur de tête.

27 août. — Elle souffre cruellement aujourd'hui dans toute la région orbitaire gauche. Séance de 10 minutes ; après la séance la malade déclare ne plus rien sentir.

30 août. — Amélioration considérable depuis la dernière séance ; la malade se sentait sous la menace d'une crise qui n'a pas éclaté.

1^{er} septembre. — Aujourd'hui Mme A... éprouve une vive douleur frontale avec battement. (4^e séance). Dispari-

tion complète de la douleur et des battements après la franklinisation.

3 septembre. — La malade a été reprise de son accès dans la soirée du 1^{er} septembre. Aujourd'hui elle se sent sous la menace d'une migraine qui n'éclate pas.

6 septembre. — Amélioration notable, encore quelques douleurs de tête, principalement la nuit, mais très-atténuées. (6^e séance).

8 septembre. — L'amélioration se maintient, simple lourdeur de tête persistante, sans crise ni vomissement.

10 septembre. — Toujours la même douleur de tête.

13 septembre. — La douleur de tête a disparu et la malade se trouve tout à fait bien. (9^e séance).

Cet état se maintient jusqu'au 15 octobre : ce jour-là, la malade a été reprise d'une migraine accompagnée de nausée sans vomissements ; cette crise, bien que moins violente que les précédentes, persiste encore à deux heures de l'après-midi. (23^e séance). Immédiatement après, la malade n'éprouve plus rien.

Le 25 novembre, une seconde crise se manifeste, accompagnée de vomissements, mais elle n'a duré que deux heures au lieu de 24 heures. Le traitement a été continué jusqu'au 1^{er} novembre, soit 28 séances.

Jusqu'au 20 février 1888 l'état de Mme A... est resté excellent : à cette date, elle éprouva une crise de migraine qui la décida à venir se faire soigner. Après la franklinisation, elle ne ressentait plus rien. Cinq nouvelles séances furent faites à un jour d'intervalle. Depuis ce moment la malade n'a plus éprouvé la moindre crise et se trouve tout à fait bien.

La guérison semble être définitive, car ces jours-ci 5 juillet 1888, l'état de Mme A... est très satisfaisant ».

C'est à l'avenir qu'il appartient de faire naître des observations plus nombreuses, qui pourront conduire à un traitement rationnel de la migraine sous toutes ses formes au moyen des ressources que l'agent électrique met à notre disposition.

§ 4. — MALADIES DES APPAREILS CIRCULATOIRE
ET RESPIRATOIRE.

A. Névroses du cœur. — Angiomes. — Anévrysmes. — B. Paralysies du larynx. — Paralysies des muscles de la respiration. — Asphyxie et syncopes.

A. *Appareil circulatoire.*

110. *Névroses du cœur.* — L'*asystolie*, élément commun à presque toutes les maladies chroniques et organiques du cœur, serait d'après le docteur Duroziez, justiciable du traitement électrique. Voici quelques extraits d'une note de ce praticien, insérée dans le *Traité d'électricité médicale* d'Onimus et Legros.

« Je pense qu'on peut électriser le cœur comme tout autre muscle, mais le cœur ne se laisse pas influencer de la même manière que les muscles de la vie animale.

« Je place une des armatures à la pointe, et l'autre à l'endroit où les deux poumons se séparent pour laisser le cœur effleurer. Dans un certain nombre de cas, je remarque un effet produit. On me dira que c'est une action réflexe. J'agis sur un muscle profond, pourquoi n'agirais-je pas sur le cœur ?

« L'électrisation du cœur, ainsi que nous l'avons pratiquée ne présente aucun danger ; elle ne peut pas tuer, ainsi que pourrait le faire l'électrisation du pneumogastrique, pratiquée dans le pharynx ; elle peut troubler le cœur, mais le pouls nous fait immédiatement toucher du doigt le danger et nous arrête. L'électrisation peut être utile dans la syncope, dans la congestion des cavités

« cardiaques, dans l'asystolie, enfin dans la dégénérescence graisseuse du cœur ».

Malheureusement cette note ne donne aucune indication précise sur la nature et l'intensité des courants à employer. Il y a donc lieu de faire les plus grandes réserves à ce sujet.

Nous possédons relativement à l'*angine de poitrine* des indications plus précises. « L'électricité », dit M. le docteur Petit, dans le *Traité de médecine* de Charcot et de Bouchard, « surtout sous forme de courants continus, peut rendre des services au moment des attaques, mais constitue surtout un traitement destiné à en prévenir le retour ». Voici quelle est la technique opératoire.

Au moment de l'accès, deux électrodes en charbon appliquées sur la région cardiaque servent à faire passer un courant continu de 5 à 15 milliampères, pendant environ dix minutes. Après la crise, une application électrique identique doit être faite deux ou trois fois par semaine.

111. Angiomes. — Indépendamment des angiomes cutanés, dont nous avons parlé précédemment (n° 95), il existe des angiomes sous-cutanés et des angiomes profonds lesquels sont justiciables de la galvano-caustique chimique. Les premières applications de l'électrolyse aux tumeurs sanguines sont dues à Pravaz, Guérard, Cini-selli, etc.

L'usage de l'électropuncture dans la thérapeutique des angiomes est aujourd'hui très-général. Le traitement consiste à implanter en pleine tumeur érectile des aiguilles métalliques à travers lesquelles on fait passer un courant continu. Ces aiguilles sont généralement en acier et recouvertes d'un vernis isolant à quelques millimètres de leurs pointes ; elles constituent l'anode active du courant. La cathode indifférente est une plaque d'étain recouverte

d'une peau de chamois imbibée d'eau salée, que l'on applique sur la cuisse ou sur le ventre. L'intensité du courant doit être de 2 à 6 milliampères seulement d'après Mayor, de 20 à 25 milliampères d'après Boudet de Paris : il est à remarquer qu'avec les faibles intensités, on obtient des caillots moins friables, en sorte que l'on évite tout danger d'embolie ou de thrombose. Lorsque l'on veut terminer la séance, il faut ramener graduellement l'intensité du courant à zéro, avant de retirer les aiguilles ; une brusque interruption du courant exposerait, en effet, le malade à une syncope. La première séance doit avoir une durée de cinq à dix minutes ; la réaction locale est minime, la douleur cesse avec le passage du courant ; un petit noyau induré se forme, au bout de quelques jours, à la place de l'aiguille. Après une semaine environ, on peut procéder à une deuxième séance. Trois ou quatre séances suffisent ordinairement pour un angiome de moyenne importance ; mais il est clair que le nombre des séances nécessaires doit varier suivant les cas (1).

Un des remarquables résultats de l'électro-puncture, c'est que ce traitement ne laisse jamais une cicatrice importante ; on obtient même assez souvent l'absence complète de cicatrice. C'est là un précieux avantage, lorsqu'il s'agit d'un angiome de la face.

Voici une observation très intéressante, relative au traitement électrolytique d'un angiome de la face chez une fillette de cinq mois :

« Le 12 avril 1898, la jeune J., âgée de cinq mois, est amenée à la consultation de notre confrère le docteur Prat, à Royan. Elle est affectée d'un angiome volumineux (de la dimension d'une grosse noix), siégeant à la paupière

(1) La même technique opératoire peut s'appliquer au traitement des lymphangiomes.

inférieure, remontant en avant du globe oculaire (ce qui détermine un strabisme très prononcé), descendant sur la pommette qu'il recouvre et s'étendant latéralement jusqu'à



Fig. 123.

l'arcade zygomatique. La partie gauche de la figure 123 indique l'aspect de cet angiome dont le développement excessif s'est produit en moins de quatre mois. La peau est violacée et paraît très mince ; la palpation permet de constater une fluctuation très accusée, ainsi qu'une légère induration de la base de la tumeur qui n'est pas pédiculée. Il était à redouter que, soit sous l'influence d'un traumatisme, soit même spontanément, cet angiome ne vint à s'ouvrir en donnant lieu à une dangereuse hémorrhagie. M. le professeur agrégé Binaud, de Bordeaux, consulté par le docteur Prat qui proposait de recourir au traitement électrolytique, déclara qu'à son avis l'électrolyse était, en effet, le moyen curatif à essayer.

Le docteur Prat a employé la méthode bipolaire, en prenant comme pôles positif et négatif deux aiguilles en platine iridié de 0,6 millimètre de diamètre implantées dans la tumeur, à quinze millimètres de profondeur, dans un plan parallèle à celui de la surface d'insertion de la tumeur. L'intensité du courant continu, gradué par un rhéostat,

n'a pas dépassé 12 milliampères ; chaque séance avait une durée d'environ cinq minutes.

Première séance, le 12 mai 1898. — Avant de retirer les aiguilles, on ramène graduellement l'intensité du courant à zéro, puis on inverse ce courant, afin d'éviter l'hémorragie au niveau de l'eschare négative. Malgré cette précaution, il se produit une hémorragie légère, facilement arrêtée au moyen d'une solution d'antipyrine.

Deuxième séance, le 29 mai. — La tumeur a sensiblement diminué de volume ; elle est devenue moins fluctuante.

L'application du courant continu est faite dans les mêmes conditions que la première fois.

26 mai. — On constate une amélioration notable et l'on procède à la troisième séance.

30 mai. — L'amélioration a continué, mais il s'est produit une petite eschare qui décide le docteur Prat à suspendre le traitement pendant un mois.

30 juin, 19 et 26 juillet. — La diminution de la tumeur s'accroît et l'on continue les séances d'électrolyse jusqu'au moment où survient une affection pulmonaire qui oblige à les suspendre.

20 octobre. — La tumeur, devenue peu volumineuse, ne présente plus que quelques noyaux espacés sur lesquels on pratique, pendant trois séances, des applications locales de l'électrolyse.

Finalement l'angiome a complètement disparu, comme l'indique la partie droite de la figure 125, ne laissant exister qu'une cicatrice peu profonde qui s'atténuera certainement et disparaîtra sans doute entièrement dans l'avenir.

112. Anévrysmes. — La première application heureuse de la galvano-puncture au traitement des anévrysmes externes est due à Pétrequin, qui réussit en 1845 à guérir par ce procédé un anévrysme traumatique de l'artère temporale.

Rappelons que cette méthode est basée sur la propriété

de coaguler le sang que possède le courant voltaïque, propriété que Pravaz avait signalée avec insistance dès 1831. Ciniselli, après de nombreux insuccès qui donnaient lieu à des critiques sévères, réussit en 1869 à obtenir de bons effets dans quatre cas d'anévrysmes de l'aorte ; il en publia les résultats dans la *Gazette médicale de Lombardie* ; il exprimait l'espoir de voir généraliser l'application de la galvano-puncture aux tumeurs anévrysmales intra-thoraciques, lorsque la tumeur serait peu développée, latérale, communiquant avec l'artère par une ouverture limitée, et ne coexisterait pas avec une altération organique du cœur et des vaisseaux. Ce professeur italien implantait dans la tumeur des aiguilles en acier poli, ayant au maximum un millimètre de diamètre, revêtues sur une certaine étendue d'un enduit isolant ; il commençait par prendre une des aiguilles pour anode, en plaçant une cathode indifférente sur un point du thorax voisin de l'anévrysmes ; au bout de cinq minutes, il substituait le pôle négatif au pôle positif, en transportant ce dernier sur une seconde aiguille ; cinq minutes après, cette seconde aiguille était prise pour cathode, tandis que la troisième aiguille était choisie comme anode ; et ainsi de suite jusqu'à la dernière aiguille. De cette manière, chaque aiguille devenait alternativement anode et cathode. On admet aujourd'hui que cette alternance des pôles est aussi dangereuse que le serait l'application du pôle négatif seul ; le pôle positif possède seul la propriété coagulante ; il est donc tout à fait logique d'adopter la méthode monopolaire en prenant pour anode l'aiguille enfoncée dans la tumeur.

C'est à Dujardin-Beaumetz que revient l'honneur d'avoir précisé, en 1877, la technique opératoire d'un anévrysmes par l'électrolyse. Le patient étant couché sur un lit, on enfonce dans la partie saillante de la tumeur, jusqu'à la profondeur de 30 millimètres, une aiguille de fer de

0 mm. 6 de diamètre, recouverte d'un vernis à la gomme laque, sauf à son extrémité. Cette aiguille est reliée au pôle positif de la pile, la cathode indifférente étant appliquée dans la région dorsale ; on fait croître graduellement l'intensité du courant jusqu'à 50 milliampères, en donnant à l'application une durée de trois quarts d'heure à une heure ; avant de retirer l'aiguille, on a soin de faire tomber graduellement jusqu'à zéro l'intensité du courant. Ajoutons que l'on doit à Dujardin-Beaumetz l'invention des ingénieux enfonce-aiguille et tire-aiguille dont nous avons donné précédemment la description (n^o 57). Cette pratique opératoire est celle qui réduit au minimum possible les dangers d'accident. A défaut de la guérison complète, on obtient tout au moins un soulagement et une amélioration notable.

B. Appareil respiratoire.

113. *Paralysies du larynx.* — La détermination précise du point où siège la lésion paralytique n'est pas exempte de difficultés ; cette lésion peut exister soit dans les nerfs laryngés, soit dans le pneumogastrique, soit même dans les centres nerveux. Il s'agit là du domaine spécial des laryngologistes.

Quoi qu'il en soit, les paralysies du larynx peuvent être traitées soit par la faradisation, soit par la galvanisation.

Lorsque l'on emploie le courant faradique, on peut prendre pour électrode active une petite olive métallique que l'on promène sur les muscles du larynx, tandis que l'électrode indifférente reste immobile. On peut aussi recourir à un traitement percutané en faradisant extérieurement la région laryngée ; cette méthode est surtout indiquée dans les cas d'aphonie ; elle a l'avantage de

rester possible alors que le malade ne supporterait pas l'application d'une électrode sur les muscles du larynx.

Quant à la galvanisation, préconisée par d'Althaus, son application est toujours percutanée ; on peut placer une électrode sur la nuque et l'autre en avant du larynx.

114. Paralysies des muscles de la respiration. — Duchenne de Boulogne regarde la paralysie du diaphragme comme justiciable de la faradisation, dont l'action doit être localisée autant que possible sur les nerfs phréniques. On place les électrodes sur la poitrine, à droite et à gauche, en avant des muscles scalènes antérieurs. Faire agir le courant avec intermittences.

Pour les paralysies des autres muscles de la respiration, Remak recommande la galvanisation, en faisant agir le courant continu sur le grand sympathique ; intensité d'environ 10 milliampères, durée de l'application environ 10 minutes par séance.

115. Asphyxie et syncopes. — Volta a pu ranimer, au moyen du courant continu, un lapin qui avait été asphyxié par submersion. Huffeland, en 1783, et Marschal Hall, en 1842, ont préconisé l'électrisation du nerf phrénique, dans les cas d'asphyxie. En 1825, Leroy d'Etiolles a recommandé l'emploi des courants d'induction, en plaçant les électrodes près des deux extrémités du tube digestif. Duchenne de Boulogne, Friedberg, Hoppe, Seyler, Jobert, Abeille, etc., ont recommandé l'emploi des courants galvaniques ou faradiques, lorsque des phénomènes d'asphyxie se produisent sous l'influence du chloroforme, de l'acide carbonique, etc.

Il ne faut pas confondre l'asphyxie, qui peut être combattue par le traitement électrique ainsi que par les tractions rythmées de la langue, avec l'intoxication qui n'est aucunement justiciable de cette thérapeutique.

Voici le manuel opératoire pour le traitement de l'asphyxie par l'électricité.

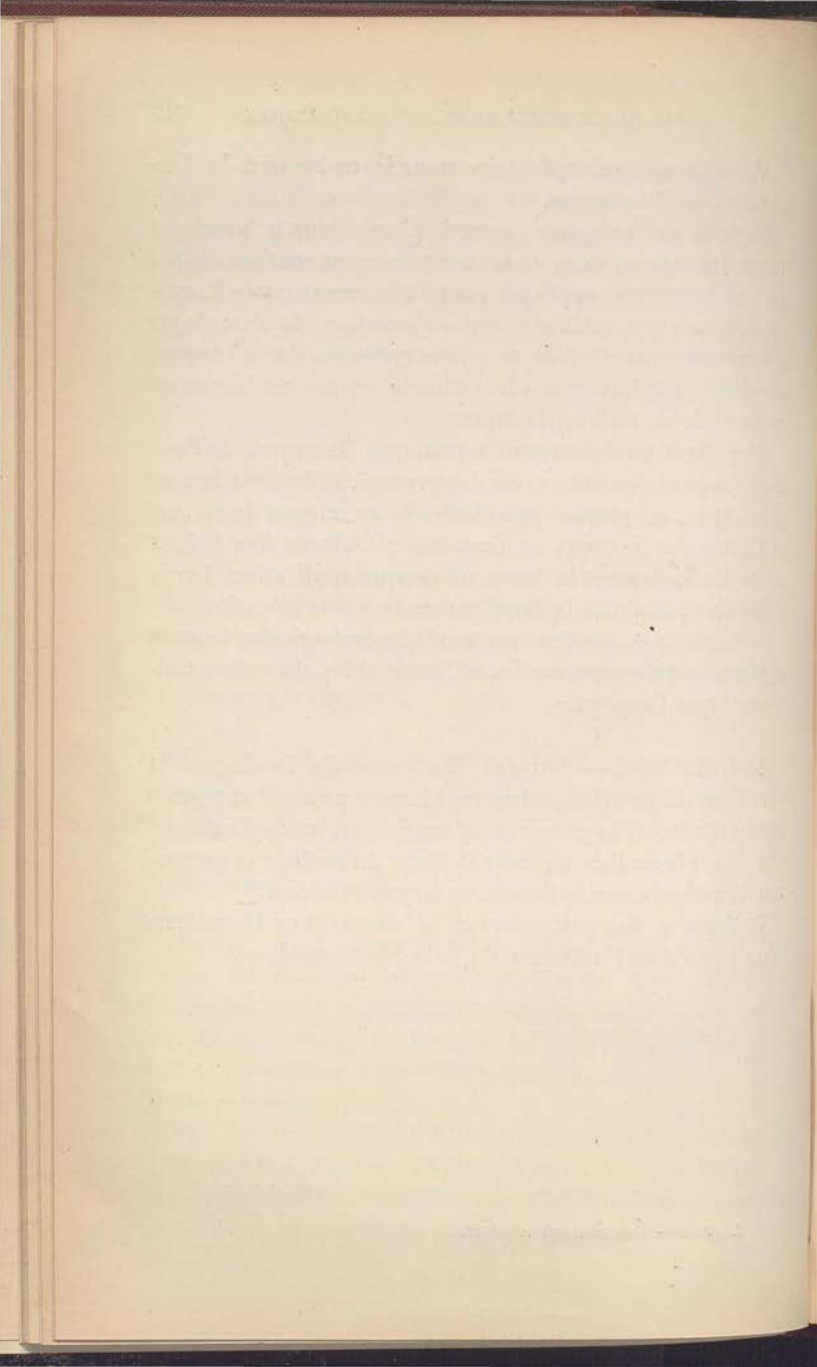
Pour la galvanisation, cathode placée dans la bouche et anode introduite dans le rectum ; courant continu de 8 à 10 milliampères appliqué jusqu'à la cessation de la syncope. Une autre méthode, qui a l'avantage de s'employer concurremment avec les tractions rythmées de la langue, consiste à appliquer au niveau de la région cardiaque un courant de 10 à 15 milliampères.

L'application du courant induit, que Duchenne de Boulogne regarde comme assez dangereuse, se fait sur le nerf phrénique, en plaçant une électrode au niveau de ce nerf et l'autre sur le creux de l'estomac ; Onimus fixe à deux secondes seulement la durée de chaque application. Leroy d'Etiolles préconise la faradisation de faible intensité.

Les syncopes consécutives aux hémorrhagies et la mort apparente du nouveau-né sont justiciables du même traitement que l'asphyxie.

116. Asthme. — Suivant Duchenne de Boulogne, la faradisation localisée calme rapidement un accès et permet même d'obtenir la guérison en continuant les applications. On peut placer l'anode dans la main du malade et promener la cathode sur le thorax, le larynx et le dos.

Arthuis a souvent observé la disparition immédiate d'un accès sous l'influence du bain électrostatique.



Rétrécissement de l'œsophage. — Spasmes de l'œsophage. — Vomissements incoercibles. — Dilatation de l'estomac. — Occlusion intestinale. — Rétrécissements du rectum. — Fissures douloureuses de l'anus.

117. *Rétrécissement de l'œsophage.* — C'est au docteur Fort que revient l'initiative du traitement des rétrécissements œsophagiens par l'électrolyse linéaire. Plusieurs opérations auxquelles nous avons assisté ont été suivies de guérison définitive, lorsque la cause de la maladie était une rétraction nodulaire, au niveau d'une ulcération ancienne produite soit par l'absorption d'un caustique, soit par un traumatisme quelconque, sans qu'il s'agisse d'une lésion organique cancéreuse. L'opération est d'ailleurs délicate et ne doit pas, à notre avis, être tentée par des mains inexpérimentées. L'électrolyseur employé a été précédemment décrit (n^o 57) et nous en avons donné le dessin (fig. 66).

Voici un exposé très-précis que le docteur Fort a bien voulu nous communiquer :

« Après avoir constaté les dimensions du ou des rétrécissements, au moyen des olives d'ivoire, je construis un électrolyseur, analogue à celui qui me sert pour l'urèthre, et je proportionne la hauteur de la lame de l'instrument au diamètre du point rétréci. La mesure exacte de la profondeur du rétrécissement et de ses dimensions m'indique la longueur de l'instrument à construire et la hauteur de la lame à employer.

Cet instrument œsophago-électrolyseur est des plus simples. Il consiste en une sonde œsophagienne parcourue

par un conducteur métallique en rapport avec une lame de platine qui émerge de la sonde. A première vue, la lame de platine paraît considérable ; il n'en est rien, parce que l'œsophage se moule sur elle en s'aplatissant. Cette lame doit être conduite sans force, par simple glissement, jusqu'au point rétréci.

L'opération se fait en deux temps : 1^o production d'un sillon électrolytique sur le rétrécissement ; 2^o introduction de la sonde dilatatrice.

Pour appliquer l'électrolyseur, je prépare une pile à courant continu, j'oriente le galvanomètre, j'adapte l'œsophago-électrolyseur au pôle négatif de la pile, et j'applique le pôle positif sur le thorax, en face du point du rétrécissement qui doit être électrolysé.

Le tout étant ainsi disposé, je recommande aux aides de compter les pulsations artérielles avant, pendant et après l'opération, la durée de la séance et le nombre de milliampères indiqués par le galvanomètre.

J'introduis l'instrument avec précaution de manière à placer la lame de l'électrolyseur sur le point rétréci ; il est facile d'atteindre ce but, lorsqu'on a eu soin de mesurer exactement la profondeur du rétrécissement et la longueur de l'instrument.

Aussitôt que celui-ci est arrivé sur le point à opérer, je prends, en général, 12 éléments de la pile qui donnent, suivant les sujets, de 15 à 50 milliampères.

Je fais ici à mes confrères la recommandation suivante, comme pour l'électrolyseur de l'urèthre : ils doivent avoir à leur disposition des piles à effet constant et de longue durée. Sous ce rapport, la pile à courant continu de Charadin me paraît la plus perfectionnée.

Le malade n'éprouve aucune douleur dépendant de l'opération, mais seulement une gêne assez grande, due à la présence de l'instrument, dans le pharynx. Des mucosités œsophagiennes, visqueuses, remontent dans le pharynx et lorsque le malade ne tolère plus la présence de l'instrument, ce qui a lieu généralement après un laps de temps qui

varie entre trente et soixante secondes, j'interromps le courant et je retire l'instrument avec de grandes précautions.

J'insiste sur ce point, voici pourquoi : pour arriver à produire un sillon suffisant et permettre aux bougies œsophagiennes de déterminer la dilatation, en écartant les lèvres de ce sillon, il est nécessaire d'employer une lame de platine mince. Si elle était épaisse l'opération serait plus longue et le sillon plus difficile à tracer. D'un autre côté si la lame était tranchante, elle diviserait les tissus et produirait une véritable œsophagotomie que je veux éviter à tout prix.

Voilà pourquoi je fais la recommandation expresse de retirer l'instrument avec la plus grande douceur. Quoique la lame ne soit pas tranchante on pourrait, par un mouvement brusque, léser la partie postérieure du larynx ou de la base de la langue.

Après quelques instants de repos, j'introduis une bougie œsophagienne dont le diamètre est toujours supérieur de quelques millimètres à celui du rétrécissement.

Je soumetts le malade à trois ou quatre opérations semblables, séparées par deux à cinq jours d'intervalle. Après ces trois ou quatre séances il est souvent possible d'introduire des bougies de 19 à 20 millimètres de diamètre.

Il faut avoir soin d'électrolyser chaque fois une partie du rétrécissement n'ayant pas été déjà électrolysée, et lorsque je fais 4 séances, j'électrolyse le point rétréci en avant, en arrière, à droite et à gauche.

En procédant ainsi, je peux amener un rétrécissement de 5 millimètres à acquérir un diamètre de 20 millimètres.

A la première séance je me sers d'une lame de platine de 10 millimètres de hauteur, et j'introduis ensuite une bougie œsophagienne de 12 millimètres.

A la deuxième, la lame employée a 14 millimètres de hauteur et la bougie 15 millimètres.

A la troisième, j'emploie une lame de 15 mill. de hauteur et une bougie de 19 mill. de diamètre.

Non seulement je n'ai pas eu d'accident imputable à l'opération, mais encore, dans les rétrécissements organiques, la production du sillon linéaire et la dilatation consécutive n'ont jamais produit d'hémorrhagie comme j'étais porté à le redouter.

En résumé, d'après les cas que j'ai observés, cas suivis d'opérations, qui sont aujourd'hui au nombre de quarante-neuf, je me crois autorisé à poser les conclusions suivantes :

1^o Dans l'état actuel de la science, le traitement chirurgical qui me paraît donner les meilleurs résultats, dans les rétrécissements de l'œsophage, consiste dans la combinaison de l'électrolyse linéaire et de la dilatation ;

2^o L'opération ne doit pas être pratiquée en une seule fois, mais bien en plusieurs séances ;

3^o Le traitement combiné de l'électrolyse et de la dilatation peut être considéré comme *curatif* dans les rétrécissements œsophagiens fibreux ;

4^o Ce traitement produit une amélioration très notable dans les cas de rétrécissements œsophagiens organiques. En permettant aux malades de s'alimenter, il prolonge leur existence. »

Pendant le traitement, le docteur Fort emploie pour alimenter le malade une bouillie dont voici la composition :

Poudre de viande, 50 grammes ;

Jaunes d'œuf, n^o 3 ;

Sucre en poudre, 50 grammes ;

Bouillon de bœuf, 500 grammes.

Cette bouillie est injectée trois fois par jour dans l'estomac au moyen d'une sonde. On peut souvent, dès le lendemain de la première séance, faire prendre au malade, sans le secours de la sonde, du tapioca, des œufs à la coque, une moelle frite, des biscuits trempés dans du vin.

Voici maintenant une observation très intéressante que nous croyons utile de reproduire :

Rétrécissement cicatriciel de l'œsophage produit par l'ingestion d'une gorgée d'acide chlorhydrique.

« Au commencement du mois d'octobre 1891, mon excellent confrère le docteur Licke, de Maisons-Laffite, nous a adressé un malade affecté de rétrécissement de l'œsophage, dont voici l'histoire.

Le 8 octobre 1891, le nommé Braconnier, âgé de trente ans, avala par erreur une gorgée d'acide chlorhydrique.

Des symptômes de rétrécissement œsophagien se manifestèrent rapidement. Il se trouvait alors à Membrenon (Aisne).

On le transporta à l'hôpital de Laon, où il s'améliora un peu sous l'influence des gargarismes qui lui furent prescrits. Le trouvant soulagé, le docteur Blanquinque lui donna son *exeat* au bout de trois jours.

Cette amélioration ne fut que passagère ; la dysphagie fit des progrès. Il alla trouver de nouveau le docteur Blanquinque, qui lui conseilla de venir à Paris pour se soumettre à mon traitement.

D'un autre côté, le docteur Lefort, de Moncornet (Aisne), lui conseilla de s'adresser au docteur Heurteloup, de Paris.

Suivant ce dernier conseil, le malade entra à l'hôpital Necker avec un rétrécissement tellement serré que Heurteloup, au dire de son malade, essaya inutilement de passer des sondes pendant deux jours.

Désespéré, il retourna à Membrenon, où il travailla encore pendant deux ou trois jours. N'y tenant plus, il voulut se rapprocher de Paris et se fixa à Sartrouville, près de Maisons-Laffite. Il consulta le docteur Isnard, de Saint-Denis, et le docteur Licke, de Maisons-Laffite, qui l'engagea vivement à se soumettre à mon mode de traitement.

Je le vois pour la première fois le 5 décembre, deux mois après son accident. Depuis longtemps aucun aliment solide n'a pu pénétrer dans l'estomac, le malade se nourrit seulement de lait et de bouillon.

Avant l'accident, il pesait 132 livres. Le 3 décembre, il n'en pesait plus que 118.

Une bougie uréthrale n° 8 passe avec difficulté. Le rétrécissement siège à 16 centimètres et demi des incisives, c'est-à-dire à l'extrémité supérieure de l'œsophage. Ce rétrécissement a une longueur de 2 centimètres environ.

En six séances d'électrolyse, pratiquées du 7 décembre au 11 janvier, le malade est complètement guéri; il mange toute sorte d'aliments et augmente de poids ».

Lorsque le rétrécissement de l'œsophage est dû à une lésion cancéreuse, l'électrolyse peut produire une amélioration plus ou moins durable, mais il est clair que l'on ne peut pas espérer la guérison définitive.

118. *Spasmes de l'œsophage.* — Mackensie recommande la faradisation; une anode olivaire étant introduite dans le pharynx aussi profondément que possible, on place la cathode alternativement de chaque côté du cou.

119. *Vomissements incoercibles.* — Pour arrêter ces vomissements, que l'on observe principalement au cours de la grossesse, Apostoli a préconisé la faradisation de l'estomac, ainsi que la galvanisation pratiquée en appliquant l'anode sur la pneumogastrique et la cathode indifférente sur l'abdomen. Voici le résumé des conclusions de ce praticien, d'après la *Presse Médicale* du 28 juillet 1898.

« La galvanisation des nerfs pneumogastriques est, le plus souvent, rapidement souveraine contre les vomissements de la grossesse et la plupart des troubles gastriques de l'hystérie ;

2^o La meilleure méthode de galvanisation des pneumogastriques est celle qui permet d'utiliser le maximum de densité du courant sur le nerf vague, soit en plaçant le pôle positif simple ou bifurqué sur ce nerf, soit, de pré-

férence, en plaçant sur chacun d'eux un pôle de nom contraire ;

3° La méthode bi-polaire, en utilisant la plus grande somme des lignes de flux du courant galvanique qui circulent d'un pôle à l'autre, est la méthode de choix, supérieure comme rapidité et efficacité à la méthode monopolaire, qui, n'ayant qu'un seul pôle actif (soit simple soit bifurqué), ne peut, toutes choses égales d'ailleurs, utiliser qu'une petite densité électrique ou une somme plus faible de lignes de flux du courant ;

4° La clinique a confirmé, par les seize années de pratique de M. Apostoli, la supériorité de la méthode bi-polaire qu'il préconise et ses avantages incontestables dans la cure symptomatique immédiate des troubles nerveux du pneumogastrique (vomissements, gastralgie, nausées) ».

120. Dilatation de l'estomac. — Vigouroux a vu les symptômes dyspeptiques disparaître après quelques séances de franklinisation (bain, friction générale, étincelles sur la région douloureuse). On peut également recourir à la faradisation ou à la galvanisation saccadée (interruptions et rétablissements périodiques du courant). D'après Bardet, l'intensité du courant doit être de 10 à 15 milliam-pères et chaque séance doit durer environ 10 minutes ; cette dernière indication paraît peu compatible avec la recommandation d'introduire la cathode dans l'estomac préalablement rempli de liquide (méthode hydro-électrique),

121. Occlusion intestinale. — Larat a présenté à l'Académie de médecine une statistique d'après laquelle 10 guérisons ont été obtenues, sur 19 cas d'occlusion intestinale traités par l'électricité. M. le professeur Jalaguier, dans le Traité de Chirurgie de MM. Duplaix et Reclus, déclare qu'il préfère de beaucoup à la médication opiacée la galvanisa-

tion pratiquée suivant la méthode du docteur Boudet de Paris.

Nous avons déjà parlé (n° 56) de cette méthode hydro-électrique et donné le dessin (figure 56) de la sonde en gomme que l'on introduit dans le rectum. Cette sonde renferme un fil métallique souple destiné à amener le courant électrique; elle est reliée, au moyen d'un tube de caoutchouc, à un irrigateur par lequel on injecte une solution d'eau salée. C'est ce liquide conducteur qui sert de cathode, l'anode étant appliquée sur l'abdomen. L'intensité du courant doit être de 10 à 20 milliampères, on peut même exceptionnellement l'élever jusqu'à 50; la durée de l'application peut varier depuis 5 jusqu'à 20 minutes. On peut essayer deux et même trois applications avant de recourir, en cas d'insuccès, à l'intervention chirurgicale. La grande surface que présente la cathode liquide met à l'abri de tout danger d'actions électrolytiques locales.

Il y a contre-indication de ce traitement si l'existence d'une affection cardiaque prédispose aux syncopes.

Ajoutons que la constipation et l'atonie intestinale, tout en étant justiciables du même traitement que l'occlusion; peuvent en outre, être traitées par la faradisation, au moyen d'une électrode rectale ordinaire.

122. Rétrécissements du rectum. — Le docteur Fort soumet cette affection à un traitement analogue à celui qu'il pratique pour les rétrécissements de l'œsophage. Nous avons précédemment mentionné (n° 57) et dessiné (fig. 65) l'électrode rectale destinée à l'électrolyse linéaire de ces rétrécissements.

Voici une observation communiquée par le docteur Fort :

« D..., 25 ans, a un rétrécissement du rectum situé à 4 centimètres au-dessus de l'anus.

Antécédents. — Pas de signes diathésiques. Il est certain que ce rétrécissement, purement cicatriciel, n'est ni syphilitique, ni tuberculeux. La santé générale est bonne ; il y a un certain degré d'anémie produit par l'ancienneté de la maladie et les souffrances endurées par le malade depuis son rétrécissement.

A l'âge de dix-huit ans il a eu des hémorrhoides avec inflammation du rectum. Au bout de quatre ans, le rétrécissement fut formé. En 1897, le stricture était arrivé à un degré tel qu'il y eut rétention des matières fécales avec les accidents produits par cette rétention.

On lui fit alors une opération. Le chirurgien fit une incision à la partie interne de la région fessière droite pour aller chercher le rectum. L'intention de l'opérateur était, au dire du malade, d'aller à la recherche du rectum, de faire l'ablation du rétrécissement, tout en ménageant le sphincter, et de suturer le bout supérieur avec le bout inférieur du rectum. C'était là l'opération de Kraske modifiée. Il est probable que le résultat ne fut pas obtenu, puisque le rétrécissement persista et qu'il resta une fistule étendue de la peau à la partie inférieure droite du point rétréci.

Trois mois après, rétraction du rétrécissement et symptômes de rétention. Dilatation au moyen de bougies métalliques, la plus grosse ayant trois centimètres de diamètre.

Depuis cette époque, et de trois en trois mois, nouvelle rétraction et nouvelle opération de dilatation. Ces dilatactions avaient lieu sans le chloroforme ; on en fit huit depuis la tentative d'extraction du rétrécissement jusqu'à ce jour.

Le 22 janvier 1899 j'ai fait l'opération, définitive, je l'espère, au moyen de l'électrolyse combinée à la dilatation.

Le malade étant dans le décubitus dorsal, et chloroformé,

je procède à l'examen du rétrécissement. Je constate une induration circulaire à quatre centimètres au-dessus de l'anus. Le petit doigt ne peut pas y pénétrer. En forçant, je puis y introduire successivement ce doigt et même l'index. J'y introduis ensuite un dilatateur à trois branches et j'obtiens un certain degré de dilatation.

Portant alors la lame de l'électrolyseur sur plusieurs des points de l'anneau cicatriciel, j'y trace des sillons qui me rappellent le débridement multiple que Vidal de Cassis employait dans le débridement de l'anneau des hernies étranglées. En faisant agir tour à tour le dilatateur et l'électrolyseur, j'arrive à obtenir une dilatation de cinq centimètres de diamètre.

Inutile de dire qu'un lavage antiseptique avait été fait avant, pendant et après l'opération.

La fistule rectale, vestige du Kraske modifié, a un orifice externe cutané au milieu d'une vaste plaie, à trois centimètres en dehors de l'anus, et un orifice interne immédiatement au-dessous du rétrécissement. Cette ouverture a un centimètre d'avant en arrière, et cinq millimètres de haut en bas. Elle sera l'objet d'un traitement ultérieur.

J'ai été aidé dans l'opération par le D^r Rey, qui administrait le chloroforme, par le D^r Issaurat et par le D^r André Lucas.

Le pansement définitif a été le suivant : un tampon de coton phéniqué dans la région du rétrécissement, après lavage phéniqué ; une pilule d'extrait thébaïque de 0,05 centigrammes tous les jours et des aliments faisant peu de détritits : bouillon, potages, œufs, poissons frais, volailles.

Les suites ont été bénignes.

La constipation voulue a duré dix jours. Le tampon a été retiré le cinquième jour parce qu'il provoquait des douleurs.

Les selles sont devenues normales et tout me fait espérer qu'il n'y aura pas de récurrence.

J'ai opéré un rétrécissement analogue, il y a deux ans,

sur un des premiers avocats de Mexico ; la guérison s'est parfaitement maintenue.

Il y a un an bientôt, j'ai opéré avec l'aide du D^r Rey, un rétrécissement inflammatoire du rectum, une vraie rectite proliférante, avec grand succès. Malgré les traitements erronés qu'on avait fait subir au malade, ce rétrécissement a parfaitement guéri ».

123. Fissures douloureuses de l'anus. — Tripier est l'auteur des premières recherches faites en vue de traiter ces fissures par l'électricité. Le docteur Doumer, qui a repris et complété ces recherches, a publié à ce sujet un intéressant exposé qui a été résumé dans les termes suivants par la *Presse Médicale*.

« Les bons effets que l'on retire de l'emploi des divers modes d'électrisation, dans un certain nombre de maladies de la peau et des muqueuses, m'ont suggéré l'idée de rechercher comment la fissure douloureuse de l'anus se comporterait vis-à-vis de cet agent thérapeutique. On sait, en effet, que, sous l'influence de l'énergie électrique elle-même, en dehors de toute action chimique, les ulcères, même les ulcères variqueux, s'améliorent ; que les eczémas guérissent rapidement et que les phénomènes douloureux qui accompagnent si souvent ces manifestations morbides et autres disparaissent ou s'atténuent dans une large mesure. Il n'était donc pas illogique de penser que les divers éléments pathologiques de la fissure douloureuse de l'anus pourraient être avantageusement modifiés par cet agent thérapeutique. Les faits ont dépassé mon attente, car, six malades que j'ai eu à soigner pour des fissures, plus ou moins douloureuses et d'âge très différents, ont tous guéri dans un intervalle de temps très court, après un nombre de séances de haute fréquence qui a varié de deux à quatre. »

Voici, d'après M. Doumer lui-même, la technique opératoire à adopter.

« L'appareil dont je me suis servi absorbait 150 watts
 « environ ; le résonnateur de 36 mètres de fil de cuivre
 « sur 65 spires était relié par l'une de ses extrémités à l'un
 « des pôles du petit solénoïde à curseur de l'appareil classi-
 « que de M. Gaiffe ; l'autre pôle de ce solénoïde était relié
 « à la terre. L'électrode métallique, reliée à l'autre extré-
 « mité du fil résonnateur, pouvait être entourée de man-
 « chons en verre, suffisamment épais, dont le diamètre
 « variait de 5 à 12 millimètres. L'électrode à manchon de
 « verre, préalablement abondamment vaselinée, était intro-
 « duite dans l'anus de façon à intéresser le sphincter, lar-
 « gement, dans toute sa hauteur ; deux fois cependant je
 « n'ai pu, à la première séance, lui faire franchir l'orifice
 « anal ; je me suis contenté alors de la tenir appuyée contre
 « la marge de l'anus ; dans l'un de ces cas, après deux mi-
 « nutes d'application, elle a pu pénétrer facilement. Les
 « séances ont duré de 5 à 6 minutes. »

Parmi les diverses observations publiées par M. Doumer, nous détachons la suivante.

« L..., quarante-cinq ans, malade envoyé par le Dr Btruille, souffre depuis huit jours de sphinctéralgie très intense. Les douleurs sont permanentes et considérablement exaspérées par les efforts, surtout par les efforts de défécation. Nuits sans sommeil. Constipation. Trois petites fissures visibles seulement au moment des poussées.

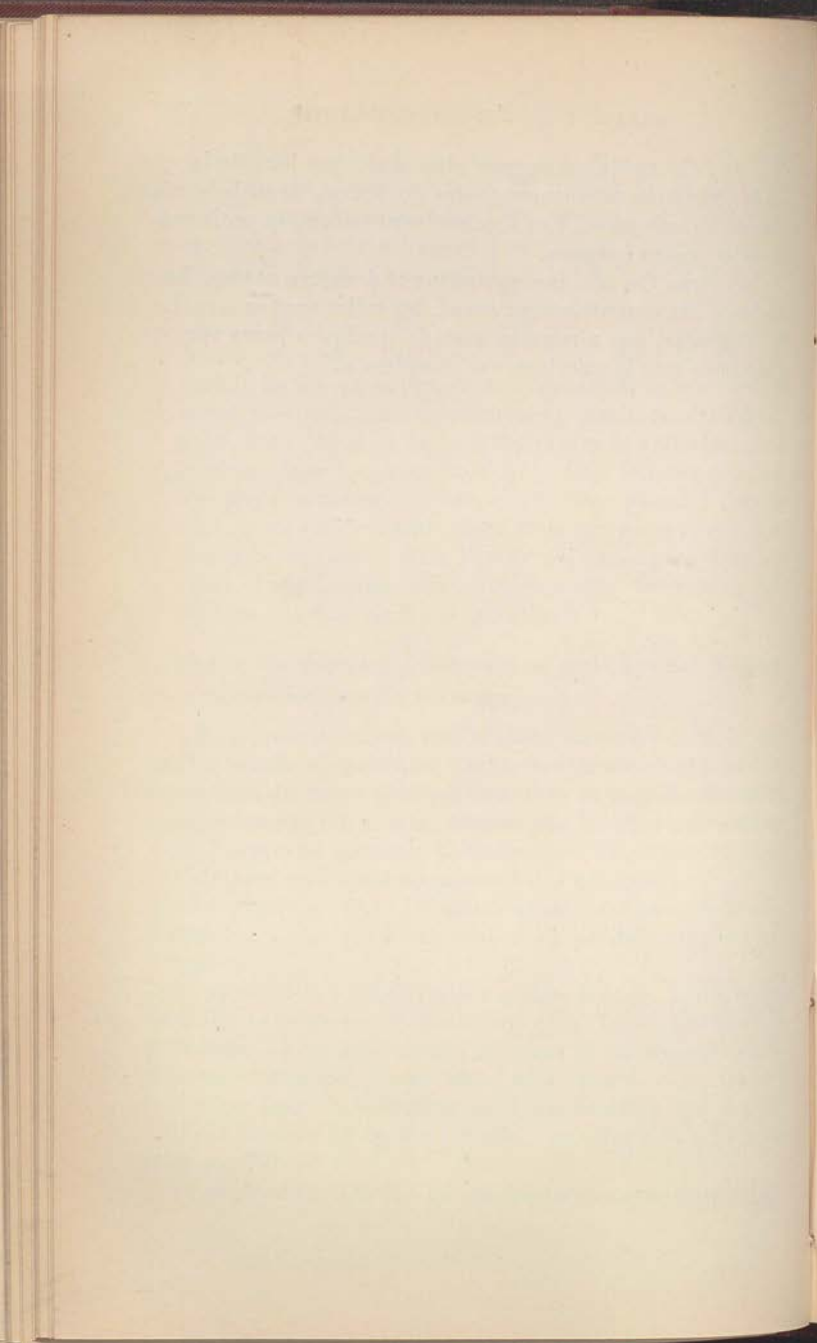
25 septembre 1897 : Première séance avec fine électrode, 2 minutes. Cette première séance n'a produit aucune amélioration.

28 septembre : On fait une seconde séance. L'introduction de l'électrode est beaucoup plus facile que pour la première. La séance dure 4 minutes et ne s'accompagne d'aucune sensation désagréable. A la suite de cette séance, il y a eu une amélioration très appréciable qui a duré toute la journée du 29. Le malade a pu aller à la selle sans trop souffrir.

30 septembre : On fait une troisième séance. L'introduc-

tion de l'électrode est encore plus aisée que lors de la seconde. Sédation très marquée des douleurs ; le malade n'a plus de constipation. Les fissures sont beaucoup moins visibles et moins longues.

2 octobre : On fait une quatrième et dernière séance. Les douleurs ont complètement cessé, les sellés sont faciles. Le Dr Butruille, qui a revu le malade quelques jours après, m'annonce que la guérison est complète ».



§ 6. — MALADIES DES ORGANES GÉNITO-URINAIRES.

Paralysie et spasmes de la vessie. — Spermatorrhée. — Hypertrophie de la prostate. — Rétrécissements de l'urèthre.

124. *Paralysie et spasmes de la vessie.* — Becquerel n'a admis l'emploi de la faradisation, proposée par quelques médecins, que dans le cas où la vessie peut supporter la distension de sa tunique musculaire.

Onimus a insisté sur les résultats obtenus au moyen de la galvanisation, L'anode se place sur la colonne vertébrale, au niveau de la dernière vertèbre dorsale ; la cathode s'applique sur le périnée ou sur le pubis. L'intensité de ce courant descendant doit être de 10 à 20 milliampères ; séance de 5 minutes pouvant être renouvelée quotidiennement. Le docteur Onimus a cité, d'autre part, l'observation suivante, concernant la galvanisation par la méthode hydro-électrique, observation extraite du *Traité des opérations des voies urinaires* du docteur Reliquet.

« Chez un malade, qui avait une pierre volumineuse dans la vessie et des plaques calcaires adhérentes à la paroi vésicale, le cathétérisme était tellement douloureux que l'inspection de la vessie au moyen d'une sonde était presque impossible. Les courants continus furent employés dans le but d'agir sur la sensibilité et de diminuer les spasmes ; une sonde coudée en gomme est conduite dans la vessie, on injecte de l'eau tiède avec la plus grande lenteur, il en pénètre à peine 10 grammes ; on pousse dans la sonde un mandrin en laiton, tout en maintenant le doigt sur l'orifice du pavillon, et on bouche ensuite la sonde avec un fausset. Le pôle positif est uni au mandrin ; le négatif, une large plaque humide, est appliqué sur l'abdomen. Au début

du courant il y a une légère douleur ; puis peu à peu il se produit un bien-être. La présence de la sonde dans la vessie et l'urèthre ne détermine plus de gêne. Après quatre minutes de courant électrique constant, on enlève les électrodes et le mandrin, on débouche la sonde et on pousse du liquide dans la vessie. La tolérance est telle que l'on peut injecter 150 grammes d'eau tiède avant de provoquer le moindre besoin d'uriner.

La vessie ainsi dilatée, on introduit le lithotribe exploreur.

L'état douloureux reparaissant, (déjà le liquide est chassé par dessus l'instrument), on retire le lithotribe. La vessie se vide spontanément, le cortège des douleurs qui succèdent habituellement à la miction apparaît. Immédiatement nous faisons une nouvelle et pareille application des courants continus. Nous voyons de suite l'état douloureux cesser et le calme s'établir. ».

La galvanisation de la partie inférieure de la moelle est préconisée par Onimus pour faire disparaître les incontinenances nocturnes d'urine qui existent souvent chez les enfants. Plus récemment M. le professeur Guyon a recommandé, dans le même but, l'emploi du courant faradique agissant directement sur le sphincter vésical. L'électrode active, olive métallique attachée à un fil conducteur isolé, est introduite dans l'urèthre jusqu'au niveau du sphincter l'électrode indifférente est appliquée sur l'abdomen ; on gradue l'intensité du courant de manière à obtenir une contraction nette mais non violente du sphincter. Les séances, d'une durée de 2 à 4 minutes, doivent être quotidiennes ou se succéder tous les deux jours. La guérison se produit ordinairement après 10 à 15 séances. Il y a contre indication si l'incontinence est due à une irritabilité vésicale.

125. Spermatorrhée. — La galvanisation donne de bons résultats. Nous empruntons au Traité d'Electricité

Médicale d'Onimus et Legros, l'observation suivante rédigée par un étudiant en médecine soumis lui-même au traitement.

« Sans avoir jamais eu ni blennorrhagie, ni syphilis, voilà trois ans à peu près que j'ai des pollutions nocturnes assez fréquentes. Je n'y fis d'abord aucune attention, mais bientôt elles amenèrent une fatigue générale et presque l'impossibilité de préparer mes examens. Je consultai mon chef de service qui me conseilla les bains froids. Les pertes diminuèrent à la suite de ce traitement, mais elles revinrent plus fréquentes trois mois après, et ma santé générale commença à en souffrir d'une manière notable. Je pris du bromure de potassium pendant cinq à six mois, puis successivement des préparations de valériane, de belladone, de quinquina ; mes pertes continuèrent pendant toute cette époque. L'emploi des courants continus seul les a diminuées, et je viens de passer vingt jours sans avoir la moindre pollution nocturne. »

Ajoutons que la cathode indifférente doit être appliquée sur la colonne vertébrale, au niveau des dernières vertèbres dorsales, l'anode active étant appliquée sur le périnée. Intensité du courant 18 à 20 milliampères, durée de l'application 10 minutes environ.

126. Hypertrophie de la prostate. — Tripier rapporte une observation dans laquelle la réduction du volume de la prostate a été obtenue au moyen des courants induits. Chéron et Wolf ont préconisé l'emploi du courant continu, qui, d'après Onimus, amenderait rapidement les phénomènes vasculaires.

Le docteur Fort a exposé dans son Anatomie Descriptive une théorie qui, comme il en convient lui-même, pourrait paraître paradoxale s'il n'en démontrait pas la justesse. « Il n'y a pas de prostate en tant qu'organe distinct et iso-

« lable... Il n'y a pas une glande prostate entourant l'urè-
« thre, il y a des glandules uréthrales volumineuses,
« glandes muqueuses s'ouvrant dans le canal par des ori-
« fices distincts... Les vaisseaux et les nerfs de la prostate
« sont les vaisseaux et les nerfs de l'urèthre... D'après cet
« manière d'envisager la prostate, les maladies de cette
« organe se trouvent simplifiées. Qu'est-ce qu'une prosta-
« tite ? C'est l'inflammation des glandes uréthrales posté-
« rieures... En somme, la prostatite aiguë n'est qu'une
« uréthrite postérieure aiguë. Il en est de même de la
« prostatite chronique, qui n'est autre qu'une uréthrite
« postérieure chronique ». Cette théorie, que nous indi-
quons ici sous toutes réserves, autoriserait sans doute à
traiter l'hypertrophie de la prostate par l'électrolyse locale
analogue à celle que l'on applique aux rétrécissements du
canal de l'urèthre.

Le docteur Guimbail préconise, comme traitement de l'hypertrophie de la prostate, l'emploi des courants triphasés dont nous avons précédemment indiqué la nature (n° 74). Nous reproduisons, avec son autorisation, l'extrait suivant de la notice qu'il a publiée à ce sujet.

« L'application systématique des courants polyphasés chez les malades atteints de prostatomégalie m'a permis, dans un si grand nombre de cas, soit de les améliorer considérablement, soit de les guérir, que je considère ce traitement comme le plus rapide et le plus efficace auquel on puisse les soumettre ; ces courants, que j'ai, le premier, introduits dans la pratique médicale, déterminent la guérison absolue des symptômes physiques et la cessation des troubles fonctionnels liés à l'hypertrophie de la prostate, si on les utilise aux deux premiers stades de l'évolution des lésions. Ils agissent avec une rapidité parfois surprenante, sans astreindre le malade aux rigueurs d'un régime sévère, et contrastent étrangement avec les lenteurs et les incertitudes de la thérapeutique dirigée actuellement contre cette

affection. Dès les premières applications, ils permettent au malade d'éviter les dangers et l'assujettissement du cathétérisme répété. Il sont, d'ailleurs, indolores et d'une adaptation généralement facile. Même dans les cas où la régression de l'organe est impossible, ils atténuent ou font cesser les troubles fonctionnels et soustraient ainsi le malade aux opérations cruelles souvent dans leurs conséquences, et incertaines toujours dans leurs résultats.....

... Le diagnostic devra être soigneusement établi avant toute application électrique; on ne doit rien tenter, dans le cas de phlegmon prostatique périglandulaire, au cours de ces suppurations étendues qu'on ne rencontre guère que dans la jeunesse et qui sont consécutives à une violente réaction inflammatoire. Les symptômes propres à celle-ci, la douleur locale intense, les battements artériels perçus par le malade et sentis par le doigt (pouls prostatique), la constatation d'accès fébriles, les frissons prolongés, les désordres généraux plus ou moins graves, seront autant de points de repère pour le diagnostic.

A part ces complications graves, heureusement peu communes, l'indication de la méthode que j'expose ici est formelle dans tous les cas de rétention d'urine d'origine prostatique. Lorsqu'elle sera répandue, j'ai la conviction que les opérations habituellement pratiquées contre cette affection deviendront extrêmement rares. Leurs résultats sont d'ailleurs des plus incertains: ce n'est pas ici le lieu d'en discuter la valeur. La prostatectomie, en dehors de quelques cas, ne porte en général que sur le lobe moyen et a uniquement pour but de rendre possible l'introduction du cathéter. Les indications sont donc des plus restreintes. Les autres interventions sanglantes: résection des canaux déférents, angioneurectomie, castration unilatérale ou double, sont tellement redoutables et leur succès est si aléatoire qu'il est à peine besoin de les citer. Seule la cystostomie sus-pubienne a donné à M. Poncet (de Lyon) d'heureux résultats, s'il est permis d'appliquer cette formule à la création d'un urèthre contre nature. Elle constitue,

néanmoins, la seule opération légitime désormais, parce qu'elle ne s'applique qu'aux cas d'urgence, à ceux où la gravité d'emblée des accidents (température, délire, signes d'infection généralisée, langue sèche, etc.) ou l'impossibilité d'appliquer le traitement électrique, dans l'hypothèse par exemple de phlegmon, conseillent de mettre au repos l'appareil urinaire tout entier pour conjurer les phénomènes de rétention, d'infection, etc., tant actuels que futurs, par l'établissement d'un méat hypogastrique permanent. Dans tous les cas, il convient de rejeter la pratique des ponctions avec les aiguilles capillaires et les trocarts. En effet, ces interventions ne seraient légitimes que dans les cas bénins où l'obstacle à la miction est supposé devoir être de courte durée. Or ces cas sont précisément justiciables du traitement par les courants polyphasés.....

..... On peut classer les prostatiques en : *mécaniques* (atteints seulement de troubles fonctionnels) et *infectés* (atteints d'urémie, de septicémie urinaire.....) Tout prostatique soupçonné seulement d'empoisonnement urinaire doit d'abord être confié au chirurgien....

... La méthode que j'utilise avec un succès réel et constant contre l'hypertrophie prostatique se résume à comprendre la masse de l'organe dans le champ d'un courant triphasé. Plusieurs procédés d'application des électrodes conduisent à ce résultat. Il existe, dans tous les cas, un pôle fixe sous forme d'électrode rectale, grosse bougie d'ébonite légèrement incurvée à l'une de ses extrémités qui porte une plaque d'argent scellée dans son épaisseur, affleurant sa surface et en rapport, par un conducteur métallique intérieur, avec une borne serre-fil située à l'autre extrémité. Le toucher rectal ayant exactement délimité la position du lobe hypertrophié, on dirige l'électrode en la substituant au doigt de manière que la partie métallique se trouve exactement au point cherché..

Le second pôle est représenté, suivant les cas, soit par une plaque périnéale, soit par une fourche terminée par deux tampons de deux centimètres carrés de surface, à

branches écartables à volonté, réunies par un curseur à vis. On l'applique de chaque côté de l'origine de la verge (application sous-pubienne).

Le troisième pôle, qu'on doit considérer comme le plus important, est constitué par une sonde en gomme et soie rigide, à béquille, de gros calibre, très longue en raison de longueur exagérée du canal chez les prostatiques (1), munie d'une grande courbure élastique. Cette sonde porte enchassée au niveau de sa courbure, sur ses deux faces convexe et concave, une partie métallique, petite plaque d'argent, noyée dans la substance de la sonde et affleurant exacte-

(1) Quelle longueur convient-il d'assigner au canal de l'urèthre chez l'adulte ? Voici ce que le docteur Fort dit à ce sujet dans son *Anatomie Descriptive* :

« On admet généralement que l'urèthre a une longueur moyenne de 16 centim., d'après Sappey. Or, c'est là une erreur, ainsi que nous nous en sommes assuré maintes fois. Dans un mémoire présenté en 1891 à l'Académie de médecine, nous avons établi que l'urèthre tendu par la main, pendant le cathétérisme, a une longueur moyenne de 26 centimètres. Si on le mesure, la verge étant à l'état de repos, ce canal n'offre plus que 19 à 20 centimètres.

Chacun peut se rendre compte de l'exactitude de ces chiffres. Il suffit d'introduire une sonde dans la vessie et de la retirer doucement jusqu'à ce que l'écoulement de l'urine cesse. C'est de cette manière que nous avons procédé. Nous reconnaissons que nos chiffres sont bien différents de ceux de Sappey, qui n'a pris les mesures que sur des urèthres de cadavre.

On comprendra l'importance de ces chiffres si nous ajoutons qu'il existe des rétrécissements urétraux à une profondeur de 20, 22 et 23 centimètres, la verge étant tendue (Voir, pour plus de détails, *Revue chirurgicale des maladies des voies urinaires*, année 1890, p. 108.)

Chez l'enfant naissant, l'urèthre n'a que 6 centimètres de longueur ; à cinq ans, il en a 7 ; à dix ans, de 8 à 9 ; à quinze ou seize ans, de 12 à 14 ; enfin il a 16 centimètres de dix-huit à vingt ans. (Sappey, mesures prises sur le cadavre.)

Quelle est la longueur de chacune des trois portions isolées de l'urèthre ? La portion prostatique a, en moyenne, 2 centimètres $1/2$; la portion membraneuse, 1 centimètre $1/2$; la portion spongieuse est très variable, c'est elle qui détermine les variétés de longueur de ce canal. Les deux premières portions et une partie de la troisième forment la courbure postérieure.»

ment. Ces deux plaques sont reliées par un rhéophore intérieur à une borne serre-fils, située au niveau du pavillon de la sonde, qui porte à son extrémité opposée et au-dessous des parties métalliques un œil assez volumineux.

Toute les fois que l'introduction de la sonde est possible on doit se servir de cette électrode comme troisième pôle. On laisse, avant d'établir le courant, la miction s'opérer et la vessie se vider. L'instrument est établi de telle manière qu'il se trouve en place, les parties métalliques en contact avec l'urèthre prostatique, au moment où commence l'écoulement de l'urine. Quelques contractures vésicales sont d'ailleurs consécutives au passage du courant: elles ne sont que rarement douloureuses, si on prend soin d'élever insensiblement le voltage du courant.

Avant de tenter l'introduction de la sonde il faut recourir, à l'aide d'un explorateur à boule olivaire, à l'exploration du canal. On est renseigné sur le calibre de la sonde à employer par l'obstacle rencontré dans l'urèthre antérieur, et sur la forme de la sonde par l'obstacle rencontré dans l'urèthre postérieur. Dans le cas où la sonde ne pénètre pas par suite de la longueur et de la résistance prostatiques, on recourra à la sonde porte-électrode montée sur mandrin à grande courbure comme les Béniqué. Si ce dernier moyen échoue, il faut posséder et utiliser une sonde porte-électrode à bout coupé qu'on glisse sur un conducteur consistant en une fine bougie armée qu'on introduit et sur laquelle on visse le conducteur métallique qui est joint à l'uréthrotome de Maisonneuve.

Il va sans dire que l'évacuation de la vessie se fera en plusieurs temps et qu'on pourra y pratiquer, tout en appliquant le traitement par les courants polyphasés, les lavages antiseptiques habituellement usités en pareil cas, tout en se rappelant que par le fait même du passage du courant la tonicité de la vessie est accrue et sa contractibilité musculaire sensiblement augmentée.

Le voltage et l'intensité du courant seront élevés très graduellement pendant chaque séance quotidienne ou bi-

quotidienne de cinq minutes. L'application recto-uréthropérinéale est infiniment moins tolérante que l'application recto-périnéo pubienne. Je n'ai jamais pu dépasser, dans la première, quatre milli-amp. sous douze volts. On peut fréquemment atteindre, suivant les résistances individuelles dans la seconde, de quinze à vingt milli-amp. sous vingt volts. L'expérience m'a démontré que le succès de l'intervention électrique ne dépend ni de la quantité du courant administré ni de son potentiel. Il n'est pas rare de voir cesser, dès les premières applications, les troubles fonctionnels les plus importants et en particulier la rétention. On doit néanmoins poursuivre les applications pendant un temps laissé à l'appréciation du médecin, si l'on veut s'assurer de la disparition des causes d'hypertrophie, et obtenir ainsi la guérison définitive. Chez plusieurs malades il m'a fallu reprendre, par séries, le traitement électrique, l'affection ayant manifesté plusieurs retours agressifs. C'est une légère déconvenue, car le traitement n'est ni long ni douloureux, et les malades s'y prêtent sans répugnance ».

Le docteur Guimbail associe à ce traitement électrique le massage abdominal et la douche périnéale ascendante, aussi chaude que le malade puisse la supporter. On observe presque immédiatement une miction plus facile et moins pénible, ainsi que la disposition de la polliakurie nocturne. « Au dernier stade de l'affection, l'effet favorable « de la médication se traduit de deux manières, soit qu'elle « détermine une réduction notable de l'inflammation, « laissant la prostatite évaluer sans manifestation appa- « rente, quoique avec une menace pour l'avenir et des « récives possibles, soit qu'elle hâte le travail de sclé- « rose prostatique totale atrophiante, compatible avec une « bonne santé exempte de troubles fonctionnels ».

Il est clair, d'ailleurs, que l'hygiène ne doit pas être négligée.

127. *Rétrécissements de l'urèthre.* — Très critiquée au début, la méthode de traitement des rétrécissements de l'urèthre par l'électrolyse linéaire compte aujourd'hui de nombreux partisans. Comparativement à l'uréthrotomie, l'électrolyse a l'avantage de produire à froid, sans violence et sans hémorrhagie aucune, la section des tissus; elle n'oblige pas, comme l'uréthrotomie, à poser une sonde à demeure pour éviter une infection urineuse consécutive à l'opération.

Nous lisons dans le *Traité de Chirurgie* de MM. Duplay et Reclus : « L'électrolyse linéaire se pose maintenant en « rivale de l'uréthrotomie; son matériel s'est perfectionné « et Fort lui a fait faire de beaux progrès. De ce que nous « avons lu, nous n'osons pas à conclure à son rejet, bien « que les faits de Keger, de Tédénat et de Lavaux commencent à lui constituer un dossier défavorable ». D'autre part, M. le professeur Tillaux a écrit, dans la préface du *Traité des Rétrécissements* du docteur Hamonic : « Quand « on est obligé d'interrompre la dilatation, il faut recourir à la section du rétrécissement avec la lame tranchante « de Maisonneuve, ou bien avec l'instrument électrolytique, Lorsque le rétrécissement devient indilatable, il faut « employer un adjuvant à la dilatation. Le meilleur adjuvant est l'uréthrotomie interne. L'électrolyse linéaire est « également un bon moyen, qui fournit d'ailleurs un résultat identique à celui de l'uréthrotomie interne ».

Afin d'être bien documenté sur cette importante question, nous avons eu recours à l'obligeance du docteur Fort, avec le concours duquel nous avons rédigé l'exposé suivant.

PREMIERS ESSAIS. — L'idée d'appliquer l'électrolyse au traitement des rétrécissements de l'urèthre appartient, si nos recherches sont exactes, à Frommheld.

Frommheld. *Ueber Coagulationen des Eiweisses durch Electricitäts-Strome, mit Beziehung auf die Heilung von Aneurysmen und über Aaflösung von Harnröhren-Stricturen durch Electricität*, (Österr-Zeitsch f. prakt. Heilk. Vienne, 1860, t. VI, p. 513.

Cette idée d'agir sur l'urèthre au moyen du galvanisme était déjà venue à Crusell, puis à Wertheimber; mais ils voulaient seulement utiliser l'action résolutive de l'électrode négative pour dissoudre les engorgements péri-urétraux, auxquels ils attribuaient un rôle considérable dans la production des rétrécissements. Les piles employées dans ces essais étaient insuffisantes pour opérer une perte de substance.

Leroy d'Etiolles a fait connaître les tentatives infructueuses de Wertheimber dans son mémoire : *sur la cautérisation d'avant en arrière; de l'électricité et du cautère électrique dans le traitement des rétrécissements de l'urèthre*, Paris, 1852.

Tripier a conseillé l'emploi de la galvano-caustique, chimique dans le traitement des rétrécissements de l'urèthre en janvier 1863 (*Ann de l'électricité*, t. I). Sa première observation a été publiée en 1864 (*Bull, gén. de Thér.*, t. LXVI, p. 463).

Appareil de Mallez et Tripier. — De concert avec Mallez, Tripier construisit un appareil pour détruire le tissu pathologique dans les rétrécissements de l'urèthre.

Les cathéters employés comme électrodes consistaient essentiellement en un cylindre métallique terminé par une olive également métallique. Pendant l'opération il agissait donc sur toute la circonférence, ce qui était contraire au principe chirurgical généralement admis d'après lequel il convient de ne détruire les rétrécissements que sur un point de cette circonférence; avec ces instruments on ne pouvait se servir de conducteur.

Electrolyseur linéaire. — Le Dr Jardin, chef de clinique de Mallez, fit construire un électrolyseur sur le modèle de l'uréthrotome de Maisonneuve. C'était l'uréthrotome, avec la seule différence que la lame tranchante de cet instrument était remplacée par une lame de platine non tranchante. L'instrument se composait de trois pièces qu'il fallait ajuster.

Electrolyseur linéaire du docteur Fort. — Cet uréthro-électrolyseur, que nous avons déjà mentionné sommairement (n^o 57 et figure 64) doit faire ici l'objet d'une des-

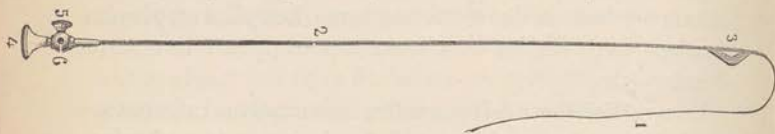


Fig. 124.

cription plus détaillée. Il se compose (Fig. 124) d'une seule pièce, bougie de 60 centimètres de longueur, qui présente à l'origine le diamètre correspondant au numéro 4 ou 5 de la filière Charrière, et se termine par une longue partie filiforme. La première moitié de cet instrument est rigide et renferme centralement un fil métallique; ce fil peut être relié par une de ses extrémités au pôle négatif de la pile, tandis que son autre extrémité est soudée à une petite lame de platine qui émerge de l'instrument, vers le milieu de sa longueur.

L'extrémité filiforme peut franchir le rétrécissement le plus étroit, ce qui permet à la lame saillante d'arriver jusqu'à ce rétrécissement, contre lequel elle butte et s'arrête. Comme la surface de l'électrolyseur est très lisse, son introduction dans l'urètre peut toujours se faire sans déchirure.

Voici le manuel opératoire :

1^o Si le rétrécissement est si étroit qu'il ne permette pas

l'introduction d'une bougie du calibre du conducteur de l'électrolyseur, après avoir fait prendre un bain tiède au malade, on introduit une bougie filiforme. Cette bougie sera fixée (en ayant soin de ne pas [blesser les parties molles) avec un lien et demeurera toute une nuit en place. Souvent au bout de quelques heures la dilatation obtenue permettra, chez les malades d'une grande sensibilité, de tenter le passage de l'instrument.

2^o Les précautions antiseptiques seront rigoureusement observées avant, pendant et après l'opération. On ne négligera pas de pratiquer en même temps l'asepsie rigoureuse de tout ce qui servira au malade et à l'opérateur. L'urine contenue dans la vessie sera évacuée.

3^e On insensibilisera l'urèthre en remplissant d'une solution de cocaïne au 1/30^e une petite seringue à injection; tandis que la main gauche maintient en contact les lèvres du méat urinaire contre la canule, la main droite pousse doucement le piston et chasse le liquide. Pour faire pénétrer la solution dans la profondeur de l'urèthre, il faut presser le pénis contre la partie inférieure du pubis, comme si on voulait faire rentrer la verge dans elle-même.

Une minute suffit pour obtenir l'insensibilité.

4^o L'opérateur est pourvu d'un électrolyseur, d'une pile à courant continu (de Gaiffe par exemple), d'un galvanomètre; ayant vérifié l'ordre de marche de ses instruments et secondé par un aide qui mettra la pile en action et vérifiera l'ampérage, il va manœuvrer l'électrolyseur.

Manœuvre de l'électrolyseur. — Le malade étendu sur une chaise longue, le chirurgien introduit l'instrument comme il introduirait une sonde rigide. Au moment où la lame arrive au niveau du point rétréci (une mensuration de la distance exacte du rétrécissement au méat a éclairé l'opérateur, lorsqu'il pratiqua le catéthérisme pour examiner le malade, et lui donne un terme de comparaison), l'électro-

lyseur est mis en contact avec le pôle négatif de la pile et on applique la plaque qui représente l'électrode positive sur un point du corps aussi rapproché que possible du pénis. Cette plaque sera maintenue par le malade qui exercera une pression. L'aide manœuvre alors le manipulateur de la pile et l'opération commence ; le galvanomètre servira à apprécier l'intensité du courant employé : on ne devra pas dépasser 10 milliampères en général. La durée exceptionnelle d'une opération pourrait permettre d'employer 15 ou 20 milliampères, sans jamais dépasser ce dernier chiffre ; pendant le passage du courant, *sans exercer de pression*, l'opérateur guide l'électrolyseur.

Voici une statistique qui permet d'apprécier la durée de l'opération.

| Dans | 1 | cas, | l'opération | a duré.... | 9 | secondes. |
|------|----|------|-------------|------------|------|-----------|
| — | 2 | — | — | — | .... | 12 — |
| — | 3 | — | — | — | .... | 14 — |
| — | 5 | — | — | — | .... | 15 — |
| — | 5 | — | — | — | .... | 18 — |
| — | 25 | — | — | — | .... | 20 — |
| — | 16 | — | — | — | .... | 25 — |
| — | 2 | — | — | — | .... | 28 — |
| — | 15 | — | — | — | .... | 30 — |
| — | 11 | — | — | — | .... | 35 — |
| — | 6 | — | — | — | .... | 40 — |
| — | 3 | — | — | — | .... | 45 — |
| — | 1 | — | — | — | .... | 50 — |
| — | 2 | — | — | — | .... | 55 — |
| — | 3 | — | — | — | .... | 60 — |
| — | | | | | | |
| | | | | | | 100 |

Le rétrécissement franchi, l'électrolyseur est rapidement poussé jusqu'au niveau de la prostate dans le but de rechercher si un deuxième rétrécissement ne vient pas l'arrê-

ter de nouveau. Dans ce cas on franchirait le ou les retrécissements qui se trouvent en arrière du premier par rapport au méat, dans la même séance. L'opération est terminée.

La dilatation obtenue immédiatement sera, suivant l'électrolyseur employé, de 18, 24 ou 26 de la filière Charrière ainsi qu'on pourra le vérifier par le passage d'un bougie.

5° La vessie sera remplie d'une solution antiseptique qu'on fera immédiatement évacuer au malade; (un spasme subsiste pendant quelques instants). Le malade sera ensuite mis au repos, au régime lacté jusqu'au lendemain matin, et recommandation lui sera faite d'attendre le plus possible pour uriner, après le départ du médecin.

6° Pour éviter une récurrence il sera prudent d'initier le malade ou de pratiquer lorsqu'il sera possible, la dilatation consécutive avec des bougies.

Remarque : Plusieurs électrolyseurs ont été proposés pour l'électrolyse circulaire qui doit être rejetée. MM. Newmann et Debedat ont proposé des instruments analogues. Voici ce que Vigouroux dit à ce sujet.

« Alors que les olives de Newmann sont métalliques et percées d'un bout à l'autre d'un trou taraudé dans lequel se vissent le fouet et la bougie conductrice, M. Debedat a fait construire des olives dont la grosse extrémité seule est métallique et dont la moitié éfilée est en ivoire. Cette disposition diminue la surface de métal en contact avec les tissus et permet de ne toucher absolument que la cicatrice en n'électrolysant qu'au retour. ».

OBSERVATION. — *Rétrécissement multiple guéri par l'électrolyse linéaire* (Communiquée par le Dr Fort).

Un jeune homme de 26 ans, L..., faisant partie de l'orchestre de l'Opéra, à Paris, vint me trouver, en avril 1891, de la part de nos excellents confrères les Drs Simon et

Compagnon, pour être traité d'un rétrécissement urétral, datant de dix ans environ, et ayant succédé à une urétrite de longue durée.

Ce malade avait eu une première rétention d'urine, il y a trois ans, et une deuxième quelques mois après. Au premier accident de rétrécissement il s'adressa à un confrère qui évacua la vessie au moyen d'une très petite sonde, et qui commença un traitement par la dilatation.

Le malade renonça bien vite à ce traitement qui lui occasionnait de vives douleurs.

Il conserva son rétrécissement et vécut tant bien que mal jusque dans ces derniers temps. Il se présenta à moi le 20 avril 1891, urinant fort mal, quelquefois goutte à goutte, et très fréquemment, le jour comme la nuit, L'urine n'était pas altérée.

On s'imagine quelquefois que la fréquence des mictions est un signe certain de cystite. Dans un grand nombre de cas, il n'en est rien; la fréquence de la miction tient à un état nerveux, à une sensation presque permanente d'envie d'uriner, réflexe dont le point de départ est dans le rétrécissement lui-même. On voit, en effet, ces sujets ne vider leur vessie que deux ou trois fois par jour dès que l'opération est pratiquée, tandis qu'ils étaient tourmentés auparavant par des envies incessantes d'uriner.

Examiné au moyen des explorateurs à boule, le malade présente trois rétrécissements :

L'un de 3 millimètres de diamètre, à 8 centimètres du méat urinaire; le deuxième, de 2 millimètres de diamètre, à 14 centimètres du méat; et le troisième, presque infranchissable, à 17 centimètres environ. Je parviens avec beaucoup de difficultés à introduire une fine bougie n° 3 de la filière Charrière.

J'avais la certitude de guérir ce malade. Le samedi 25 avril fut fixé pour l'opération.

Comme le rétrécissement, très étroit, ne permettait pas l'introduction de la fine portion terminale de l'électrolyseur il fut nécessaire d'introduire préalablement une bougie fili-

forme qui resta en place pendant la nuit du vendredi au samedi.

Le samedi matin, une légère dilatation s'étant produite j'ai pu procéder à l'opération, qui a eu lieu en présence de M. Mousson, médecin principal de la marine à Toulon, de M. Lorette et de quelques autres assistants.

Les choses ayant été disposées comme de coutume, le pôle positif à la racine de la cuisse, le pôle négatif en contact avec l'électrolyseur, et la pile à courant continu étant mise en action, j'ai exercé une pression extrêmement douce sur l'électrolyseur, et j'ai eu le plaisir de constater qu'une minute a suffi pour franchir les points rétrécis en y produisant un sillon linéaire. L'intensité du courant était de 8 milliampères.

Chose remarquable, ce jeune homme, très craintif, pusillanime même, a fait l'aveu de n'avoir ressenti aucune espèce de douleur. Il y a eu deux ou trois taches de sang sur son linge. ce qui n'a rien d'étonnant dans ce cas, attendu que l'urèthre de M. L... saignait toutes les fois qu'on y introduisait une sonde.

Une bougie n° 25 de la filière Charrière passe avec facilité.

De la Récidive. — M. J. A. Fort a dit à ce sujet, dans son Mémoire de 1888 à l'Académie de Médecine.

« Selon nous, on ne peut faire aucune objection sérieuse à l'électrolyse. Elle a surtout pour avantage d'être presque indolore et complètement inoffensive.

Tout au plus pourrait-on se demander s'il y a récidive après l'électrolyse linéaire.

S'il y avait récidive, cela ne diminuerait en rien la supériorité de cette opération, car la récidive est presque fatale après toutes les autres méthodes opératoires. Nous nous hâtons de dire *qu'il n'y a pas récidive* lorsque l'opération est bien pratiquée. Pratiquement nous savons que des malades ont été radicalement guéris depuis trois et quatre ans sans qu'il y ait eu récidive.

Il s'agit, nous le répétons, de détruire toute l'épaisseur de la substance même du rétrécissement. Nous ne connaissons aucune règle à indiquer pour donner la mesure de cette épaisseur. C'est à force d'habitude qu'on peut arriver à se faire une opinion à ce sujet. Il faut se baser surtout sur le calibre de la partie normale de l'urèthre.

Il ne faudrait pas croire que la même lame convienne à tous les rétrécissements. Nous avons fait construire des lames depuis cinq jusqu'à huit millimètres de hauteur.

Il n'y aura jamais récurrence toutes les fois que la substance du rétrécissement, le tissu pathologique rétractile, aura été détruite dans toute son épaisseur. Si, au contraire, la destruction linéaire n'est pas complète, ce qui restera du tissu pathologique amènera une rétraction plus ou moins tardive.

Il faut savoir aussi que, dans certains cas de rétrécissements peu serrés, si l'on emploie une lame un peu petite, il peut arriver que la lame franchisse le point rétréci sans opérer. C'est ce qui a fait dire à quelques chirurgiens qu'il y avait une récurrence rapide. Avec un peu d'habitude on n'a jamais cet inconvénient à redouter ».

Remarquons, en terminant, que la prostatite et la blennorrhagie chronique sont les conséquences d'un rétrécissement qu'il faut faire disparaître pour obtenir leur guérison.

L'étrécissement du méat et les polypes de l'urèthre chez la femme sont justiciables du même traitement que le rétrécissement de l'urèthre. Touvenaint préconise spécialement l'électrolyse circulaire pour le traitement des polypes dont il s'agit.

OBSERVATION. — *Rétrécissement de l'urèthre chez une jeune fille* (Communiquée par le Dr Fort).

Voici un cas rare. J'avoue que c'est le premier cas de rétrécissement de l'urèthre que j'observe chez la femme.

Mlle X... vient d'Avranches (Manche), pour être traitée

d'une affection urinaire dont elle ignore le nom aussi bien que la cause. Elle a 21 ans.

Depuis cinq à six ans, étant en pension, elle a été prise d'envies fréquentes d'uriner ; ces mictions fréquentes ont continué jusqu'à ce jour. Elle urine constamment, de demi-heure en demi-heure. Au lieu de vider la vessie rapidement comme le font les femmes, elle y met un certain temps et elle rend un liquide trouble et ayant un peu de mauvaise odeur.

La malade a un aspect souffreteux ; elle est pâle, maigre, et ne pèse que 45 kilos. Elle a peu d'appétit ; les battements du cœur et le pouls sont un peu précipités (120 pulsations à la minute).

Ce cas est particulièrement sérieux en raison de ce fait que la vessie ne supporte pas une quantité de liquide dépassant 100 gr. La vessie est petite et rétractée et il faudra un certain temps pour la ramener à ses dimensions normales.

Je procède à l'examen de la malade au moyen de sondes et d'explorateurs uréthraux à olive. Il n'y a pas de calcul et la vessie n'est pas douloureuse au contact des instruments. L'urine est légèrement troublée par des leucocytes reconnus à l'examen microscopique. Il y a donc un léger degré de cystite.

Les explorateurs à boule pénètrent dans la vessie s'ils sont de petite dimension, mais ceux dont la boule égale le diamètre d'une bougie nos 20 et 21 rencontrent un point résistant situé à un centimètre en arrière du méat urinaire. Ce point résistant est surtout marqué lorsqu'on retire l'explorateur. Au moment où je retire, il y a une douleur assez vive. Au niveau du méat urinaire il y a un peu de mucus.

Mon *diagnostic* est le suivant : *Retrecissement de l'urèthre, cystite consécutive*. Ce qui m'a frappé surtout, c'est l'analogie de cette maladie avec les rétrécissements de l'urèthre chez l'homme ; fréquence de la miction, lenteur de la miction, cystite consécutive. Le traitement indiquera si le diagnostic est exact, car j'ai l'intention d'appliquer le traite-

ment des rétrécissements de l'homme, c'est-à-dire l'électrolyse linéaire dont l'application aura lieu demain 28 janvier.

L'examen des poumons est favorable. Ces organes paraissent absolument sains.

Il est fort difficile de remonter à l'origine du mal. Les soins dont est entourée cette fille unique par ses parents, la vigilance des parents et l'intégrité de toutes les parties de l'appareil génital interdisent toute supposition étrangère à la production du rétrécissement de cause spontanément inflammatoire.

L'examen des urines a été fait au laboratoire de M. Vicario.

L'urine, trouble, floconneuse, contient 0,35 centigr. d'albumine par litre, elle est fortement acide et présente une quantité de chlorure au-dessus de la normale (15 grammes de chlorure de sodium).

L'examen microscopique révèle la présence de cristaux abondants d'oxalate de chaux, de nombreuses cellules épithéliales pavimenteuses et conques, des cellules rondes en assez grand nombre et quelques leucocytes agrandis.

Ferments et mucus abondant.

Operation. L'électrolyse a lieu le lendemain, sans douleur, pour ainsi dire, avec une intensité de 10 milliampères; il s'écoule quelques gouttes de sang. J'ai anesthésié l'urèthre avant l'opération avec une solution faible de cocaïne dans l'eau de laurier cerise et aseptisé la vessie au moyen d'un lavage antiseptique.

J'ai mis une petite sonde à demeure pendant six heures. La malade n'a pas eu de fièvre; elle a éprouvé un sentiment de brûlure quand elle a uriné après avoir retiré la sonde le soir.

J'ai fait des lavages quotidiens et il est probable qu'il faudra en faire pendant un certain temps pour triompher de la cystite.

§ 7. — GYNÉCOLOGIE.

A. Vulvites. — Eléphantiasis de la vulve. — Végétations de la vulve. — Tumeurs variqueuses. — Cancer de la vulve. — B. Vaginisme. — Vaginites. — C. Déplacement de l'utérus. — Fibromes de l'utérus. — Polypes de l'utérus. — Métrites. — Aménorrhée. — Dysménorrhée. — Rétrécissement du col. — Affections des annexes de l'utérus. — Remarques relatives à l'obstétrique.

L'électrothérapie gynécologique a pris aujourd'hui beaucoup d'importance et peut rendre de grands services pour le traitement de plusieurs maladies ; elle permet souvent d'éviter les graves interventions chirurgicales. Nous allons parler successivement des affections de la vulve, du vagin, de l'utérus et de ses annexes.

A. *Affections de la vulve.*

128. Vulvites. — La vulvite folliculaire est justiciable du traitement électrique ; une application du courant faradique faite chaque jour pendant environ dix minutes peut atténuer beaucoup les démangeaisons.

Pendant la période de suppuration, il y a lieu de recourir au courant continu. Anode indifférente sur l'abdomen, cathode active sur la vulve ; intensité de 4 à 5 milliampères ; durée de 5 minutes ; trois séances par semaine.

On peut se contenter d'employer au début le traitement médical ordinaire (légère cautérisation et emploi des antiseptiques). Si l'affection résiste à ces moyens, ou si elle accompagne un eczéma chronique, le traitement électrique devient nécessaire.

L'application des courants statiques peut donner de bons résultats et amener la guérison, d'après la note suivante de M. Labbé, extraite de la Presse Médicale.

« M. E. Albert Weil a employé, dans les affections de la peau et des muqueuses, une méthode électrique toute nouvelle et il en a obtenu les meilleurs résultats : l'on suspend par son armature interne un condensateur à chaque pôle d'une machine statique ; on met l'armature externe de l'un en communication avec le sol, alors qu'on attache une électrode convenable (disque à pointes, électrode à manchon de verre) à la chaîne de l'armature externe de l'autre. Quand on approche cette électrode du malade non isolé, et si une série d'étincelles éclate entre les boules polaires de la machine, on voit, dans l'obscurité, une effluve violette extrêmement puissante s'échapper du disque à pointes, ou bien une très grande quantité de petites étincelles éclater entre la peau et le métal à travers le manchon, lorsqu'on emploie l'électrode à manchon de verre.

Cette effluve ou ces étincelles, très facilement supportables, ont réussi dans cinq dermatoses variées. L'auteur les a de même essayées dans un cas de vulvite et vaginite et il a eu également une guérison ».

129. *Eléphantiasis de la vulve.* — L'extirpation des parties hypertrophiées ne met malheureusement pas le malade à l'abri de fréquentes récidives. L'emploi du courant continu, dont nous connaissons les propriétés atrophiantes, peut remplacer avantageusement l'intervention chirurgicale ; sans pouvoir compter sur un résultat immédiat, on est, du moins, en droit d'espérer une amélioration telle que la douleur disparaîtra complètement.

Anode indifférente sur l'abdomen, cathode appliquée au niveau des parties hypertrophiées. Intensité de 8 à 10 milliampères ; durée de 5 à 10 minutes. On peut faire une séance par jour pendant trois jours consécutifs et inter-

rompre ensuite le traitement pendant une semaine. Ne pas négliger l'antisepsie pendant les intervalles des séances.

Le même traitement électrique peut être employé contre l'*esthiomène végétant hypertrophique* de la vulve.

130. Végétations de la vulve. — On peut attaquer de la manière suivante les bases d'implantation de ces petites tumeurs par la galvanisation. Anode indifférente placée sur l'abdomen, cathode active consistant en une aiguille ou un système de plusieurs aiguilles que l'on implante dans le pédicule de la tumeur ; intensité de 10 milliam-pères ; application prolongée jusqu'à la chute de la végétation.

Si l'on veut attaquer plusieurs végétations dans une même séance, il faut avoir soin de les choisir assez espacées les unes des autres (un centimètre, au moins), pour ne pas trop localiser le traumatisme opératoire. On appliquera ensuite un simple pansement à la gaze iodoformée sur chaque tumeur.

131. Tumeurs variqueuses. — Un traitement électrique analogue à celui des angiomes peut produire, à défaut de la guérison, une amélioration notable. On prend pour anode active une aiguille enfoncée dans la tumeur ; la cathode indifférente s'applique sur l'abdomen ; courant de 10 milliampères pendant environ cinq minutes.

Cette méthode n'est pas exempte de danger, alors surtout qu'on l'applique aux gros troncs veineux ; les embolies sont à redouter.

132. Cancer de la vulve. — Quelques auteurs ont affirmé, sans preuves à l'appui, que le courant continu peut atténuer ou faire disparaître la douleur. Nous regarderions comme plus indiquée l'action bienfaisante du cou-

rant sinusoïdal. D'après Touvenaint : « ce courant alternatif amène une sédation rapide des phénomènes douloureux, et cela, soit que la douleur soit sous la dépendance d'une métrite parenchymateuse, soit qu'elle soit due à une affection des annexes. » Il semble que l'on puisse espérer des résultats du même genre lorsqu'il s'agit du cancer de la vulve.

B. Affections du vagin.

133. Vaginisme. -- On peut recourir à la faradisation, au moyen d'une électrode bipolaire d'Apostoli introduite dans le vagin : on réglerá l'intensité du courant d'après la tolérance de la malade. L'opérateur doit promener l'électrode sur la région douloureuse en exerçant une certaine pression. Séances de 15 à 30 minutes répétées tous les jours ou tous les deux jours.

134. Vaginites. — Pour le traitement des vaginites, on peut utiliser les propriétés antiseptiques du courant continu. Pendant notre service d'interne à Saint-Lazare, nous avons, sur le conseil de notre maître le docteur Le Blond, employé comme électrode vaginale un simple hystéromètre, à manche isolé, entouré d'une couche de coton hydrophile imbibé d'eau salée ; on évite ainsi la distension des parois vaginales que produisent généralement, un grand détriment de la tolérance des malades, les électrodes vaginales ordinairement employées.

L'observation suivante a été recueillie par nous dans le service de M. Le Blond.

La nommée L..., âgée de 19 ans, entre à la salle S^{te} Eléonore le 25 janvier 1898. Le diagnostic de son affection est vaginite et uréthrite. L'examen microscopique pratiqué par M. Roger, pharmacien en chef, confirme la

présence de gonococcus. Nous commençons le traitement, le 28 janvier, au moyen du courant continu. Anode indifférente sur l'abdomen, cathode active, consistant en un hystéromètre garni de coton humide, introduite dans le vagin, qui supportait à peine l'introduction de l'index. Nous faisons passer pendant cinq minutes un courant continu de 20 milliampères.

L'urétrite est traitée, d'autre part, par une solution de nitrate d'argent au centième. La malade, à laquelle nous avons recommandé le repos, prend chaque jour une injection aseptique de décoction de racine de guimauve ; nous écartions ainsi l'emploi des antiseptiques jugé inutile.

L'apparition, d'ailleurs tout à fait normale, des règles nous a empêché pendant quelques jours de renouveler l'application du courant continu. C'est seulement le 7 février que nous avons pu pratiquer sans difficulté l'examen au spéculum ; nous avons constaté que l'utérus était intact et confirmé notre diagnostic d'une vaginite, dont l'atténuation se manifestait déjà très sensiblement. Prenant une électrode vaginale plus volumineuse que la première fois, nous avons fait passer pendant cinq minutes un courant de 15 milliampères. Cette application a été renouvelée, dans les mêmes conditions, trois jours après, c'est-à-dire le 10 février. La guérison de la vaginite a été constatée le 14 février ; il ne subsistait plus qu'un suintement transparent ; l'absence de gonococcus a été confirmée par l'examen microscopique.

C. Affections de l'utérus.

135. *Déplacement de l'utérus.* — M. le docteur Tripier préconise la faradisation. Electrode utérine en charbon, électrode indifférente placée sur l'abdomen ou sur le sacrum, lorsqu'il s'agit d'une rétroversion ; séances quo-

tidiennes ; intensité du courant déterminée par la tolérance de la malade. On a souvent constaté des améliorations notables dues à ce traitement.

136. Fibromes de l'utérus. — La première application du courant continu au traitement des fibromes de l'utérus a été faite en Amérique par Cutter, en 1871. Ce traitement électrolytique, devenu classique aujourd'hui, a été ensuite introduit successivement en Italie et en France par Ciniselli, Omboni, Apostoli, Lucas-Championnière et Danion.

Apostoli a précisé les indications et la technique opératoire. Madame Kaplan-Lapina, à la suite de six années de pratique de la méthode d'Apostoli, est arrivée aux conclusions suivantes, communiquées en juin 1898, à la Société d'Electrothérapie :

« 1^o Le courant continu est un agent de thérapeutique symptomatique des plus précieux pour le traitement des fibromes utérins, avec une efficacité variable suivant les cas.

2^o Il est capable à lui tout seul d'amener une guérison complète, symptomatique, avec régression anatomique variable plus ou moins considérable dans les fibromes interstitiels diffus « type métritique ».

Ces fibromes sont caractérisés par une augmentation générale du volume de l'utérus, c'est-à-dire par un épaissement de toutes ses parois, d'une façon uniforme ; par l'allongement de sa cavité ; par sa consistance fibreuse beaucoup plus dure que celle d'une métrite parenchymateuse chronique ; par son symptôme dominant, l'hémorragie, symptôme tenace et résistant souvent à tous les autres traitements sauf l'électrothérapie.

3^o Dans les fibromes plus gros que les précédents et nettement délimités, la galvanocaustique chimique positive amène également une guérison symptomatique plus ou

moins constante dans la plupart des cas sans influencer notablement le volume de la tumeur.

Les échecs sont dus selon toute probabilité à l'impossibilité d'appliquer à certaines malades un traitement électrique assez intense, soit à cause des complications annexielles, soit à cause de la sensibilité nerveuse excessive.

4^o Les gros fibromes qui s'élèvent jusqu'à un travers de doigt au-dessous de l'ombilic, n'atteignant cependant encore pas un volume extraordinaire, sont aussi tributaires du traitement galvanique, mais à un degré variable.

On obtient même, dans ces derniers cas, une guérison symptomatique plus ou moins complète et durable. Quant à la diminution anatomique, elle est beaucoup plus rare.

5^o Dans les gros fibromes sous-muqueux (inclus dans un utérus fibromateux), difficiles à reconnaître au premier abord, le courant continu est un adjuvant précieux à la chirurgie, en préparant les malades, soit à une intervention opératoire ultérieure, soit en favorisant, d'une façon partielle ou complète, leur élimination spontanée.

6^o Les fibromes sous-péritonéaux pédiculisés sont généralement peu justiciables de l'action du courant continu, mais toutefois peuvent, dans quelques circonstances, retirer un bénéfice plus ou moins considérable d'une intervention électrique par la libération périphérique des adhérences préexistantes, et l'arrêt plus ou moins durable de l'accroissement ultérieur ».

M. le professeur Bouilly déclare que la galvanisation doit toujours être appliquée, avant tout autre traitement :

1^o Quand le fibrome est petit ou de moyen volume, c'est-à-dire ne dépassant pas l'ombilic ;

2^o Quand il est unique ou peu lobulé, interstitiel, ou sous-muqueux, plutôt mou que dur ;

3^o Quand il s'accompagne de ménorrhagies ;

4^o Quand il est avéré qu'il n'y a pas de complications de lésions des annexes ;

5° Quand la femme est proche de la ménopause.

Le manuel opératoire est fort simple. Anode indifférente appliquée sur l'abdomen, cathode active intrà-utérine. Intensité du courant, 100 à 250 milliampères, d'après Apostoli, 45 à 90 milliampères d'après Lucas-Championnière et Danion. Séances de 5 à 10 minutes, tous les jours ou tous les deux jours.

On peut éviter de surmener la tolérance de l'utérus en réduisant à 20 milliampères, et même à 10, l'intensité du courant, sauf à augmenter la durée et le nombre des séances.

Voici une observation du docteur Catusse, concernant la guérison d'un fibrome utérin par le traitement électrique.

« Madame C..., âgée de 51 ans, obèse, malade depuis plusieurs mois, traitée déjà il y a 4 ans par cautérisation intrà-utérine avec l'acide nitrique fumant ; traitée en juin 1891, par le curetage pour métrorrhagies ; amélioration, disparition complète des accidents, mais retour au mois d'octobre. Cautérisation nouvelle à l'acide azotique fumant sans succès ; nous appliquons alors les courants continus à partir du 24 novembre 1891. Voici, à cette date, quelle était la situation de la patiente.

Amaigrissement général, couleur jaune terreux de la face, écoulement sanguin peu abondant mais continu. L'utérus est élevé, en rétroversion ; on le sent à travers la paroi abdominale, à trois travers de doigt au-dessus du pubis ; il offre le volume d'une grosse orange. Hystérométrie : 10 centim., courant de 150 milliamp, pendant 5 minutes.

| | | |
|----------------------|---------------|------------|
| 2° séance le 28 nov. | 200 milliamp. | 5 minutes |
| 3° — | 180 — | 5 min. 1/2 |
| 4° — | 155 — | 5 minutes |
| 5° — | 200 — | 5 — |
| 6° — | 100 — | 6 — |

| | | |
|-----------------------|---------------|-----------|
| 7 ^e séance | 100 milliamp. | 7 minutes |
| 8 ^e — | 100 — | 7 — |
| 9 ^e — | 70 — | 7 — |
| 10 ^e — | 120 — | 6 — |
| 11 ^e — | 150 — | 7 — |

Traitement ayant duré du 24 novembre au 13 février c'est-à-dire deux mois et demi. Durant ce laps de temps, à part quelques douleurs et un léger écoulement sanguin à la fin des séances, il n'y a rien eu de particulier à noter ; le sang sous forme d'hémorrhagie ou sous forme de règles n'a pas reparu. La malade revue un mois après la cessation du traitement a repris son embonpoint et ses couleurs. Elle vaque à ses occupations et fait des promenades à pied comme auparavant ; l'état général en un mot est très satisfaisant ; quant à l'état local, voici ce que l'on constate : l'utérus est plus difficilement senti à travers la paroi abdominale ; à l'hystéromètre on ne trouve que 8 cent. 5 ; en fin de col, qui était gras, congestionné et entr'ouvert, est revenu de lui-même ; il est beaucoup moins gros, rosé et son orifice est fermé.

Voilà une malade qui pendant la durée du traitement a pu sortir, travailler, se fatiguer, sans en ressentir aucun malaise, et qui a passé cette période de traitement sans autre intervention que les courants continus ».

Indiquons aussi l'observation suivante, extraite de la thèse de M. Georges Lévy. Ce praticien a eu recours à une pile de Trouvé ; une large plaque de 15 cmq. était appliquée sur l'abdomen. Le pôle utérin était représenté par un hystéromètre en maillechort. Un tampon de coton hydrophile imbibé d'eau salée représentait une électrode vaginale. Après chaque séance la malade restait étendue pendant un quart d'heure environ sur une chaise longue. Ce repos a toujours semblé suffisant à notre confrère.

Aub... femme Lib..., 36 ans (?); taille moyenne, plutôt maigre que grasse. — Les règles se sont dérangées il y a

5 ou 6 ans ; aujourd'hui pertes presque continuelles : douleurs lombaires à peu près constantes pendant les règles et en dehors d'elles. Fausses envies d'uriner et mictions très fréquentes, peu abondantes, douloureuses.

25 novembre 1891. — Métorrhagie arrêtée depuis 8 jours. Deux tumeurs pelvi-abdominales très volumineuses, dures, de formes régulières : l'antérieure, grosse à peu près comme la tête d'un fœtus à terme, est médiane et dépasse en haut le rebord de l'ombilic de 1 travers $1/2$ de doigt. La 2^e, postérieure, plus à droite, semble séparée de la 1^{re} par un sillon continu sur toute son étendue et qui prend naissance depuis le col utérin. Le volume est celui d'une grosse orange. Elle dépasse le pubis de 3 travers de doigt. Col fortement rejeté en arrière et à gauche. Pour introduire l'électrode dans l'utérus, nous devons redresser celui-ci à l'aide d'une pince à érigne ; hystérométrie : 11 centimètres, 150 milliampères, 7 minutes. Le premier jour qui a suivi la séance, perte de sang qui existe encore un peu le 27 (au bout de 4 jours) ; pas de douleurs lombaires, mais sensation de pesanteur ; les mictions sont moins fréquentes, moins douloureuses, plus abondantes. Galvanisation malgré la perte de sang (150 milliampères, 7 minutes). Celle-ci a été suivie de nouvelles pertes séro-sanguines peu abondantes ; la diminution des faux besoins d'uriner et de la douleur et du nombre des mictions se maintient ; la masse fibromateuse toujours aussi dure paraît avoir un peu baissé et ne dépasse plus l'ombilic que d'un travers de doigt à peine, le col étant resté à la même hauteur. — Le 4 décembre (8 jours après la séance du 27 novembre, nouvelle application le 2) l'écoulement rosé est moins teinté, disparition presque totale des douleurs et de la fatigue lombaire ; au lieu de se relever une dizaine de fois pour uriner, elle ne le fait plus que 4 ou 5 fois, sans douleurs ni fausses envies. Après une interruption des séances pendant 5 jours nécessité par une attaque de grippe, on reprend les applications (5^e) le 12 décembre, (100 milliampères, 8 minutes).

16 — Mictions plus abondantes. Les douleurs lombaires extrêmement vives jadis ont complètement disparu. Nouvelles applications le 18 et le 21, la pile ayant besoin d'être rechargée ne peut fournir que 70 et 40 milliampères (10 minutes).

25. — L'hystérométrie indique 8 centimètres ; 170, milliampères. — Les règles surviennent après la séance, accompagnées de douleurs lombaires et céphaliques ; le 26, 50 milliampères malgré la menstruation ; celle-ci s'arrête le surlendemain ; 90 milliampères, 8 minutes. Les mictions sont devenues presque normales, encore un peu fréquentes la nuit ; l'utérus s'est redressé et le col est devenu presque médian dans la cavité vaginale. Après cette application, la 10^e en 35 jours, on suspend les séances. En ce moment la tumeur supérieure toujours dure ne remonte plus qu'au niveau du bord inférieur de la circonférence ombilicale ; la dimension antéro-postérieure surtout a diminué, le ventre est beaucoup moins tendu en avant et plus souple. Constipation presque nulle. Les hémorrhagies et les pertes séro-sanguines même ont complètement cessé. Les céphalées, fréquentes autrefois, les douleurs lombaires ne se sont pas reproduites. La tumeur postéro-latérale a décréu également mais d'une façon moins accentuée (dimension d'une mandarine).

25 mars 1892. — L'état s'est ainsi modifié depuis la suspension des applications : Le cul-de-sac postérieur vagino-utérin est comblé par une tumeur dure qui ne s'y trouvait pas antérieurement. De légères hémorrhagies utérines apparaissent par intervalles, accompagnées de douleurs lombaires d'ailleurs peu intenses. Les mictions sont devenues de nouveau un peu douloureuses, tous ces phénomènes physiques et fonctionnels sont probablement dus au déplacement d'une des tumeurs. La masse abdominale a, en effet, légèrement diminué, si l'on en croit la malade dont les vêtements sont devenus plus lâches. L'examen objectif ne suffit pas à donner d'indications sur ce point. Pour faire

l'hystérométrie il faut de nouveau redresser l'utérus dont l'orifice externe regarde en bas.

Les 25, 28 mars, 1^{er}, 5, 8 et 11 avril, 11^e, 12^e, 13^e, 14^e et 15^e séances intra-utérines positives de 45 à 120 milliam-pères, 5 à 10 minutes, réglées suivant la tolérance de la malade. Les douleurs lombaires disparaissent totalement, les douleurs à la miction en partie, les pertes redeviennent sereuses dès après la 1^{re} de ces reprises.

15. — La malade va quitter St-Lazare. Elle se trouve alors parfaitement bien ; quelques douleurs lombaires qu'elle avait eues ces temps derniers (la malade est arthritique et a toujours été très sujette aux névralgies), n'ont pas reparu. La tumeur, dure, plane, pouvant être bien circonscrite par les extrémités digitales, indolore, non adhérente, s'étend excentriquement à un travers de doigt $1/2$ au-dessus, 2 travers de doigt $1/2$ à droite, à gauche et au-dessous de cette région. Elle semble complètement détachée de l'utérus qui d'après l'hystéromètre ne mesure que 7 cent. $1/2$. Le ventre ne fait plus aucune saillie apparente à la vue et semble absolument normal, même chez une femme aussi maigre que celle dont il s'agit ici. Le cul-de-sac vaginal postérieur laisse percevoir une portion très amoindrie de la tumeur constatée en mars sur ce point. Les difficultés de la miction et de la défécation ont d'ailleurs disparu.

Résumons maintenant en quelques lignes le résultat obtenu dans ce cas :

Tumeurs fibreuses volumineuses interstitielles, une presque directement sous péritonéale mais solidement unie à la masse utérine. L'évolution marche rapidement depuis quelque temps. Métrorrhagies troubles de la miction et de la défécation. Impossibilité d'occupations un peu fatigantes ou un peu prolongées. Galvanisation intra-utérine positive à haute dose. Il se produit dès les premières séances une amélioration des divers symptômes, mais en même temps surviennent des métrorrhagies qui finissent d'ailleurs

par s'arrêter. Au bout de six semaines l'état est devenu normal; la tumeur a absolument fondu quant à ses dimensions antéro-postérieures (qui semblent être presque toujours le plus affectées par ce traitement). On suspend les séances. Lorsqu'on les reprend trois mois après, une des tumeurs s'est déplacée excentriquement dans un des culs-de-sac vaginaux, et donne lieu à quelques troubles fonctionnels. Au bout de 3 semaines, elle disparaît en partie. Les autres tumeurs diminuent notablement et remontent dans l'abdomen, s'arrêtant dans une région où elles ne compriment plus d'organes sensibles. Le sujet sauf la présence de cette induration est absolument dans l'état normal. Hystérométrie, 7 au lieu de 11 au début.

Notre pratique personnelle nous a démontré, au sujet du traitement électrolytique des fibromes de l'utérus, la nécessité de tenir compte des recommandations suivantes.

Dans l'intervalle des séances il faut mettre les malades au repos, ne pas négliger de traiter l'état général. Si la malade a été débilitée par des hémorrhagies, on pourra relever la tension vasculaire par des injections de sérum artificiel. Nous employons des doses de 5 à 10 grammes répétées chaque jour ou tous les deux jours pendant une période qui peut varier de huit à quinze jours.

Nous employons la formule du Dr Chéron dans la composition de laquelle entre de l'acide phénique neigeux qui a pour effet de produire une anesthésie rendant plus acceptable au malade cette petite intervention. Voici la composition de ce sérum.

| | |
|--------------------------|-------------|
| Acide phénique neigeux. | 1 gramme |
| Chlorure de sodium . . . | 2 grammes |
| Phosphate de soude . . . | 4 grammes |
| Sulfate de soude | 8 grammes |
| Eau distillée. | 100 grammes |

Stériliser à 123°

Nous nous servons constamment de ce sérum pour relever la tension des malades qui présentent une hypo-tension artérielle due soit à des hémorrhagies, soit à toute autre cause. Nous suivons ainsi les préceptes du professeur Segond, chirurgien des hôpitaux, dont l'opinion est ainsi exprimée dans *l'Introduction à l'étude des lois générales de l'hypodermie* par le docteur Jules Chéron.

« Depuis près de deux ans j'ai systématiquement recours
« aux injections sous-cutanées de sérum artificiel (méthode
« J. Chéron) chez presque toutes mes grandes opérées,
« soit pour relever leur état général, avant et après l'inter-
« vention, soit pour combattre les complications post-opé-
« ratoire qui relèvent du shock ou des hémorrhagies.

« Dans les deux cas j'en ai toujours obtenu les meilleurs
« effets.....

L'auteur cite alors deux cas dont l'un : « était une femme
« de 50 ans opérée pour un volumineux fibrome et déjà
« considérablement affaiblie par des métrorrhagies anté-
« rieures.... » et formule les conclusions suivantes : « Je ne
« doute pas que ces deux succès opératoires ne soient dus
« en grande partie aux injections de sérum qui ont été
« pratiquées quotidiennement chez les deux malades pen-
« dant les 10 ou 12 jours qui ont précédé leur opération ».

137. Polypes de l'utérus. — Tyler Smith a rapporté un cas d'expulsion d'un polype hors de l'utérus, par les contractions provoquées par l'électricité ; ce fibrome, que l'opérateur n'avait pu saisir d'aucune manière, se trouva assez expulsé pour permettre sa ligature et son extirpation.

Ayant été assez heureux pour guérir un polype de l'utérus au moyen du courant continu, nous croyons utile de rapporter ici l'observation suivante.

Le 21 juillet 1898 notre confrère et ami le Dr Torchut de Royan, nous fit demander pour avoir notre avis au sujet du cas d'une dame B... âgée de 70 ans, domiciliée à Royan.

Le diagnostic de notre confrère fut également le nôtre ; il s'agissait d'un polype de l'utérus.

L'histoire de la malade ne présente rien de particulier du côté de ses antécédents héréditaires, collatéraux ou personnels.

Réglée à 17 ans, très irrégulièrement ; grandes douleurs à l'apparition des premières époques, pas de pertes blanches.

Mariée à 21 ans, la malade n'a jamais eu de grossesse. Elle a été réglée pour la dernière fois il y a 22 ans, à l'âge de 48 ans ; au moment de la ménopause, elle n'a eu à réclamer aucun secours du médecin ; elle a eu depuis cette époque quelques pertes blanches peu abondantes pour lesquelles elle n'a voulu suivre aucun traitement.

Au moment où le Dr Torchut est mandé (quelques jours avant de nous appeler), la malade est dans un état de faiblesse extrême à la suite d'une perte abondante de sang.

Au toucher, notre confrère constate dans le vagin la présence d'une tumeur parfaitement pédiculée, qui ne peut être suivie que jusqu'au niveau de l'orifice du col de l'utérus.

L'utérus paraît un peu volumineux, la tumeur présente le volume d'un petit œuf de poule. Le doigt ayant servi à l'examen est maculé de sang ; il n'y a aucune fétidité dans l'écoulement.

À l'inspection on remarque que la tumeur apparaît à la vulve et la malade affirme qu'elle lui est facilement accessible au toucher après la marche.

L'examen au spéculum vient confirmer le diagnostic.

Comme signes physiques : une simple gêne et cette hémorrhagie que la malade *supporte depuis 18 mois*.

Nous nous trouvons donc en présence d'une malade âgée de 70 ans, affaiblie au dernier degré par ces continuelles hémorrhagies, et nous ne voulions sous aucun prétexte mettre la malade au lit, à cause de son grand âge.

Nous résolûmes d'employer le courant électrique.

1^{re} séance le 22 juillet 1898. Nous plaçons la malade dans la position gynécologique ; sur l'abdomen est la pla-

que positive, tandis que nous promenons sur la surface du polype une électrode en charbon reliée au pôle négatif.

Pendant cinq minutes nous faisons ainsi agir un courant oscillant entre 15 et 20 milliampères. Injection antiseptique. Pansement à la gaze iodoformée.

Nous recommandons alors à la malade de reprendre ses occupations habituelles dès le jour même; nous lui faisons une piqure de sérum artificiel de 10 grammes et, comme elle habite un faubourg de Royan, nous lui laissons une solution d'antipyrine pour remédier à une hémorrhagie qui pourrait survenir, en attendant notre arrivée. Nous ajournons à huit jours la deuxième séance.

Cette deuxième séance a lieu le 30 juillet. La malade nous déclare que depuis deux jours « elle est dans le sang »; (elle a cependant négligé de nous appeler); nous constatons que la tumeur a tellement diminué qu'elle n'émerge actuellement de l'utérus que jusqu'au milieu du conduit vaginal. Encouragé par ce commencement de succès, nous faisons une seconde application du courant continu, dans les mêmes conditions que la première fois. Pansement après injection.

Cinq jours après, c'est-à-dire le 4 août, aucune nouvelle perte de sang ne s'étant produite, nous procédons à un nouvel examen de la tumeur. Elle est considérablement réduite et perforée au centre, simulant le col de l'utérus dont elle semble un prolongement. Nous saisissons ce polype avec une pince; une simple torsion suffit pour le détacher. Nous constatons que la sensibilité existe au niveau de l'insertion du pédicule, en sorte qu'aucune indication opératoire ne subsiste plus.

La guérison si promptement obtenue s'est parfaitement maintenue; il n'y a plus eu d'hémorrhagies. Nous insistons sur cette remarque que, pendant toute la durée du traitement, la malade n'a cessé ni de sortir, ni de se livrer à ses occupations habituelles.

138. *Métrites.* — Le traitement au moyen du courant

continu est applicable aux métrites de toute nature ; mais l'électrode active introduite dans la cavité utérine doit être, suivant les cas, anode ou cathode.

D'après le docteur Touvenaint, le pôle positif, qui est décongestionnant et hémostatique, doit s'appliquer aux endométrites fongueuses ou hémorrhagiques, tandis que le pôle négatif, qui est congestionnant, s'appliquera aux métrites parenchymateuses, exception faite pour les formes congestives.

Madame Kaplan-Lapina précise de la manière suivante le traitement des endométrites

« 1^o Le traitement le plus rapide et le plus efficace de l'endométrite fongueuse et de celle consécutive à une rétention placentaire est le curetage suivi ou non de l'application des divers topiques antiseptiques intra-utérins ;

2^o L'endométrite catarrhale compliquée de lésions annexielles non suppurées et d'un état constitutionnel neuro-arthritique plus ou moins accusé est surtout justiciable d'un traitement électrique local et général approprié ;

3^o Localement, le traitement de choix sera la galvano-caustique chimique intra-utérine répétée deux ou trois fois par semaine, pendant dix à quinze fois, à doses progressivement croissantes ;

4^o Le traitement général additionnel sera, suivant la prépondérance relative de la neurasthénie hystérique ou arthritique, soit la statique, soit la haute fréquence, ou bien les deux modes associés ».

On sait que le curetage est une opération assez dangereuse qui a donné lieu à bien des mécomptes. Y a-t-il avantage à le remplacer par l'électrolyse utérine, dans tous les cas autres que les infections produites par la rétention de débris placentaires après un accouchement ? Nous pensons que cette question doit recevoir une réponse affirmative.

La galvano-caustique utérine a été préconisée par Apostoli dès 1883. Les travaux des docteurs Tripier, Chéron Le Blond, etc., ont ensuite mis en relief les résultats les plus probants. L'efficacité de l'emploi du courant continu se manifeste surtout lorsqu'il s'agit d'affections qui résistent longtemps et parfois définitivement à la thérapeutique ordinaire, Indépendamment de son action électrolytique locale, le courant exerce sur tout son parcours une action antiseptique favorable.

Le manuel opératoire est fort simple. On introduit dans la cavité utérine, comme électrode active, soit un hystéromètre d'argent ou de cuivre, soit une électrode en charbon; l'électrode négative, qui s'applique sur l'abdomen, est une plaque métallique recouverte d'une peau de chamois. L'intensité du courant doit être de 10 à 12 milliampères; c'est là une limite qu'il ne faut, à notre avis, jamais dépasser. Les séances, d'une durée de 5 à 10 minutes, peuvent se succéder tous les deux jours.

Nous croyons utile de rapporter ici deux observations intéressantes, respectivement dues au docteur Catusse et au docteur Leblond.

OBSERVATION I (due au docteur Catusse). — *Mérite hémorrhagique.* — *Galvano-caustique.*

M. W..., 48 ans, malade depuis plusieurs années, pertes considérables à chaque époque, depuis deux ans, les époques étant rapprochées, dans l'intervalle, depuis 18 mois; écoulement séro-sanguinolent ayant une certaine odeur, que la malade, du reste, ne constate que lorsqu'on a attiré son attention sur ce point.

Comme antécédents, ulcère du col de l'utérus, sans doute, récidivant avec la plus grande facilité, traité plusieurs fois avec succès par les cautérisations au nitrate

d'argent. Un accouchement il y a dix huit ans, pas de fausse couche ; bien réglée jusqu'à il y a deux ans.

En avril 1891. — Le tamponnement du col de l'utérus et du vagin amène la disparition des métrorrhagies ; mais les pertes reparaissent à la fin de juillet de la même année, et on pratique le 4 août la cautérisation intra-utérine au moyen de l'acide azotique fumant. Amélioration rapide, puis disparition complète des accidents ; la malade ne voit pas ses règles pendant trois mois et jouit d'une bonne santé, se plaignant seulement, par intervalle, de douleurs sourdes dans les reins et le bas ventre.

En décembre 1891, les accidents se reproduisent, toujours au moment des règles ; le tamponnement du col de l'utérus au moyen de la gaze salolée profondément enfoncée suffit à arrêter l'hémorrhagie, mais en janvier 1892 les accidents se reproduisent, et nous appliquons alors les courants continus au niveau de l'utérus ; à ce moment le col de l'utérus fléchi en rétro-flexion cette fois, congestionné, ne porte pas trace d'ulcération, mais son orifice entrouvert permet de constater la présence d'une métrite granuleuse ; le corps de l'utérus est sensible au palper par la paroi abdominale ; l'hystéromètre donne 8 centimètres $1/2$. Le 24 janvier, première application pendant 6 minutes d'un courant continu d'une intensité de 125 milliampères, l'électrode positive étant constituée par une tige de platine, l'électrode négative par une plaque de terre glaise ; l'écoulement sanieux après la séance, est peu abondant et sans odeur. Les jours suivants pas de pertes. Deuxième séance le 30 janvier, 96 milliampères, 8 minutes de durée, peu de douleur, pas d'écoulement.

Après la séance, peu de douleurs, pas de pertes.

3^e séance, le 6 février, 95 milliampères, dix minutes de durée ; rien à signaler pendant et après la séance. La malade se lève un peu le lendemain et reprend presque complètement ses occupations ordinaires 5 jours après. Depuis, les douleurs ont disparu presque complètement, sauf celles de la région lombaire qui reviennent de temps à autre.

Pas de pertes blanches ; les règles sont apparues le 1^{er} mars ont duré 4 jours et ont cessé comme à l'état normal ; la malade n'a rien constaté de spécial, soit comme intensité, soit comme durée de l'écoulement menstruel.

Donc guérison complète, jusqu'à plus ample informé ; en tout cas, guérison confirmée par le fait d'une période menstruelle survenue depuis dans des conditions absolument normales, due à trois séances d'application de l'électricité faites dans l'espace de 15 jours, et n'ayant pas nécessité le séjour absolu de la malade au lit pendant cette période.

OBSERVATION II (Cette observation est mise à notre disposition par M. le D^r Le Blond). — *Métrorrhagies remontant à plus de deux ans. — Curetage sans résultat. Electrolyse intra-utérine suivie de succès.*

« Mme M..., 34 ans, vint me consulter le 30 juillet 1889 pour des pertes utérines revenant à chaque époque depuis plusieurs mois et obligeant la malade à garder le lit 8 à 10 jours.

L'examen révèle un col gras, sans ulcération. L'hystéromètre pénètre à 7 centimètres et demi et l'on fait exécuter facilement des mouvements de rotation à cet instrument.

L'introduction de cette sonde détermine immédiatement une nouvelle perte sanguine.

Mme M... a eu deux accouchements à terme ; le dernier remonte à 7 ou 8 ans.

Le toucher vaginal combiné à la palpation abdominale ne révèle rien d'anormal dans les culs-de-sac ; l'utérus mobile est en position normale, mais légèrement douloureux à la pression.

Je conseille le repos, les injections chaudes, l'ergotine. Ces moyens sont continués jusqu'au 15 août 1889, sans résultat appréciable.

Je propose alors une cautérisation intra-utérine à l'acide nitrique fumant, après dilatation du col. Cette cautérisation est faite à trois reprises les 22 août, 9 septembre et 9 octobre 1889.

L'année suivante 1890, la malade a été à peu près débarrassée de ses pertes ; je dis à *peu près* puisque dans le cours de cette année trois époques furent assez abondantes pour exiger le repos au lit de la malade pendant 8 à 10 jours.

Le 18 août 1890, je suis appelé pour une métrorrhagie qui datait de trois semaines et que la malade a combattue par le repos, les injections chaudes et les dragées d'ergotine.

Le 21 août 1890, je pratique la dilatation du col au moyen d'une tige de laminaire ; le lendemain, assisté de mon confrère et ami le D^r Boudier, je pratique un curetage de l'utérus.

La curette ramène des caillots et quelques parcelles de muqueuse ramollies et friables ; après le curetage, je badigeonne la cavité utérine à deux reprises successives au moyen d'un pinceau imbibé d'acide nitrique fumant ; je fais ensuite un lavage du vagin avec une solution de sublimé au millième et je laisse à demeure un tampon de gaze iodofornée.

Les suites de l'opération ont été des plus heureuses, et à part un peu de douleur ressentie pendant quatre ou cinq heures, je n'eus à constater aucun incident ni élévation de la température.

La malade, exempte de pertes depuis le 1^{er} septembre, reprend ses occupations.

Le 16 novembre 1890, la malade accuse une légère perte qui dure 5 à 6 jours et disparaît sous l'influence du repos ou des injections chaudes.

Année 1891. — La malade me fait demander de nouveau le 10 septembre 1891 et m'annonce qu'à plusieurs reprises dans le cours de cette année les règles ont été abondantes et ont nécessité le repos à plusieurs reprises.

Depuis 3 mois les époques deviennent plus abondantes et nécessitent un repos au lit de 6 à 8 jours chaque fois.

C'est alors que je me dispose à recourir à l'électrolyse intra-utérine.

| | | | | | |
|-----------------|--------|-------|-----------|----|---------------|
| 1 ^{re} | séance | le 17 | septembre | 80 | milliampères. |
| 2 ^e | » | le 9 | octobre | 90 | » |
| 3 ^e | » | le 20 | » | 90 | » |

Depuis, toutes les époques ont repris leur régularité, l'écoulement sanguin ne dure guère au delà de 4 jours et la quantité de sang perdu est peu abondante ; une seule serviette suffit à la malade pour les 24 heures.

Voici donc un résultat qui nous semble très concluant ; nous ajouterons que l'électrolyse nous semble donner un résultat bien supérieur à la cautérisation intra-utérine et au curetage ».

139. Aménorrhée. — Si la malade est une jeune fille, il convient de recourir à la franklinisation ; on fera, au moyen des excitateurs, jaillir des étincelles sur le bas-ventre et dans la région lombaire.

S'il s'agit d'un cas pathologique supprimant le flux menstruel normal, on aura recours à la galvanisation en introduisant la cathode dans l'utérus.

140. Dysménorrhée. — La dysménorrhée est également justiciable de la galvanisation, mais c'est alors l'anode qui doit s'introduire dans l'utérus.

Voici une intéressante observation que le docteur Salvat a communiquée en 1892 à la Société Française d'Electrothérapie.

« Mme X., 42 ans, tailleuse, a été constamment malade pendant son enfance (rougeole, variole, anémie, fièvre, gale, etc.).

A seize ans les règles ont fait leur apparition sans dou-

leurs ni coliques. La malade effrayée à la vue du sang mit les pieds dans de l'eau très froide. Immédiatement l'écoulement menstruel s'arrêta pour ne reparaitre que trois mois après ; mais les règles devinrent peu abondantes, irrégulières, surtout douloureuses et suivies de leucorrhée.

A l'âge de vingt deux ans, en pleine période menstruelle, la malade fit un chute d'un troisième étage. Les règles disparurent aussitôt pour faire place à de violentes douleurs s'irradiant dans tout l'abdomen, mais plus grandes sur le côté gauche.

Mme X. fut obligée de garder le lit pendant neuf mois environ : repos, injections, cautérisations sur le col, tel fut le traitement institué.

Depuis lors la marche devint difficile et surtout douloureuse. Onze mois après le début de cet accident, les règles revinrent assez régulièrement, mais caractérisées par des douleurs plus grandes, par une quantité moindre et suivies de pertes jaunâtres.

Le mariage, qui eut lieu à l'âge de vingt-cinq ans, ne fit qu'aggraver tous ces symptômes pénibles. Les rapports sexuels, très douloureux, devenaient parfois impossibles à cause de l'intensité de la douleur.

La malade consulta un confrère qui lui conseilla de s'introduire dans le vagin des tampons imbibés de glycérine et de prendre des bains de siège fréquents. Ce traitement ne donna aucun résultat, et Mme X... dut cesser définitivement de faire marcher une machine à coudre qu'elle faisait aller très rarement depuis sa chute.

En 1881, elle eut sur la partie latérale gauche du cou un abcès que son médecin lui perça. Il ne sortit, paraît-il, que du sang presque pur et la plaie se referma presque entièrement au bout de quelques jours. Depuis cette époque, régulièrement tous les mois, à l'approche des règles, le cou enflait de plus en plus et, en même temps que les menstrues apparaissaient, il s'écoulait par la fistule du cou une grande quantité de pus mal lié, d'odeur repoussante, mélangé avec un peu de sang pur.

Les règles très douloureuses ne duraient qu'un jour à peine. La suppuration du cou durait une semaine environ.

Tels étaient les antécédents de Mme X., lorsqu'elle vint me consulter à ma clinique (avril 1890).

La malade est très maigre, très pâle et fortement anémique. Sur la partie latérale gauche du cou on trouve une cicatrice de deux centimètres de long et, vers le milieu de cette cicatrice, on trouve une fistule dans laquelle le stylet s'engage facilement. Malgré de fortes pression dans tous les sens, il ne sort aucune goutte de pus ni de sang. L'utérus est tout petit, en rétroversion, retenu en arrière par de nombreuses adhérences, surtout à gauche. Aucune douleur à la pression.

Au spéculum on voit un col petit, conique. L'orifice externe du museau de tanche est extrêmement étroit. Nombreuses traces de cautérisation sur le côté gauche du col.

Les règles sont passées depuis une quinzaine de jours. L'hystérométrie est impossible.

J'ai traité la malade par la dilatation lente et graduelle au moyen des bougies de Hégar, dilatation que je faisais toujours suivre d'une cautérisation intra-utérine avec la glycérine créosotée. L'hystérométrie, devenue possible, me donne 6 centimètres.

Sous l'influence de ce traitement, fait deux fois par semaine pendant deux mois, l'état général devint meilleur, les règles furent un peu plus abondantes qu'auparavant, mais les douleurs, moindres cependant, persistaient encore.

Le gonflement du cou et la suppuration qui s'ensuivait tous les mois n'étaient nullement modifiés.

C'est alors que j'eus l'idée de faire à ma malade des séances de *galvano-caustique chimique intra-utérine négative*, suivant la méthode de mon maître et ami, le Dr Apostoli, séances que je faisais toujours précéder du massage utérin destiné à assouplir les adhérences qui fixaient la matrice en arrière.

Je fis ainsi, du 25 août au 7 octobre 1890, dix séances de

galvano-caustique chimique intra-utérine, d'une intensité moyenne de 50 milliampères et d'une durée de six minutes.

Ces séances, très bien supportées, étaient suivies d'un très grand soulagement.

L'état général se releva très rapidement : la digestion, troublée auparavant, devint très bonne ; les selles furent très régulières ; les adhérences qui fixaient l'utérus en arrière s'étaient assouplies au point de rendre à l'utérus sa mobilité. Enfin les règles, qui venaient sans douleur, duraient trois ou quatre jours en moyenne. Mais, ce qui m'a le plus frappé dans cette observation, c'est que, à mesure que les règles devenaient plus abondantes, la suppuration et le gonflement du cou avaient disparu. L'électricité a donc agi, dans ce cas, comme un puissant tonique et surtout comme un dérivatif des plus énergiques.

L'état général de la malade s'est, en effet, relevé d'une manière frappante, et la durée et l'abondance de règles ont augmenté d'une façon très notable.

Ne pourrait-on pas appliquer le même traitement aux malades affligées d'abcès du sein, ou menacées de l'être, avec les mêmes chances de succès ?

C'est ce que je me suis proposé d'étudier chez une de mes malades atteinte de cette affection.

Quoique les résultats obtenus me paraissent des plus concluants à cet égard, je ne veux rien affirmer avant d'avoir suivi longtemps l'effet de l'électricité chez cette malade.

J'ai revue Mme X... au mois de janvier 1892. La guérison s'est maintenue ».

141. Rétrécissement du col. — Tripiier conseille la galvanocaustique chimique ; c'est un traitement analogue à celui du rétrécissement de l'urèthre, on change seulement la forme de l'électrolyseur linéaire.

142. Affections des annexes de l'utérus. — Voici les

observations de Madame Kaplan-Lapina au sujet de ces affections.

« 1^o La galvanocaustique chimique, soit intra-utérine, soit vaginale, appliquée suivant la méthode de M. Apostoli, est un excellent traitement symptomatique contre les affections annexielles de nature catarrhale compliquées d'endométrite, et contribue puissamment à leur régression anatomique :

2^o Si les affections annexielles suppurées, et, en particulier, les collections kystiques, sont, avant tout, justiciables de la chirurgie, elles peuvent toutefois être quelquefois tributaires de ce même traitement électrique (appliqué, dans ce cas, à faible dose et avec toutes les précautions exigées en pareille circonstance), pour éclairer un diagnostic douteux, et confirmer, au besoin, la nécessité d'une intervention opératoire ;

3^o Le traitement électrique approprié, appliqué, soit à titre de traitement d'épreuve, soit à titre de résolutif symptomatique et anatomique, pourra avoir des conséquences secondaires éloignées très favorables, en facilitant une grossesse ultérieure, comme l'auteur l'a constaté 9 fois sur 16 malades traitées ».

Comme il ne s'agit pas d'obtenir des actions électrolytiques tout à fait locales, on peut employer pour électrode utérine un liquide conducteur s'appliquant uniformément sur toute la paroi de l'utérus ; l'électrode spéciale du docteur Margaret Cleaves que nous avons précédemment décrite (n^o 56) et représentée (fig. 57) peut être utilisée pour cette application nouvelle de la méthode hydro-électrique. Lorsque l'on emploie une électrode utérine ordinaire, il est bon qu'elle soit en argent, car l'électrolyse donne alors naissance à un oxychlorure dont l'action thérapeutique est précieuse ; MM. Boisseau du Rocher et Reygnier préconisent ce genre de traitement, en faisant remarquer qu'il

peut, dans certains cas, faire évacuer des collections salpingiennes par les voies naturelles.

Voici quelques indications auxquelles nous a conduit notre pratique personnelle, pendant notre service d'internat à Saint-Lazare.

Dans le cas où l'infection de l'utérus s'étend jusqu'à ses annexes inclusivement nous n'avons jamais dépassé une intensité de 25 milliampères pour les applications du courant continu ; dans ces conditions la première séance était presque toujours suivie de douleurs assez vives dans la région abdominale contre lesquelles nous luttions utilement au moyen de la formule suivante du docteur Chéron :

Sur la région douloureuse faire des frictions légères avec :

| | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Alcool de Fioraventi | 75 grammes |
| Chloroforme | 6 grammes |
| Ether. | 8 grammes |
| Huile essent. de Menthe | 2 grammes |
| Savon animal. | Q. S. pour donner consist. solide. |

N. B. — 1° Faire fondre le savon dans un flacon à large ouverture d'une contenance de 120 cc.

2° Verser le mélange.

3° Agiter vivement.

4° Laisser reposer.

Au bout de trois ou quatre séances les douleurs ne se produisaient plus. N'est-il pas vraisemblable que ces douleurs générales, au début du traitement, soient dues à l'action chimique du courant sur toutes les parties malades qu'il rencontre dans son parcours, et que la disparition ultérieure de ces douleurs soit due aux effets antiseptiques que ce courant produit ainsi sur tout son parcours? C'est là un

point de vue qui s'harmoniserait parfaitement avec les résultats des recherches de M. le professeur Weiss (1).

Il est très rare qu'une intervention chirurgicale proprement dite devienne nécessaire à Saint-Lazare, quoique les malades soient des femmes dont la vie génitale est fort active et sujette à de nombreuses perturbations pathologiques ; l'électrothérapie et les traitements médicaux ordinaires suffisent presque toujours pour éviter cette intervention. Il faut pourtant remarquer que ces malades, détenues par les règlements administratifs, insistent souvent pour qu'on leur applique le traitement, fut-il chirurgical, qui amènerait le plus vite possible leur libération.

143. Remarques relatives à l'obstétrique. — Onimus a écrit dans son *Traité d'Électricité Médicale* : « En France, la plupart des médecins, excepté Saint-Germain, considérant l'électricité appliquée aux accouchements comme un moyen inutile, qui a de plus l'inconvénient d'être douloureux. »

Tripier, Bardet, Apostoli et Brivois ont pris la défense de l'électrothérapie appliquée à l'obstétrique.

D'après une remarque d'Onimus, les parturientes dont les contractions musculaires ont diminué sous l'influence du chloroforme pourraient être utilement soumises à la galvanisation. Mackenzie a observé qu'en plaçant un des pôles sur la partie inférieure de la moelle et l'autre sur la matrice on obtient des contractions plus énergiques qu'en appliquant directement les deux électrodes sur l'utérus.

(1) *Contribution à l'étude des actions chimiques des courants électriques sur les tissus vivants.* D^r André Lucas, Société d'éditions scientifiques. Paris.

§ 8. — ORGANES DES SENS.

A. Bléphasmasme. — Choroïdite. — Hypérémie rétinienne. — Rétinite pigmentaire. — Névrite optique et atrophie papillaire. — Zona ophtalmique. — Rétrécissements du conduit lacrymal. — Episclérite. — B. Polypes des fosses nasales. — Fibromes nasopharyngiens. — Ozène. — Anosmie. — C. Polypes du conduit auditif externe. — Bourdonnements nerveux. — Surditè.

A. *Maladies des yeux.*

On est certainement fondé à compter sur les services de l'électrothérapie en matière de maladies des organes du sens. Mais il faut bien se garder d'assimiler, comme le font quelques spécialistes, l'électricité à une panacée universelle.

L'existence des phosphènes, qui se révèlent à la fermeture et à l'ouverture d'un courant de quelque intensité traversant une région quelconque du corps humain, indique l'importance des actions que peut exercer le courant continu appliqué à l'organe de la vue. Les expériences du docteur Chéron ont démontré que la galvanisation du sympathique cervical agit sur la circulation intérieure du cerveau et imprime, par suite, à la circulation rétinienne des variations accompagnées d'un abaissement de la température de l'œil et d'un aplatissement de la lentille cristallinienne. La galvanisation du trijumeau augmente la tension des vaisseaux de la tête et par suite de l'œil.

« Il faut se garder, dit Onimus, d'employer un courant trop intense et de faire des interruptions fréquentes, car souvent l'emploi méthodique du traitement hâte et exagère le travail inflammatoire et précipite la cécité complète. »

Le manuel opératoire de la galvanisation doit, en général, être du type suivant. Cathode et anode constituées par des disques de charbon recouverts de peau de chamois, appliqués en des points à déterminer suivant la nature de l'affection qu'il s'agit de traiter ; intensité toujours inférieure à 6 milliampères ; durée de la séance, 5 minutes environ.

144. Blépharospasme. — Placer la cathode indifférente sur la nuque et l'anode au niveau de la contracture musculaire. Quadri a rapporté 13 cas de blépharospasme guéris par les courants continus ; voici une de ses observations :

« Le fait suivant mérite d'être rapporté. Je me rendais dans un petit village des environs de Naples pour opérer une cataracte. On me présenta un pauvre maçon que je crus entièrement aveugle au premier abord, parce qu'on le conduisait par la main ; ses yeux étaient fermés. Je l'observai et le trouvai atteint de blépharospasme. Quand on lui ouvrait les yeux à l'aide des doigts, il voyait parfaitement. Il me raconta que ce malheur lui avait pris deux ans auparavant et que tous les traitements avaient été appliqués sans succès. Je lui conseillai de se rendre chez moi pour être soumis au courant électrique.

Le lendemain je lui appliquai le pôle charbon d'une pile de Bunsen sur la langue, le pôle zinc sur l'œil pendant cinq minutes.

Dès la première application, il eut quelques soulagements et put tenir les yeux ouverts pendant deux heures. A la troisième application il les tint ouverts pendant toute la matinée.

Après quelques applications, il fut en état de retourner à ses occupations. »

145. Choroïdite. — Panas et Giraud-Teulon préconi-

sent l'emploi du courant continu passant soit d'une tempe à l'autre, soit du front à l'occiput.

146. *Hypérémie rétinienne.* — Le courant continu appliqué comme dans le cas précédent peut produire de bons effets. On emploie aussi le courant alternatif.

Voici une observation due au docteur Le Fort :

« J. A..., 46 ans, plombier, novembre 1873, perte subite de la vision : pendant deux heures il ne voit que des flammes et des lueurs rouges. La vue revient ensuite suffisante pour que le malade se guide.

8 décembre 1873. — Névrite optique double : suffusion séreuse devant la papille dont les bords se sont effacés. Purgatifs, sangsues, vésicatoires, belladone, sans résultat.

20 février 1874. — A la suite d'une nouvelle attaque, cécité absolue pendant deux heures : la vue se rétablit ensuite, mais baisse peu à peu et le 5 mars le malade distingue seulement la fenêtre. Pupille dilatée et immobile : vitré trouble, fond de l'œil inéclairable.

On applique jour et nuit deux petits éléments Morin : les pôles sur les tempes.

15 mars. — Depuis deux jours, l'amélioration est très sensible. Le malade distingue les objets un peu volumineux.

20 mars. — Le malade me remet une lettre de remerciements qu'il a pu écrire la veille.

A partir du 26, l'application des courants n'est faite que pendant la nuit.

Le 2 avril le malade sort avec sa vue tout à fait rétablie. »

147. *Rétinite pigmentaire.* — Derby et Dor rapportent des résultats favorables obtenus par la galvanisation. On est, en somme, peu documenté à ce sujet.

148. Névrite optique et atrophie papillaire.— Pflüger a constaté l'efficacité de la galvanisation. Erb a cité l'observation suivante :

« Un employé de banque, âgé de vingt et un ans, vient se faire traiter le 2 décembre 1880 pour une amblyopie qui persiste depuis quelque mois et s'est assez rapidement développée. Il présente à l'ophtalmoscope l'image d'une névrite optique avec transformation atrophique ; le patient est obligé de se faire conduire et peut à peine compter ses doigts : champ visuel notablement rétréci. Traitement avec extrait de noix vomique et galvanisation ; 6 éléments transversalement par les tempes, 6 à 8 éléments à partir de la nuque, anode sur les paupières fermées, cathode au sympathique du cou : chaque jour 2 à 3 minutes.

10 janvier 1881. — Le patient reconnaît qu'il y voit décidément mieux ; sur l'échelle de Snellen, il reconnaît les lettres alphabétiques à gauche de $D=9$, fort bien, de $D=6$, partiellement. Couleurs : le vert incertain, le rouge assez bien, bleu et jaune clairement. Ophtalmoscopiquement aussi, l'image est meilleure, l'hypérémie et le gonflement sont moindres à gauche, la pupille et les vaisseaux plus clairs.

20 janvier. — Notable amélioration, surtout à gauche.

30 janvier. — Il déchiffre à gauche avec quelques difficultés les lettres de $D=1$; à droite, pas encore d'amélioration.

2 février. — On commence les injections de strychnine. Avec l'œil gauche le patient peut déjà lire quelques mots.

24 mars. — Il part pour la Suisse et revient deux mois après amélioré. »

Driver, après avoir vainement essayé les courants d'induction, a eu recours au courant continu. Voici ses diverses manières d'appliquer les électrodes : anode au cou et cathode sur la bosse frontale, anode et cathode sur les tempes, anode au cou et cathode sur le ganglion cervical

supérieur (galvanisation du sympathique), anode au cou et sur les paupières fermées (galvanisation du sympathique et action locale). Voici une des observations faites par ce praticien.

« Tuchman, de Zettlitz, vingt-quatre ans, vient me consulter le 14 juin 1870.

Il fut d'abord soigné à Leipzig, où, paraît-il, on porta au début un bon pronostic. On lui donna un traitement fortifiant qu'il cessa bientôt, et il se débarrassa d'un ver filiforme qui l'avait longtemps tourmenté. Il n'y eut aucun bénéfice pour la maladie de l'œil dont la vue continua à baisser. De Graefe, à Berlin, le soigna pendant six semaines avec la ventouse Heurteloup, sans succès. Entre temps il tomba dans les mains d'un homéopathe.

L'examen du malade pratiqué à sa première visite nous montra une superbe atrophie des deux nerfs optiques avec légère excavation des papilles : les veines et les artères sont filiformes. Avec verres concaves $1/14$ l'œil droit compte les doigts à 4 pieds ; l'œil gauche seulement à 3 pieds.

Le champ visuel est tellement rétréci que ce malade semble voir à travers un tube. Daltonisme; l'acuité visuelle est récemment tombée si bas que le malade ne peut se conduire.

Comme j'expérimentais à cette époque les injections de strychnine, je soumis ce malade à ce traitement pendant trois semaines ; le seul résultat fut qu'il n'y eut pas d'aggravation. Alors je commençai l'emploi du courant constant et le résultat fut merveilleux.

Le 27 juin, le malade se conduisait seul. En deux mois il comptait, de chaque œil, les doigts à 20 pieds. La vision centrale était revenue.

Je renvoyai le malade en lui recommandant de s'électriser lui-même pendant un an, à intervalles réguliers, au moyen d'une pile électrique. Il revint me voir tous les trois mois et chaque fois je trouvai de l'amélioration. Au der-

nier examen, le 4 novembre 1871, il lisait le n° 8 de Snellen et reconnaissait toutes les couleurs. L'atrophie des nerfs n'a point disparu, mais il y a une certaine teinte rosée des papilles ; les vaisseaux, surtout à l'œil droit qui était le meilleur, ont recouvré leur calibre normal et peuvent être poursuivis jusqu'à leur périphérie. »

Rigge a recommandé l'emploi du courant alternatif, avec au moins 150 alternances par minute. Le transformateur inverseur que nous avons précédemment décrit (n° 75) permettrait d'obtenir facilement des courants de cette nature

149. Zona ophtalmique. — Driver, Nagel, Pfluger et Parisotti ont employé avec succès le courant continu pour rétablir la sensibilité cutanée et calmer les douleurs névralgiques excessives qui accompagnent cette éruption herpétique.

Parisotti et Lavagna ont généralement obtenu de bons effets par la faradisation.

150. Rétrécissements du conduit lacrymal. — Le traitement électrolytique est tout à fait indiqué. On peut appliquer l'anode indifférente derrière la nuque; la cathode active consiste ordinairement dans une sonde de Bowmann; intensité de 2 à 3 milliampères ; séances de 2 à 3 minutes. Au lieu de la sonde de Bowmann, laquelle est un électrolyseur cylindrique, on peut, à notre avis, employer avec avantage un électrolyseur linéaire, de manière à localiser en un point la section du rétrécissement. L'instrument que nous avons construit avec le concours de M. J. Maisonneuve, électricien, se compose d'une fine bougie métallique de sept centimètres de longueur, revêtue d'une gaine isolante, et soudée, vers son extrémité, à une petite lame de platine mousse émergeant de cette gaine isolante ;

celle-ci se prolonge en s'effilant jusqu'à dix ou douze millimètres de l'extrémité de la bougie métallique, pour permettre l'introduction de l'instrument dans le conduit lacrymal. Une seule séance suffit pour opérer la section galvanocaustique du rétrécissement.

151. Episclérite. — Nous extrayons de la Presse Médicale les indications suivantes :

Du traitement sous-conjectival de l'épisclérite par l'électrolyse. — M. A. Terson. Le traitement général reste toujours indiqué dans l'épisclérite à un ou plusieurs boutons, mais il faut bien reconnaître que la guérison qu'il entraîne est fort lente et qu'il échoue quelquefois complètement. Il faut donc lui adjoindre un traitement local : les pointes de feu et les injections sous-conjonctivales antiseptiques ont donné des succès, mais elles sont aussi quelquefois infidèles. Dans les cas d'insuccès (à part le curage qu'il faudra réserver pour les cas tout à fait exceptionnels et faire avec très petite incision pour éviter une attraction cicatricielle de la conjonctivite), on devra en venir à l'électrolyse que M. A. Terson a préconisée déjà dans ces cas. M. Terson rapporte de nouveaux cas, où la guérison du point touché a été obtenue par l'électrolyse négative (2 à 5 milliampères pendant une minute au plus) : ce traitement a un effet local très efficace, mais il n'empêche naturellement pas l'apparition ou la récurrence de l'épisclérite sur un autre point de la sclérotique.

B. *Maladies des fosses nasales.*

152. Polypes des fosses nasales. — Wagnier (de Lille) préconise l'emploi de l'anse galvanique, qu'il a employée avec succès pour les polypes postérieurs. Il recommande d'établir quelques adhérences, en faisant passer le courant, lorsque le fil a saisi partiellement la masse ; un mouvement

de traction d'ensemble suffit alors pour détacher la tumeur.

L'électrolyse peut aussi détruire certains polypes du nez ou de la région naso-pharyngienne. On prend pour cathode un système d'aiguilles d'acier ou de platine que l'on introduit dans les parties à détruire, ou dans leur voisinage immédiat ; l'anode peut être placée sur l'apophyse mastoïde ou sur l'avant-bras. L'intensité du courant doit être lentement amenée de zéro à son maximum de 15 à 20 milliampères ; séance de dix minutes ; on doit ensuite ramener graduellement l'intensité à zéro avant de retirer les aiguilles.

153. *Fibromes naso-pharyngiens.* — L'électrolyse ou galvanocaustique chimique amène la destruction du tissu morbide soit en l'atrophiant, soit en le cautérisant. Séances de dix minutes qu'il faut répéter un assez grand nombre de fois. Cette méthode qui a été appliquée pour la première fois par Nélaton a été ensuite adoptée par Dolbeau et Guyon.

154. *Ozène.* — Cette répugnante affection, appelée aussi *rhinite chronique fétide*, peut être regardée comme incurable ; tout au plus est-il possible d'en pallier un peu les effets.

Les cautérisations au galvanocautère ne réussissent pas ; la muqueuse atrophiée se répare difficilement après la chute des eschares.

La galvanisation est préconisée par le docteur Foveau de Courmelles. Cathode garnie d'ouate appliquée sur la muqueuse, anode en pôle perdu ; intensité de 20 à 25 milliampères ; séances de quinze minutes deux fois par semaine.

155. Anosmie. — La galvanisation peut améliorer l'état des personnes atteintes d'anosmie et même, paraît-il, les guérir quelquefois.

Voici le manuel opératoire. On prend pour cathode une tige terminée en bouton et entourée d'ouate que l'on introduit aussi haut que possible dans les fosses nasales ; l'anode, petite plaque de 4 centimètres de diamètre, s'applique sur la racine du nez ; intensité de 3 à 5 milliam-pères ; séance de 5 minutes pour chaque fosse nasale.

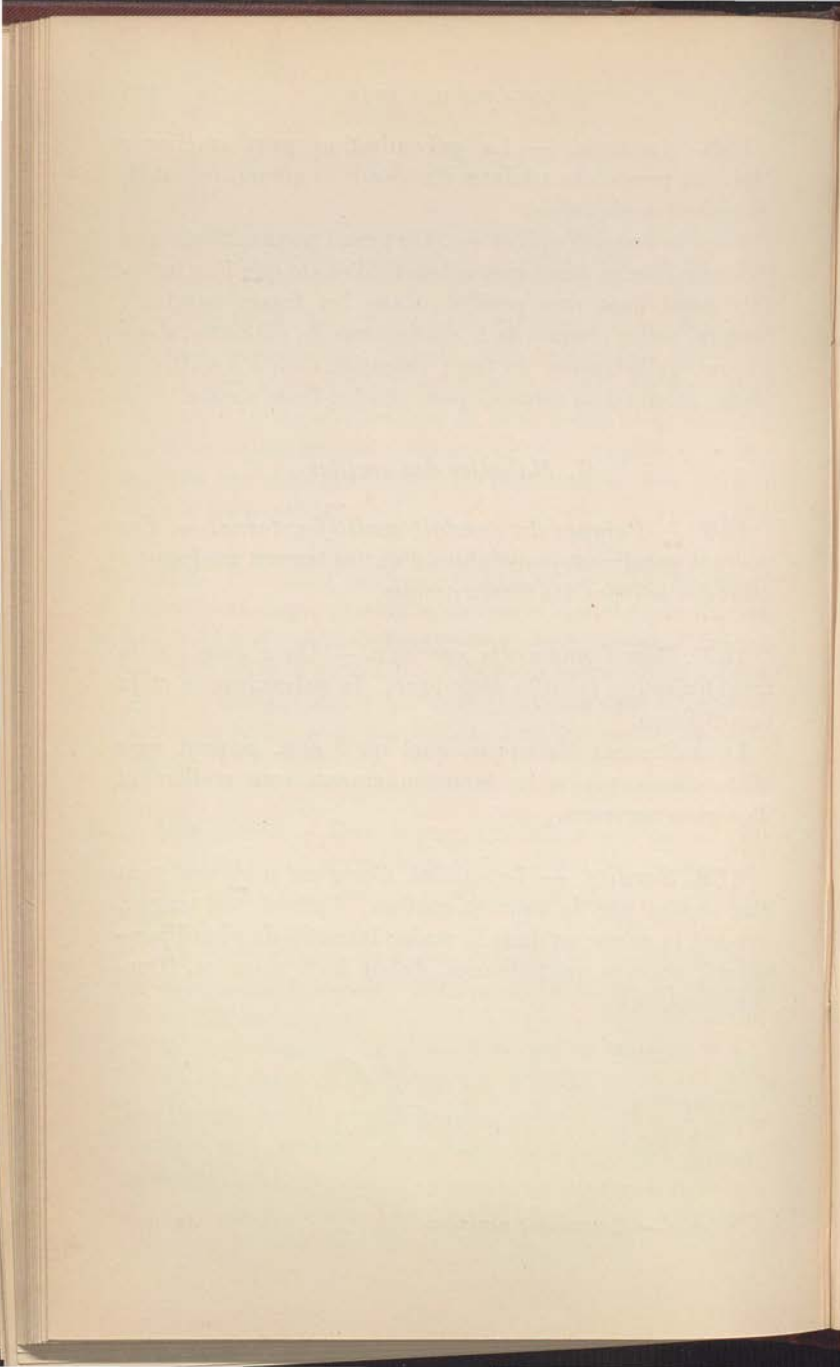
C. *Maladies des oreilles.*

156. — Polypes du conduit auditif-externe. — Ces polypes paraissent justiciables d'un traitement analogue à celui des polypes des fosses nasales.

157. Bourdonnements nerveux. — On a employé la franklinisation (souffle électrique), la galvanisation et la faradisation.

Le traitement électrique, quel qu'il soit, ne peut agir efficacement que si les bourdonnements sont réellement d'origine nerveuse.

158. Surdit . — La surdit  d'origine nerveuse peut être traitée par le courant continu. Cathode au tragus, anode à la nuque ou dans la main ; intensité de 15 milliam-pères ; séances quotidiennes, de 10   15 minutes. (Doc-teur Baratoux).



§ 9. — APPENDICE.

Applications diverses des rayons X. — Action anesthésique des courants de haute fréquence. — Traitement des myoclonies. — Gastralgies hystériques. — Maladies du sein. — Goutte et rhumatisme articulaire.

159. *Applications diverses des rayons X.* — Les notices suivantes sont extraites de la *Presse Médicale*.

H. Rieder. *Action des rayons de Röntgen sur les bactéries* (*München. med. Wochenschr.*, 1898, n° 5, p. 101). — Ces recherches ont été faites de telle façon [que les cultures microbiennes en plein développement, ou des milieux nutritifs qu'on venait d'ensemencer, étaient exposés, dans une partie seulement de leur étendue, aux rayons de Röntgen, qu'on laissait agir pendant un temps plus ou moins long. La façon dont se comportaient, d'une part, les parties soumises à l'action de ces rayons, et, d'autre part, celles qui se sont trouvées à l'abri permettaient d'apprécier ainsi l'influence que les rayons exerçaient sur les cultures microbiennes.

Ces recherches ont montré que les bactéries (vibron cholérique, staphylocoque, streptocoque, bacille diphtérique, bacille tuberculeux, etc.), sont tuées dans les milieux de culture (agar, sérum, gélatine) quand elles restent soumises, pendant une heure, à l'action de ces rayons.

Les cultures dans du bouillon résistent plus longtemps ; de même une culture de colibacilles sur gélatine est seulement arrêtée en partie dans son développement, même dans les cas où elle est restée soumise à l'action des rayons de Röntgen pendant vingt-quatre heures.

Ces expériences montrent donc que les rayons de Röntgen exercent sur les bactéries une action bactéricide plus

ou moins absolue. Cette action n'est pas due à la chaleur qu'ils dégagent, car celle-ci n'élève presque pas la température du milieu de culture ; elle n'est pas due non plus à l'action chimique de ces rayons sur le milieu de culture, car des bactéries,ensemencées sur le milieu de culture soumis préalablement à l'action des rayons de Røntgen, s'y développent fort bien.

R. ROMME.

b. — *De l'influence des rayons X sur les infections.* — MM. Rodet, H. Bertin-Sans, ont entrepris une série d'expériences relatives à l'influence des rayons X sur les infections, et, en particulier, sur la tuberculose. Plusieurs séries de cobayes ont reçu une inoculation de tuberculose et ont été soumis à l'action des rayons X. On a constaté, chez ces animaux, de la chute des poils, des eschares, des plaies superficielles, et, de plus, chez deux d'entre eux, des troubles nerveux remarquables : paraplégie se compliquant de convulsions généralisées et désordonnées. Il est impossible d'expliquer ces troubles par une lésion périphérique ayant son siège dans les muscles ou dans les nerfs. Une lésion médullaire pourrait en être l'origine ; mais il est impossible d'en déterminer la nature sans avoir fait l'autopsie de l'animal. En tout cas, il semble indiscutable que les rayons X ont joué un rôle dans la production des phénomènes observés chez ces cobayes. Quant à l'influence de ces rayons relativement à l'infection, on ne peut encore se prononcer.

c. — R. Mühsam. *Influence de la radiographie sur la tuberculose expérimentale* *Dent. Zeitschr. f. Chir.*, 1898, Vol. XLVII, n° 4, p. 364). — Ces recherches ont été faites sur des cobayes qui, après avoir été inoculés avec des cultures tuberculeuses sous la peau, dans le péritoine, les articulations, etc., ont été ensuite soumis tous les jours, pendant une heure, à l'action des rayons de Røntgen. Or ces animaux ont tous succombé à la tuberculose, mais un peu plus tard (avec une différence de quinze jours en moyenne) que

les cobayes témoins, c'est-à-dire les cobayes qui, après l'inoculation de tuberculose, n'avaient pas été soumis à l'action des rayons Röntgen.

L'auteur conclut donc de ses recherches que les rayons de Röntgen atténuent bien la virulence des bacilles tuberculeux, mais qu'ils n'arrêtent pas la marche progressive de cette affection.

R. ROMME.

d. A de Lancastre. *Guérison d'une ostéo-périostite suppurée, par l'application des rayons X...* (*Revista portugueza de Medicina e Cirurgia practicas*, 1897, n° 25, Novembre, p. 352). — Il s'agit d'une ostéo-périostite du cubitus, avec suppuration, datant de deux ans et ayant été traitée par des injections antiseptiques, par la méthode sclérogène, etc. Au niveau du tiers moyen de l'avant-bras, il existait deux fistules qui suppuraient abondamment.

Pour bien délimiter l'étendue des lésions, l'auteur fit radiographier l'avant-bras malade ; il constata, pendant l'opération, la sortie, par l'orifice de la fistule, d'une grande quantité de liquide séro-purulent d'abord, sanguinolent ensuite. En même temps, la région se tuméfia ; elle rougit et, à la fin de la séance, les trajets fistuleux s'étaient tellement rétrécis que l'introduction d'une petite mèche fut impossible. Frappé de ce phénomène, l'auteur n'hésita pas à conseiller une application thérapeutique des rayons Röntgen. Les séances avaient lieu tous les trois jours et duraient vingt minutes. Les phénomènes, observés lors de la première séance, se reproduisirent chaque fois avec une intensité progressivement décroissante. L'aspect des parties molles se modifiait, de façon à indiquer une marche de l'ostéite vers la guérison. L'écoulement purulent cessa complètement au bout de quelques séances.

Comment expliquer ces résultats ? L'auteur croit que les phénomènes de vaso-dilatation, observés dès la première séance, ont été le point de départ d'une suractivité nutritive des éléments organiques, dont la résistance aux agents infectieux n'a fait qu'augmenter par la suite, sous l'influence

des rayons de Rœntgen. L'afflux des leucocytes à la région malade aurait provoqué, comme cela arrive en d'autres circonstances, l'apparition des phénomènes de phagocytose, qui aurait opposé une digue à l'envahissement des microbes et terrassé l'infection.

M. VIANNA.

160. *Action anesthésique des courants de haute fréquence.* — Voici une intéressante note que le docteur Labbé a publiée dans la *Presse Médicale*.

M. Sudnik (de Buenos-Ayres) a eu l'idée d'employer les courants de haute fréquence pour une luxation de l'épaule du type intra-coracoïdien, qu'il s'était faite dans une chute. Les procédés employés habituellement pour la réduction avant échoué, il fit plusieurs applications des courants de haute fréquence (une plaque sur le deltoïde et l'autre sur le poignet). C'est pendant une de ces applications que la tête humérale put être réduite, grâce à la sédation de la douleur et à la résolution musculaire ainsi obtenues. Ce qui amène M. Sudnik à formuler les conclusions suivantes : 1^o les courants de haute fréquence ont une action anesthésique indiscutable ; 2^o les courants de haute fréquence ont une action sur la contracture d'origine traumatique.

D. LABBÉ.

161. *Traitement des myoclonies.* — Analyse d'un mémoire inséré par le docteur Destarac dans les Archives d'Electricité Médicale du 15 juillet 1898.

« L'auteur étudie d'abord le pronostic des myoclonies. et montre que, d'après les auteurs, il est peu favorable. Il se demande si un traitement convenable appliqué au début, dès l'apparition chez l'enfant du simple tic de la face, première manifestation de la névrose, ne pourrait pas mo-

difier ce pronostic. Deux observations personnelles confirment cette assertion et montrent qu'un traitement électrique convenable a pu amener la rapide disparition d'un tic ; dans un cas même, l'enfant guéri avait une hérédité chargée.

Alors que M. Raymond conseille les bains statiques qu'il a vus exercer une influence heureuse sur les manifestations du paramyoclonus, l'auteur emploie, à la fois, la galvanisation, du bain statique et des courants faradiques,

« On utilisera d'abord, l'action sédative du courant continu avec prédominance du pôle positif sur les muscles atteints, ou les courants descendants ; l'intensité augmentera graduellement jusqu'au degré extrême de tolérance du sujet et décroîtra de même. On traitera aussi par le pôle positif stable les points douloureux à la pression. Il sera bon de compléter ce traitement par le bain statique avec soufflé. En cas d'échec, on pourra employer les courants faradiques qui agissent par action inhibitoire sur les centres. ».

A. VIGOUROUX.

162. *Gastralgies hystériques*. — MM. Apostoli et Planet ont communiqué à la Société d'Electrothérapie, le 17 novembre 1898, une intéressante observation que le docteur Labbé a résumée de la manière suivante.

« 1° Certaines gastralgies, manifestement hystériques, peuvent simuler un symptôme précoce et souvent isolé du tabès au début ;

2° Le diagnostic différentiel entre ces deux espèces de gastralgie trouvera, dans la franklinisation bien appliquée et bien interrogée, un élément de conviction.

3° Le traitement électrique (statique) décèle très rapidement, et dès le début de son application, les états hystériques, par la mise en lumière de perversions périphériques de la sensibilité. Il confirme souvent ce diagnostic immédiat par leur mutualité plus ou moins grande ;

4° Ce même traitement électrique, appliqué un temps

suffisamment long, combattra avec succès la gastralgie hystérique dont le diagnostic sera ainsi doublement éclairé par la thérapeutique ».

Dr LABBÉ.

163. Maladies du sein. — Quelques-unes de ces maladies paraissent justiciables du traitement électrique.

a. *Tumeur du sein.* — Le docteur Vigouroux a analysé dans la *Presse Médicale*, l'observation suivante de MM. Hérigoyen et I. Bergonié, d'après un mémoire inséré dans les *Archives Médicales* du 15 juin 1898.

« Les auteurs rapportent l'observation d'une dame âgée de cinquante ans, sans antécédents héréditaires, chez laquelle à la suite d'un coup sur le sein, s'était développée une tumeur de forme ovoïde, de la grosseur d'un œuf de pigeon, dure, assez mobile et presque accolée à la partie voisine de la glande mammaire. La ménopause était passée, sans accident depuis cinq mois, et la dernière lactation remontait à plus de vingt ans. La malade fut soumise, sans résultat, au traitement ioduré, à la compression, aux onctions, à la pommade iodurée et à l'application d'un emplâtre de ciguë. Ce dernier topique cependant, appliqué pendant vingt jours, produisit une certaine révulsion et sembla amener une diminution de la dureté de la tumeur. Des chirurgiens consultés conseillèrent l'opération immédiate ; mais auparavant, on voulut tenter d'amener la résolution par l'électrothérapie. Ce traitement, dirigé par M. Bergonié, fut appliqué dans les conditions suivantes : courant galvanique continu ; large électrode indifférente de 50 centimètres carrés placée dans le dos et reliée au pôle positif ; électrode hémisphérique de 15 centimètres de diamètre cuirassant entièrement le sein et se moulant sur lui (le mamelon et la zone mamelonnaire sont protégés par un même disque de caoutchouc) ; la malade assise maintient elle-même l'électrode active imbibée d'eau tiède et recouverte d'une couche de feutre de 16 millimètres d'épaisseur ; l'intensité est pro-

gressivement amené de 0 à 40 milliampères, et, même plus tard, à 45 et à 50 milliampères. Les séances sont quotidiennes et durent de quinze à vingt-cinq minutes,

Au bout de quatre à cinq séances, les règles, qui avaient disparu depuis cinq mois, reparurent et revinrent depuis régulièrement. Après la dix-huitième séance, la tumeur a sensiblement diminué de volume ; après la vingt-quatrième, la tumeur est difficile à limiter, elle est fragmentée et divisée en deux lobes inégaux. A la trentième séance, il n'existe plus rien et le sein est devenu tout à fait normal, Cette guérison se maintient depuis deux ans,

M. Bergonié fait suivre cette observation de quelques réflexions ; il cherche d'abord à faire le diagnostic exact de cette tumeur. Il écarte de suite l'hypothèse de mastite chronique et de tuberculose mammaire pour discuter les diagnostics de tumeur épithéliale, adéno-sarcome et adéno-fibrome. C'est à ce dernier qu'il s'arrête après une longue et intéressante discussion».

(*Presse Médicale*, A. VIGOUROUX).

b. *Agalactie*. — La faradisation pratiquée en plaçant la cathode sur la mamelle et l'anode sur la nuque peut activer la sécrétion lactée. L'intensité du courant doit naturellement être réglée d'après la tolérance de la malade.

c. *Mastodymie*. Cette affection est souvent liée à un état pathologique des organes génitaux.

Wood a employé avec succès la galvanisation. Cathode appliquée sur la mamelle, anode indifférente appliquée sur l'abdomen ; intensité de 5 à 10 milliampères ; séance quotidienne de 10 minutes.

d. *Hypertrophie de la mamelle*. — M. P. Delbet, dans le *Traité de Chirurgie* de MM. Duplay et Reclus, a émis l'avis que l'on pourrait obtenir de bons résultats par la galvanisation. Le manuel opératoire serait le même que pour la mastodymie.

164. *Goutte et rhumatisme articulaire.* — On peut employer le courant continu pour le transport du médicament. A cet effet, on plonge l'articulation malade dans la solution suivante, que l'on relie au pôle positif de la pile.

| | |
|-------------------------|------------------|
| Chlorure de lithium. | 20 grammes. |
| Lithine caustique . . . | 50 centigrammes. |
| Eau | 1000 grammes. |

Cathode indifférente en pôle perdu. Intensité de 20 milliampères. Séance quotidienne d'une demi-heure.

On peut recourir, en outre, à la faradisation, en dehors des périodes d'accès.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

PRÉCIS D'ÉLECTRICITÉ

Par M. Félix LUCAS

CHAPITRE PREMIER

ÉLECTRICITÉ STATIQUE

| | Pages |
|--|-------|
| 1. Coup d'œil historique..... | 5 |
| 2. Loi de Coulomb..... | 8 |
| 3. Distribution électrique..... | 9 |
| 4. Potentiel électrique..... | 9 |
| 5. Définition mathématique..... | 10 |
| 6. Méthode expérimentale..... | 13 |
| 7. Unités de masse électrique et de potentiel... .. | 15 |
| 8. Electrification par influence..... | 16 |
| 9. Capacité d'un conducteur..... | 20 |
| 10. Machines électriques..... | 21 |
| 11. Condensateurs..... | 28 |
| 12. Énergie électrique..... | 33 |
| 13. Batteries électriques..... | 35 |
| 14. Décharge d'un condensateur..... | 38 |
| 15. Effets physiologiques de l'électricité statique. | 44 |

CHAPITRE II

COURANTS VOLTAIQUES

| | | |
|-----|--|-----|
| 16. | Courant électrique..... | 47 |
| 17. | Pile de Volta..... | 48 |
| 18. | Propagation de l'électricité..... | 55 |
| 19. | Circuits multiples..... | 60 |
| 20. | Lois de Kirchhoff..... | 61 |
| 21. | Loi de Joule..... | 65 |
| 22. | Résistance intérieure d'une pile..... | 66 |
| 23. | Electrolyse..... | 68 |
| 24. | Polarisation des électrodes..... | 70 |
| 25. | Force électromotrice et polarisation de la pile..... | 72 |
| 26. | Piles à deux liquides..... | 75 |
| 27. | Groupement des éléments de pile..... | 79 |
| 28. | Applications..... | 85 |
| 29. | Thermoélectricité..... | 87 |
| 30. | Accumulateurs..... | 95 |
| 31. | Effets physiologiques des courants..... | 99 |
| 32. | Résistances du corps humain..... | 104 |

CHAPITRE III

COURANTS INDUITS

| | | |
|-----|-----------------------------------|-----|
| 53. | Champ magnétique..... | 111 |
| 54. | Flux de force..... | 115 |
| 55. | Electro-magnétisme..... | 118 |
| 56. | Aimantation par les courants..... | 124 |
| 57. | Courants d'induction..... | 125 |
| 58. | Self-induction..... | 129 |
| 59. | Extra-courants..... | 150 |

| | |
|--|-----|
| 40. Générateurs d'électricité..... | 151 |
| 41. Induction mutuelle de deux courants..... | 156 |
| 42. Principe des transformateurs..... | 157 |
| 43. Bobine de Ruhmkorff..... | 140 |
| 44. Courants à grande fréquence..... | 144 |
| 45. Rayons X..... | 148 |

DEUXIÈME PARTIE

APPAREILS ET INSTRUMENTS ÉLECTRO-MÉDICAUX

Par MM. Félix et André LUCAS

§ 1. — Franklinisation

| | |
|--------------------------------|-----|
| 46. Machine de Wimshurst..... | 157 |
| 47. Tabouret isolant..... | 161 |
| 48. Excitateurs divers..... | 161 |
| 49. Effluation statique..... | 165 |
| 50. Étincelles..... | 164 |
| 51. Friction électrique..... | 165 |
| 52. Observations diverses..... | 165 |

§ 2. — Galvanisation et Electrolyse

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 53. Observations préliminaires..... | 167 |
| 54. Batterie de Gaiffe..... | 168 |
| 55. Galvanomètre aperiodique..... | 172 |
| 56. Excitateurs galvaniques..... | 176 |
| 57. Electrolyseurs..... | 181 |
| 58. Isolants stérilisables..... | 185 |
| 59. Cataphorèse..... | 186 |
| 60. Etats variables du courant..... | 188 |

§ 3. — Galvanocaustique thermique et Endoscopie

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 61. Piles au bichromate..... | 191 |
| 62. Accumulateurs..... | 195 |
| 63. Shunts et Voltmètres..... | 201 |
| 64. Mesure des résistances..... | 206 |
| 65. Galvanocautères thermiques..... | 210 |
| 66. Endoscopes électriques..... | 215 |

§ 4. — Faradisation

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 67. Considérations préliminaires..... | 219 |
| 68. Bobines médicales..... | 224 |
| 69. Rhéostat à liquide..... | 227 |
| 70. Interrupteurs automatiques..... | 228 |
| 71. Galvanofaradisation..... | 230 |
| 72. Appareils magnétifaradiques..... | 230 |
| 73. Courants sinusoïdaux..... | 235 |
| 74. Courants triphasés..... | 235 |
| 75. Transformateur-inverseur..... | 237 |
| 76. Excitateurs faradiques..... | 242 |
| 77. Production de l'ozone..... | 244 |

§ 5. — Autoconduction

| | |
|---|-----|
| 78. Appareil de M. d'Arsonval..... | 245 |
| 79. Effets physiologiques des courants de haute fréquence..... | 246 |
| 80. Applications thérapeutiques de l'autoconduc- tion..... | 249 |

§ 6. — Radiographie et Fluoroscopie

| | |
|--|-----|
| 81. Appareils de production des rayons X..... | 252 |
| 82. Effets thérapeutiques et actions consécutives. | 259 |

TROISIÈME PARTIE

APPLICATIONS THÉRAPEUTIQUES

Par le Docteur André LUCAS

§ 1. — Electrodiagnostic

| | |
|---|-----|
| 83. Considérations préliminaires..... | 265 |
| 84. Topographie des points moteurs..... | 267 |
| 85. Réaction de dégénérescence..... | 270 |
| 86. Réaction partielle..... | 272 |
| 87. Réaction à distance..... | 273 |
| 88. Valeurs séméiologique et pronostique de la D. R..... | 275 |
| 89. Electrodiagnostic ou gynécologie..... | 275 |
| 90. Electrodiagnostic d'affections diverses..... | 276 |

§ 2. — Maladies de la peau

| | |
|---|-----|
| 91. Cicatrices..... | 281 |
| 92. Tatouages..... | 281 |
| 93. Sycosis de la barbe. Epilation..... | 282 |
| 94. Nœvi materni..... | 283 |
| 95. Angiomes cutanés..... | 283 |
| 96. Verrues. Végétations..... | 286 |
| 97. Ulcères..... | 286 |
| 98. Lupus..... | 287 |
| 99. Elephantiasis..... | 287 |

§ 3. — Maladies de l'appareil d'innervation

| | |
|---|-----|
| 100. Hémorrhagies méningées..... | 289 |
| 101. Maladies de l'encéphale (héméplégie, épilepsie | |

| | | |
|------|---|-----|
| | jacksonienne, anémie et congestion cérébrale, hémorrhagie cérébrale, ophtalmoplégie nucléaire progressive, paralysie labio-glosso-laryngée)..... | 289 |
| 102. | Maladies de la moelle (myélite aiguë, paralysie infantile, tabès dorsalis, syringomyélie, compression de la moelle)..... | 291 |
| 103. | Maladies des nerfs périphériques (névrites périphériques, polynévrites, paralysies périphériques fonctionnelles, paralysies consécutives aux maladies infectueuses ou aux intoxications, névralgies)..... | 295 |
| 104. | Myopathie primitive progressive..... | 298 |
| 105. | Goître exophtalmique..... | 299 |
| 106. | Chorée..... | 299 |
| 107. | Neurasthénie..... | 300 |
| 108. | Hystérie..... | 302 |
| 109. | Migraine..... | 303 |

§ 4. — Maladies des appareils circulatoire et respiratoire

A. Appareil circulatoire

| | | |
|------|---|-----|
| 110. | Névroses du cœur (asystolie, angine de poitrine)..... | 305 |
| 111. | Angiomes..... | 306 |
| 112. | Anévrysmes..... | 309 |

B. Appareil respiratoire

| | | |
|------|--|-----|
| 113. | Paralysies du larynx..... | 311 |
| 114. | Paralysies des muscles de la respiration.... | 312 |
| 115. | Asphyxie et syncopes..... | 312 |
| 116. | Asthme..... | 313 |

§ 5. — Maladies de l'appareil digestif

| | | |
|------|--------------------------------------|-----|
| 117. | Rétrécissement de l'œsophage..... | 315 |
| 118. | Spasmes de l'œsophage..... | 320 |
| 119. | Vomissements incoercibles..... | 320 |
| 120. | Dilatation de l'estomac..... | 321 |
| 121. | Occlusion intestinale..... | 321 |
| 122. | Rétrécissements du rectum..... | 322 |
| 123. | Tissures douloureuses de l'anüs..... | 325 |

§ 6. — Maladies des organes génito-urinaires

| | | |
|------|--|-----|
| 124. | Paralytie et spasmes de la vessie..... | 329 |
| 125. | Spermatorrhée..... | 330 |
| 126. | Hypertrophie de la prostate..... | 331 |
| 127. | Rétrécissements de l'arèthre..... | 338 |

§ 7. — Gynécologie

A. Affection de la vulve

| | | |
|------|--------------------------------|-----|
| 128. | Vulvites..... | 349 |
| 129. | Eléphantiasis de la vulve..... | 350 |
| 130. | Végétations de la vulve..... | 351 |
| 131. | Tumeurs variqueuses..... | 351 |
| 132. | Cancer de la vulve..... | 351 |

B. Affections du vagin

| | | |
|------|----------------|-----|
| 133. | Vaginisme..... | 352 |
| 134. | Vaginites..... | 352 |

C. Affections de l'utérus et de ses annexes

| | | |
|------|------------------------------|-----|
| 135. | Déplacement de l'utérus..... | 353 |
| 136. | Fibromes de l'utérus..... | 354 |
| 137. | Polypes de l'utérus..... | 362 |
| 138. | Métrites..... | 364 |

| | | |
|------|--|-----|
| 139. | Aménorrhée..... | 370 |
| 140. | Dysménorrhée..... | 370 |
| 141. | Rétrécissement du col..... | 373 |
| 142. | Affections des annexes de l'utérus..... | 373 |
| 143. | Remarques relatives à l'obstétrique..... | 376 |

§ 8. — Organes des sens

A. *Maladies des yeux*

| | | |
|------|---|-----|
| 144. | Blépharospasme..... | 378 |
| 145. | Choroidite..... | 378 |
| 146. | Hypérémie rétinienne..... | 379 |
| 147. | Rétinite pigmentaire..... | 379 |
| 148. | Névrite optique et atrophie papillaire..... | 380 |
| 149. | Zona ophtalmique..... | 382 |
| 150. | Rétrécissements du conduit lacrymal..... | 382 |
| 151. | Episclérite..... | 383 |

B. *Maladies des fosses nasales*

| | | |
|------|---------------------------------|-----|
| 152. | Polypes des fosses nasales..... | 385 |
| 153. | Fibromes naso-pharyngiens..... | 384 |
| 154. | Ozène..... | 384 |
| 155. | Anosmie..... | 385 |

C. *Maladies des oreilles*

| | | |
|------|---|-----|
| 156. | Polypes du conduit auditif externe..... | 385 |
| 157. | Bourdonnements nerveux..... | 385 |
| 158. | Surdité..... | 385 |

§ 9. — Appendice

| | | |
|------|--|-----|
| 159. | Applications diverses des rayons X..... | 387 |
| 160. | Action anesthésique des courants de haute fréquence..... | 390 |

TABLE DES MATIÈRES

403

| | |
|--|-----|
| 161. Traitement des myoclonies..... | 390 |
| 162. Gastralgies hystériques..... | 391 |
| 163. Maladies du sein (tumeurs, agalactie, masto- dynie, hypertrophie de la mamelle)..... | 392 |
| 164 Goutte et rhumatisme articulaire..... | 394 |



CATALOGUE DE LIVRES

SUR

L'ÉLECTRICITÉ ET LA CHIMIE

PUBLIÉS PAR

LA LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER

Successeur de BAUDRY & C^o

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, A PARIS. — LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

Le catalogue complet est envoyé franco sur demande.

ÉLECTRICITÉ

Traité d'électricité et de magnétisme.

Traité d'électricité et de magnétisme. Théorie et applications, instruments et méthodes de mesure électrique. Cours professé à l'Ecole supérieure de télégraphie, par A. VASCHY, ingénieur des télégraphes, examinateur d'entrée à l'Ecole polytechnique. 2 volumes grand-in-8 avec de nombreuses figures dans le texte. 25 fr.

Théorie de l'électricité.

Théorie de l'électricité. Exposé des phénomènes électriques et magnétiques fondé uniquement sur l'expérience et le raisonnement par A. VASCHY, ingénieur des télégraphes, examinateur d'admission à l'Ecole polytechnique. 1 vol. gr. in-8, avec 74 figures dans le texte, relié. 20 fr.

Traité pratique d'électricité.

Traité pratique d'électricité à l'usage des ingénieurs et constructeurs. Théorie mécanique du magnétisme et de l'électricité, mesures électriques, piles, accumulateurs et machines électrostatiques, machines dynamo-électriques génératrices, transport, distribution et transformation de l'énergie électrique, utilisation de l'énergie électrique, par FÉLIX LUCAS, ingénieur en chef des ponts et chaussées, administrateur des chemins de fer de l'Etat, 1 volume grand in-8, avec 278 figures dans le texte 15 fr.

Electricité industrielle.

Traité d'électricité industrielle, théorique et pratique, par MARCEL DEPPEZ, membre de l'Institut, professeur d'électricité industrielle au

Conservatoire national des arts et métiers, professeur suppléant au Collège de France. 2 volumes grand in-8, avec de nombreuses figures dans le texte, paraissant en 4 fascicules. Prix de souscription à l'ouvrage complet 40 fr.
Chaque fascicule se vend séparément. 12 fr.

Electricité industrielle.

Traité pratique d'électricité industrielle. Unités et mesures ; piles et machines électriques ; éclairage électrique ; transmission électrique de l'énergie ; galvanoplastie et électro-métallurgie ; téléphonie par E. CADRIAT et L. DUBOST, 5^e édition. 1 vol. grand in-8, avec 277 gravures dans le texte, relié. 16 fr. 50

Manuel pratique de l'électricien.

Manuel pratique de l'électricien. Guide pour le montage et l'entretien des installations électriques, par E. CADRIAT, 3^e édition, 1 vol. in-12 avec 243 figures dans le texte, relié 7 fr. 50

Aide-mémoire de poche de l'électricien.

Aide-mémoire de poche de l'électricien ; guide pratique à l'usage des ingénieurs, monteurs, amateurs électriciens, etc., par PH. PICARD et A. DAVID, ingénieurs des arts et manufactures. 1 petit volume, format oblong de 0^m,125 X 0^m,08, relié en maroquin, tranches dorées . . 5 fr.

Contrôles des installations électriques.

Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité. Le courant électrique, production et distribution de l'énergie, mesures, effets dangereux des courants, contrôle à l'usine, contrôle du réseau, des installations intérieures et des installations spéciales, résultats d'exploitation, règlements français et étrangers, par A. MONMERQUÉ ; ingénieur en chef des ponts et chaussées, ancien ingénieur des services de la première section des travaux de Paris et du secteur municipal d'électricité, préface de M. HIPPOLYTE FONTAINE, président honoraire de la chambre syndicale des électriciens. 1 volume in-8, avec de nombreuses figures dans le texte, relié. 10 fr.

L'électricité dans l'industrie.

L'électricité dans l'industrie. Rapport présenté à l'association des anciens élèves des écoles supérieures de commerce et d'industrie de Rouen, par RAOUL LEMOINE, ingénieur. 1 vol. in-8, avec de nombreuses gravures dans le texte 6 fr.

L'année électrique.

L'année électrique, ou exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de l'électricité à l'industrie et aux arts, par PH. DELAHAYE. 8 volumes in-12, (1885 à 1892) : Prix de chaque volume. 3 fr. 50

Pile électrique.

Traité élémentaire de la pile électrique, par ALFRED NIACDET. 3^e édition revue par HIPPOLYTE FONTAINE et suivie d'une notice sur les accumulateurs, par E. HOSPITALIER. 1 volume grand in-8, avec gravures dans le texte 7 fr. 50

Electrolyse.

Electrolyse ; renseignements pratiques sur le nickelage, le cuivrage la dorure, l'argenture, l'affinage des métaux et le traitement des mine-

rais au moyen de l'électricité, par HIPPOLYTE FONTAINE. 2^e édition.
1 volume grand in-8, avec gravures dans le texte, relié. . . . 15 fr.

Electrolyse.

Etude sur le raffinage électrolytique du cuivre noir, par HUGON.
1 brochure grand in-8. 1 fr. 50

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par
R.-V. PICOU, ingénieur des arts et manufactures. 1 vol. grand in-8, avec
198 figures dans le texte. 12 fr. 50

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par
SILVANUS THOMPSON, traduit par M. E. BOISTEL. 1 volume grand in-8,
avec gravures dans le texte. Relié.
Épuisé, une nouvelle édition est en préparation.

Machines dynamo-électriques.

La machine dynamo-électrique, par FRELICH, traduit de l'allemand
par E. BOISTEL. 1 volume grand in-8, avec 62 figures dans le texte.
10 fr.

Machines dynamo-électriques.

Dynamo volant, système Patin (120.000 watts), accouplée sur un
moteur Boyer, avec 2 planches. Ce mémoire a paru dans la livraison
d'août 1893 du *Portefeuille des machines*. Prix de la livraison.
2 fr.

Constructions électro-mécaniques.

Constructions électro-mécaniques ; recueils d'exemples de construc-
tion et de calculs de machines dynamos et appareils électriques indus-
triels, par GIBBERT KAPP, traduit de l'allemand par A. O. DUBSKY et
P. GIRAULT, ingénieurs électriciens. 1 volume in-4, avec 54 figures
dans le texte et 25 planches, relié. 30 fr.

Eclairage électrique.

Eclairage à l'électricité. Renseignements pratiques, par HIPPOLYTE
FONTAINE. 3^e édition entièrement refondue. 1 volume grand in-8, avec
326 figures dans le texte.
Épuisé, une nouvelle édition est en préparation.

Eclairage électrique.

Eclairage électrique de l'Exposition universelle de 1889. Monographie
des travaux exécutés par le syndicat international des électriciens, par
HIPPOLYTE FONTAINE. 1 volume in-4, avec 29 planches tirées à part et
32 gravures dans le texte, relié 25 fr.

Eclairage électrique.

Manuel pratique d'éclairage électrique pour installations particulières,
maison d'habitation, usines, salles de réunion, etc., par EMILE CAHEN,
ingénieur des ateliers de construction des manufactures de l'Etat.
2^e édition. 1 vol. in-12 avec de nombreuses figures dans le texte. Prix
relié 7 fr. 50

Eclairage électrique.

N.-B. — Les mémoires ci-dessous ont paru dans le *Portefeuille des machines* et se vendent, avec la livraison qui les renferme, au prix de 2 fr. la livraison.

Locomobile électrique de Gramme destinée à l'éclairage à distance pour la défense des places, avec 1 planche. Livraison de juillet 1878. 2 fr.

Eclairage électrique de la Gran Plaza de Toros du Bois de Boulogne à Paris, avec une planche. Livraison de mars 1891 2 fr.

Usine municipale d'électricité des Halles centrales à Paris, avec 3 planches. Livraisons de juillet et d'août 1891 4 fr.

Eclairage électrique de Saint-Pancras, station de Regent's Park, à Londres, avec 1 planche. Livraison de septembre 1892 2 fr.

Eclairage électrique de l'avenue de l'Opéra. Livraison de février 1897. 2 fr.

L'éclairage électrique des voitures et des fourgons du chemin de fer du Nord. Livraison de mai 1898 2 fr.

Eclairage électrique.

Etude pratique sur l'éclairage électrique des gares de chemins de fer, ports, usines, chantiers et établissements industriels par GEORGES DUMONT, avec la collaboration de GUSTAVE BAIGNIÈRES. 1 vol. gr. in-8 avec deux planches 5 fr.

Eclairage à Paris.

L'éclairage à Paris. Etude technique des divers modes d'éclairage employés à Paris sur la voie publique, dans les promenades et jardins, dans les monuments, les gares, les théâtres et grands magasins, etc., et dans les maisons particulières. — Gaz, électricité, pétrole, huile, etc., usines et stations centrales, canalisations et appareils d'éclairage ; organisation administrative et commerciale, rapports des compagnies avec la ville ; traités et conventions ; calcul de l'éclairage des voies publiques ; prix de revient, par HENRI MARÉCHAL, ingénieur des ponts et chaussées et du service municipal de la ville de Paris. 1 volume gr. in-8, avec 221 figures dans le texte, relié. 20 fr.

Electricité.

Manuel élémentaire d'électricité, par FLEMING JENKIN, professeur à l'Université d'Edimbourg ; traduit de l'anglais par N. DE TÉDESCO. 1 volume in-12, avec 32 gravures. 2 fr.

Courants polyphasés.

Courants polyphasés et alterno-moteurs. Théorie, construction, mode de fonctionnement et qualités des générateurs et des moteurs à courants alternatifs et polyphasés, transformateurs polyphasés et mesure de la puissance dans les systèmes polyphasés, par SILVANUS P. THOMPSON, directeur du Collège technique de Finsbury, à Londres traduction par E. BOISTEL, ingénieur-expert près le tribunal de la Seine. 1 vol. gr. in-8, avec figures dans le texte, relié.

Epuisé, une nouvelle édition est en préparation.

Courants triphasés.

Applications et avantages des machines électriques à courants triphasés. Ce mémoire a paru dans la livraison de décembre 1895 du *Portefeuille des machines*. Prix de la livraison. 2 fr.

Courants alternatifs d'électricité.

Les courants alternatifs d'électricité, par T. H. BLAKESLEY, professeur au Royal Naval Collège de Greenwich, traduit de la 3^e édition anglaise et augmenté d'un appendice, par W. C. RECHNIEWSKI. 1 volume in-12 avec figures dans le texte, relié 7 fr. 50

Transformateurs.

Les transformateurs à courants alternatifs simples et polyphasés. Théorie, construction, applications, par GISEBERT KAPP, traduit de l'allemand par A. O. DUBSKY et G. CHENET, ingénieurs électriciens. 1 volume in-8, avec 132 figures dans le texte, relié. 12 fr.

Courant électrique différentiel.

Le courant électrique différentiel, par EMILE MANGON. 1 brochure gr in-8, avec figures dans le texte. 2 fr. 50

Problèmes sur l'électricité.

Problèmes sur l'électricité. Recueil gradué comprenant toutes les parties de la science électrique, par le D^r ROBERT WEBER professeur à l'Académie de Neuchâtel. 2^e édition. 1 volume in-12, avec figures dans le texte. 6 fr.

Installations électriques. Mesures de précaution.

Installations électriques d'éclairage et de transport d'énergie. Commentaires sur les mesures de précaution prescrites par l'Union des Compagnies allemandes d'Assurance contre l'incendie, par le D^r OSCAR MAY, traduit de l'allemand sous la direction de PH. DELAHAYE. 1 brochure gr. in 8, avec 13 figures dans le texte. 1 fr. 50

Transmission de force.

Transmission de force pour l'électricité appliquée à l'usine de fabrication d'engrais chimiques de P. Linet à Aubervilliers. Cette étude a paru dans la livraison de juin 1896 du *Portefeuille des machines*. Prix de la livraison. 2 fr.

Chemin de fer électrique.

Chemin de fer électrique des boulevards, à Paris. par CHRÉTIEN. 1 brochure in-4, avec gravures 2 fr.

Tramways électriques.

Les tramways électriques. Dispositions générales ; voie, tramways à conducteurs aériens, souterrains, établis au niveau du sol ; tramways à accumulateurs ; matériel roulant ; stations centrales ; dépenses par HENRI MARÉCHAL, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur de la 1^{re} section des travaux de Paris et du secteur municipal d'électricité. 1 vol. in-8, avec figures dans le texte, relié.

Traction électrique.

La traction électrique sur voies ferrées. Voie, matériel roulant, traction, par ANDRÉ BLONDEL, ingénieur des ponts et chaussées, professeur du cours d'électricité à l'École des ponts et chaussées et F. PAUL DUBOIS, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur du service municipal de la ville de Paris. 2 volumes grand in 8, contenant plus de 1700 pages et 1014 figures dans le texte. Relié. 50 fr.

Chemins de fer et tramways électriques.

N.-B. Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des ma-*

chines et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.

Tramcar électrique fonctionnant par accumulateurs. Livraison d'octobre 1888. 2 fr.

Tramway électrique de Clermont-Ferrand, système Thury, avec 1 planche. Livraison de novembre 1890. 2 fr.

Tramway électrique de Marseille, avec 1 planche. Livraison de novembre 1893 2 fr.

Chemin de fer électrique du Salève. Livraison de décembre 1894. 2 fr.

Chemin de fer électro-funiculaire de Burgenstock. Livraisons de juin et juillet 1895. 4 fr.

Etude sur les tramways électriques. Livraisons d'octobre, de novembre 1895 et de janvier 1896. 6 fr.

Tramway électrique de Paris à Romainville, système Claret-Vuilleumier, avec une planche. Livraison d'avril 1897 2 fr.

Tramways électriques de Berlin, avec 2 planches. Livraisons de juillet 1897 2 fr.

Chemin de fer électrique souterrain de Budapest. Livraison d'août 1897. 2 fr.

Chemins de fer électriques des mines de Resicza et de Palfalva (Hongrie) avec 3 planches. Livraison de novembre 1897. 2 fr.

Les voitures automobiles de la Compagnie du chemin de fer du Nord. Livraison de mai 1898. 2 fr.

Accumulateur voltaïque.

Traité élémentaire de l'accumulateur voltaïque, par EMILE REYNIER. 1 volume grand in-8, avec 62 gravures dans le texte et un portrait de M. Gaston Planté 6 fr.

Accumulateurs électriques.

Etude sur les accumulateurs Peyrusson. Ce mémoire a paru dans la livraison d'octobre 1893 du *Portefeuille des machines*. Prix de la livraison. 2 fr.

Régulation des galvanomètres.

Nouveaux procédés de régulation des galvanomètres (boussole des tangentes). Nouvelles méthodes de détermination des forces électromotrices et des résistances des piles. Applications importantes à quelques parties des méthodes générales d'expérimentation, par L. DE GERANDO, ingénieur de la marine. 1 brochure grand in-8 1 fr.

Téléphone.

Le téléphone par WILLIAM-HENRI PREECE, electricien en chef du *British Post-Office*, et JULIUS MAIER, docteur ès-sciences physiques. 1 volume grand in 8, avec 290 gravures dans le texte 15 fr.

Télégraphie électrique.

Traité de télégraphie électrique. — Production du courant électrique. — Organes de réception. — Premiers appareils. — Appareil Morse. — Appareils accessoires. — Installation des postes. — Propriétés électriques des lignes. — Lois de la propagation du courant. — Essais électriques, recherches des dérangements. — Appareils de translation, de décharge et de compensation. — Description des principaux appareils et des différents systèmes de transmission. — Etablissement des lignes aériennes, souterraines et sous-marines par H. THOMAS, ingénieur des télégraphes. — 1 volume grand in-8 avec 702 figures dans le texte, relié. 25 fr.

Télégraphie sous-marine.

Traité de télégraphie sous-marine. — Historique. — Composition et fabrication des câbles télégraphiques. — Immersion et réparation des câbles sous-marins. — Essais électriques. — Recherches des défauts. — Transmission des signaux — Exploitation des lignes sous-marines, par WUNSCHENDORFF, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8, avec 469 gravures dans le texte. 40 fr.

Télégraphie pneumatique.

Télégraphie pneumatique. Installation de la Bourse de Paris, avec 2 planches. Ce mémoire a paru dans la livraison d'avril 1877 du *Porte-jeuille des machines*. Prix de la livraison 2 fr.

Tirage des mines par l'électricité.

Le tirage des mines par l'électricité, par PAUL-F. CHALON, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-18 jésus, avec 90 figures dans le texte, relié. 7 fr. 50

CHIMIE ET INDUSTRIES CHIMIQUES

Histoire de la chimie.

Histoire de la chimie. I. Histoires des grandes lois chimiques. — II. Histoire des métalloïdes et de leurs principaux composés. — III. Histoire des métaux et de leurs principaux composés. — IV. Histoire de la chimie organique, par R. JAGNAUX. 2 volumes grand in-8, contenant plus de 1500 pages. 32 fr.

Traité de chimie.

Traité de chimie avec la notation atomique, à l'usage des élèves de l'enseignement primaire supérieur, de l'enseignement secondaire moderne et classique des candidats aux Ecoles du gouvernement et aux élèves de ces écoles, par LOUIS SERRES, ancien élève de l'école polytechnique, professeur de chimie à l'école municipale supérieure Jean-Baptiste Say. 1 volume in-8, avec figures dans le texte 10 fr.

On vend séparément :

Première partie : Métalloïdes. 3 fr. 50

Deuxième partie : Métaux. 3 fr. 50

Troisième partie : Chimie organique 3 fr. 50

Chimie médicale et pharmaceutique.

Traité de chimie minérale, médicale et pharmaceutique, par le D^r R. HUGUET, professeur de chimie et de toxicologie à l'École de médecine et de pharmacie de Clermont-Ferrand, pharmacien en chef des hospices, inspecteur des pharmacies, ex-interne lauréat des hôpitaux de Paris. 2^e édition, 1 volume grand in-8 de plus de 1000 pages, avec 427 figures dans le texte 15 fr.

Aide-mémoire du chimiste.

Aide-mémoire du chimiste. Chimie inorganique, chimie organique, documents chimiques, documents physiques, documents minéralogiques, etc., etc., par R. JAGNAUX. 1 beau volume contenant environ 1000 pages, avec figures dans le texte, solidement relié en maroquin 15 fr.

Vade-Mecum du fabricant de produits chimiques.

Vade-mecum du fabricant de produits chimiques, par le D^r G. LUNGE, professeur de chimie industrielle à l'École polytechnique fédérale de Zurich, traduit de l'allemand sur la 2^e édition par V. HASSREIDTER et PROST, chimistes-industriels. 1 volume in-12, avec figures dans le texte, relié. 7 fr. 50

Analyse chimique.

Traité d'analyse chimique des substances commerciales, minérales et organiques, par R. JAGNAUX, 2^e édition. 1 volume grand in-8 avec figures dans le texte, relié. 20 fr.

Manipulations chimiques.

Manipulations chimiques qualitatives et quantitatives préparatoires à l'étude systématique de l'analyse, par L. L. DE KONING, ingénieur honoraire des mines, professeur à l'Université de Liège, 1 volume in-12, avec figures dans le texte. 2 fr. 50

Dictionnaire d'analyse.

Dictionnaire d'analyse des substances organiques, industrielles et commerciales, par ADOLPHE RENARD, docteur es sciences, professeur de chimie à l'École supérieure des sciences de Rouen. 1 volume in-8 avec figures dans le texte, relié 10 fr.

Analyse de l'eau.

Guide pratique pour l'analyse de l'eau. Analyse chimique, micrographique et bactériologique, par le D^r W. OELMULLER, professeur d'hygiène à l'Université de Berlin, traduit d'après la 2^e édition allemande, par le D^r L. GAUTIER. 1 volume in-8, avec 77 figures dans le texte et une planche, relié 10 fr.

Méthodes de travail pour le laboratoire.

Méthodes de travail pour les laboratoires de chimie organique, par le D^r LASSAR COHN, professeur de chimie à l'Université de Königsberg, traduit de l'allemand par E. ACKERMANN, ingénieur civil des mines. 1 volume in-12 avec figures dans le texte, relié. 7 fr. 50

Eaux minérales de la France.

Les eaux minérales de la France. Etudes chimiques et géologiques entreprises conformément au vœu émis par l'Académie de médecine, sous les auspices du Comité consultatif d'hygiène publique de France, par E. JACQUOT, inspecteur général des mines, membre du Comité d'hygiène, et WILM, professeur de chimie à la Faculté des sciences de Lille. 1 volume grand in-8, avec 21 figures dans le texte et une carte. 20 fr.

Captage des sources thermo-minérales.

Recherche, captage et aménagement des sources thermo-minérales. Origine, géologie, propriétés physiques et chimiques. Cours professé à l'École supérieure des mines, par L. DE LAENAY, professeur à l'École supérieure des mines, ingénieur au corps des mines. 1 volume grand in-8, avec de nombreuses figures dans le texte, relié 25 fr.



