

à mesurer X est introduite dans la branche BC et dans la branche DC on met une boîte de résistance. On fait alors varier la résistance de cette boîte jusqu'à atteindre une valeur r' pour laquelle l'aiguille du galvanomètre soit ramenée au zéro. En vertu de la relation précédente la valeur de X est donnée par l'équation

$$\frac{R}{R'} = \frac{X}{r'}$$

Des appareils de forme diverse ont été construits pour réaliser les conditions que nous venons d'indiquer; mais lors même qu'ils ne présentent pas matériellement la forme du schéma que nous avons étudié, il est aisé d'y retrouver les mêmes éléments.

1010. — La mesure des résistances par les méthodes que nous avons indiquées présente des difficultés lorsque, par suite du passage du courant, il peut se produire dans les substances traversées une action chimique amenant la polarisation des électrodes, créant en somme une force contre-électromotrice, car cette dernière intervient pour affaiblir le courant : le cas se présente notamment lorsqu'il s'agit de mesurer la résistance de tissus organisés. Le procédé le plus simple pour opérer dans ce cas consiste à employer le pont de Wheatstone en remplaçant le galvanomètre par un téléphone et la pile par une bobine d'induction. Il se produit alors des courants alternatifs qui empêchent la polarisation de se produire; on est averti, d'autre part, qu'aucun courant ne traverse la branche BD lorsque le téléphone est réduit au silence. Mais, dans ce cas, il ne faut pas employer de bobines de résistance dont la self-induction modifierait les effets produits et il convient de les remplacer par un rhéostat ou un rhéocorde.

La mesure des résistances des conducteurs nécessaire en physique et au point de vue industriel est quelquefois utile en physiologie. Quelques recherches récentes tendraient même à montrer que cette mesure peut être utilisée comme moyen de diagnostic : d'après quelques faits qui ne sont pas encore assez nombreux pour qu'on puisse arriver à une conclusion, il semblerait que, pour certaines formes de maladies nerveuses, la résistance du corps humain serait notablement modifiée. Si le fait était prouvé absolument, la question prendrait, on le comprend, une réelle importance pratique comme élément de diagnostic.

CHAPITRE IX

APPLICATIONS SPÉCIALES DE L'ÉLECTRICITÉ AUX SCIENCES MÉDICALES

1011. — Les applications de l'électricité à la physiologie, à la médecine et à la chirurgie sont actuellement très nombreuses quoiqu'elles ne soient pas encore absolument coordonnées et que, sur un assez grand nombre de points, les effets n'aient pas encore été étudiés d'une manière rationnelle, scientifique. Ces applications consistent pour la physiologie en des moyens d'excitation des muscles et des nerfs, en des procédés d'investigation et d'enregistrement de phénomènes variés; il convient d'y joindre l'étude des manifestations électriques dont les êtres vivants sont le siège. Les applications à la médecine et à la chirurgie sont tantôt utilisées comme moyen de diagnostic, tantôt comme moyen curatif dans des conditions très diverses.

Nous ne saurions entrer dans le détail de toutes ces applications dont l'étude exigerait de longs développements et nous devons nous borner à des indications générales. Ajoutons que quelques-unes de ces applications ont été déjà signalées ou décrites, toutes les fois qu'elles se rattachaient directement à l'un des sujets traités dans les chapitres précédents. Ce n'est donc qu'un résumé sommaire et incomplet que nous présentons dans le présent chapitre; mais l'étude des questions qui y seront traitées pourra servir de guide, de modèle, pour celle de sujets en différant par quelques points, mais s'y rattachant par les principes et les lois qui y sont appliquées.

Nous nous occuperons d'abord des questions relatives à la physiologie.

1012. **Indications générales relatives à l'électro-physiologie.** — Lorsqu'on soumet un fragment de tissu organisé ou un organe plus ou moins complexe à l'action de l'électricité, on obtient des effets divers; nous devons d'abord indiquer dans quelles conditions générales il faut se placer pour opérer, en évitant, ou tout au moins en diminuant, les causes d'erreur.

Suivant la nature des recherches on a recours à des sources diverses d'électricité : tantôt, mais rarement, on fait usage de machines électriques ou de corps électrisés au préalable par l'action d'une machine; plus souvent on se sert de condensateurs; ce mode d'action ne doit être employé qu'avec précaution, d'après ce que nous avons dit de la possibilité d'avoir des décharges oscillatoires (985) dont l'effet doit être nécessairement complexe et peut différer notablement de celui d'une décharge simple.

Dans un très grand nombre de cas, on fait usage de courants continus pour

la production desquels on peut employer une pile quelconque. La résistance des tissus organisés étant grande, en général, il résulte des formules que nous avons données (867) qu'il y a intérêt à monter les éléments en série.

Il est nécessaire, pour chaque expérience, de connaître l'intensité du courant employé afin d'être assuré de pouvoir recommencer exactement dans les mêmes conditions; il faudra donc toujours intercaler dans le circuit un ampèremètre qui fera connaître cette intensité.

Il faut, d'autre part, pouvoir faire varier cette intensité à volonté, pour changer les conditions de l'expérience. Plusieurs moyens peuvent être employés :

1° On peut faire varier la FEM de la pile employée en augmentant ou diminuant le nombre des éléments employés. Pour arriver à ce résultat sans avoir à démonter la pile, il est utile d'employer une disposition spéciale : les moyens de réalisation de cette condition sont très variés; nous en décrirons un en parlant des piles médicales.

2° On peut, sans modifier la pile, faire varier la résistance du circuit en y interposant un rhéostat à fil, un rhéostat à liquide ou une boîte de résistance. En allongeant le trajet parcouru par le courant, on diminue son intensité; il est bon, au début de l'expérience, que le circuit comprenne une certaine résistance qu'on puisse supprimer s'il est nécessaire d'augmenter l'intensité du courant.

3° On peut enfin placer le corps sur lequel on opère dans une dérivation et faire varier la résistance de l'autre branche de la dérivation : dans ce cas le courant utilisé sera d'autant plus intense qu'on augmentera davantage la résistance dans l'autre branche. Il est évident que l'ampèremètre devra être placé dans la même branche que celle où se trouve le corps en expérience.

1013. — Laissant de côté ce troisième moyen qui est le moins utilisé, on voit qu'il y a deux manières principales d'obtenir une intensité donnée, suivant qu'on agit sur la FEM de la pile, sur le *voltage*, suivant une expression qui tend à se répandre, ou qu'on agit sur la résistance du circuit. Les résultats sont-ils les mêmes dans les deux cas? La question est intéressante et mérite d'être signalée avec quelques détails, car les observateurs ne sont pas d'accord à cet égard.

Le courant qui traverse le corps en expérience ayant une intensité donnée i , la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné t est toujours égale à it , quelle que soit la manière dont sont composés le circuit et la pile. D'autre part, le corps ayant une résistance r , indépendante du courant employé, la différence de potentiel ε qui existe entre les points d'entrée et de sortie du courant dans ce corps, on a la relation

$$i = \frac{\varepsilon}{r}, \quad \text{d'où } \varepsilon = r i.$$

La différence de potentiel est donc indépendante de la manière dont on a obtenu l'intensité i .

Il en sera donc de même aussi de l'énergie disponible dans le corps, puisqu'elle est égale au produit de ε par i , produit qui, comme chacun des facteurs, est indépendant du procédé mis en œuvre pour obtenir l'intensité i .

Or, jusqu'à nouvel ordre, on ne voit pas que, dans un corps donné, l'action du passage de l'électricité puisse dépendre d'autre chose que de la quantité qui le traverse, de la différence de potentiel entre l'entrée et la sortie, ou de l'énergie disponible dans le corps même. On doit donc en conclure que les effets observés doivent être les mêmes lorsqu'un corps est traversé par un courant d'intensité donnée, quels que soient les moyens employés pour obtenir cette intensité. Ajoutons d'ailleurs que des expériences directes ont permis de vérifier ce résultat, qui est contredit surtout par des observateurs se basant sur les effets observés dans l'application de l'électrothérapie; mais, il ne semble pas qu'il y ait là des données bien précises sur les conditions réalisées et les impressions éprouvées par les malades ne sont peut-être pas toujours bien nettes. Aussi maintenons-nous l'opinion déjà formulée que lorsqu'on fait agir un courant d'intensité déterminée, les résultats sont les mêmes, qu'on ait recours pour obtenir cette intensité à des modifications de voltage, ou à des changements de résistance.

1014. — Dans un grand nombre de cas, on veut étudier ce qui se passe au moment de l'établissement ou au moment de la rupture du courant; c'est le cas, par exemple, dans l'étude des excitations des nerfs ou des muscles, car il ne se produit pas d'action pendant le passage du courant tant que l'intensité du courant reste constante. On introduit alors dans le circuit un interrupteur, soit que cet appareil soit mû à la main et produise des effets isolés pour ainsi dire, soit qu'on obtienne des interruptions périodiques en faisant mouvoir l'interrupteur par un métronome, par exemple, ou en employant l'interrupteur Trouvé.

Mais si l'on veut comparer les effets produits aux causes, comme grandeur, il faut que le circuit ne contienne aucune bobine, car sans cela les variations brusques dues à la self-induction produiraient des changements dans les conditions de l'état variable du courant, et par suite dans les effets qui se manifestent justement pendant cette période d'état variable.

La question de savoir quelle relation existe, par exemple, dans le cas que nous considérons entre la loi de variation du courant et la nature ou la grandeur de l'effet produit est très importante : il est certain que cette relation existe, mais on ne l'a pas encore déterminée. La question est à l'étude et il faut espérer que les travaux des savants qui s'en occupent en donneront la solution complète.

1015. — Enfin on peut vouloir utiliser les courants d'induction : dans

ce cas, on peut avoir besoin de faire varier soit la grandeur de ces courants, soit leur fréquence. Nous avons donné à cet égard des indications, en parlant des machines d'induction (965, 970), et il est inutile de revenir sur les détails que nous avons fournis.

Nous ferons cependant une remarque sur les expériences faites à l'aide des bobines d'induction; dans ces bobines, à partir d'une certaine grandeur au moins, le circuit primaire est relié, en deux points situés de part et d'autre de l'interrupteur, aux deux armatures d'un condensateur dont le rôle favorable n'avait pas été bien expliqué: il est probable que, par cette disposition, on arrive à réaliser les conditions de l'expérience de Hertz (989). On voit alors qu'à chaque mouvement de l'interrupteur, le corps sur lequel on opère, muscle ou nerf, est soumis non à une décharge unique, mais à une décharge oscillatoire comprenant en réalité des décharges alternatives en grand nombre. Les effets observés peuvent alors être très différents de ceux qu'aurait donnés la décharge simple, et dans ces conditions, on ne sait au juste à quoi correspond l'expérience. C'est sans doute à cette cause que sont dues des différences qu'on a observées en répétant une même expérience dans des conditions qui semblaient identiques, mais qui, en réalité, étaient différentes, s'il n'y avait pas identité pour toutes les conditions, même pour celles qui semblaient peu importantes.

L'emploi des machines d'induction magnéto-électrique évite cet inconvénient, car il n'y a jamais de condensateur.

1016. — Les machines d'induction permettent de reconnaître que les excitations physiologiques dépendent de la loi de variation du courant: c'est ainsi que ces excitations ne sont pas identiques lorsqu'on emploie la machine de Clarke à produire des courants alternatifs ou des courants redressés: les effets sont cependant absolument les mêmes dans les bobines, et ce n'est que dans le circuit extérieur que se produit le redressement.

M. d'Arsonval a montré que l'action de courants sinusoïdaux obtenus à l'aide de la machine que nous avons signalée est beaucoup moindre, toutes choses égales d'ailleurs, que celle des courants produits par une machine d'un autre type, ce qui tient à ce que, dans les courants sinusoïdaux, les variations n'y sont pas brusques, qu'elles se manifestent avec la plus grande régularité possible.

Enfin, signalons que dans les courants à fréquence extrêmement grande, tels que ceux produits dans les expériences de Hertz et de Tesla, malgré les variations de potentiel qui sont très brusques, puisqu'elles sont à la fois très rapides et correspondent à de très grandes FEM, les excitations physiologiques sont nulles ou extrêmement réduites. Ce fait curieux doit s'expliquer parce que, comme nous l'avons dit, dans ces conditions, l'électricité ne pénètre pas dans les conducteurs et reste à la surface:

les actions se produisant alors à la périphérie, les nerfs ne subissent aucune excitation.

1017. — Lorsqu'on veut faire agir un courant sur un corps organisé quelconque, certaines précautions sont à prendre; si on se borne à appliquer des électrodes en métal, même en platine, métal inattaquable, il se produit rapidement une force contre-électromotrice résultant de l'électrolyse qui a lieu: il y a polarisation des électrodes. Aussi tant dans ces expériences que dans celles qui ont pour but d'étudier les FEM développées dans les tissus vivants, convient-il d'employer des *électrodes impolarisables*.

Deux formes principales ont été employées: M. Dubois Reymond place dans deux vases en verre (fig. 499) une solution saturée de sulfate de

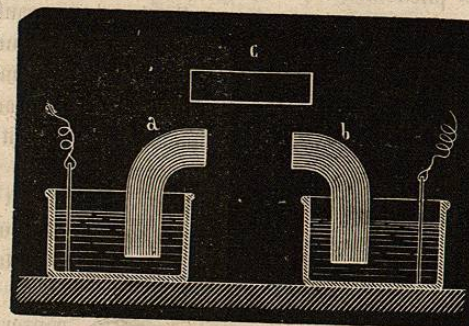


Fig. 499.

zinc; dans chacun de ces vases, on place une lame de zinc amalgamé et d'autre part une masse poreuse formée de bandes de papier buvard *a* et *b* imbibé de la même solution. Aucune action ne doit se produire: on s'en assure en réunissant les zincs aux bornes d'un galvanomètre

et en reliant les masses *a* et *b* par une bandelette du même papier. C'est ces masses *a* et *b* qui serviront d'électrodes: mais on ne peut

directement les mettre en contact avec les tissus, qui seraient attaqués par le sulfate de zinc. On interpose alors entre ces électrodes et le corps *C* en expérience, soit de petites masses d'argile, soit de petites bandelettes de papier buvard, les unes et les autres étant imbibées d'une solution aqueuse de sel marin à 7 pour 1000, cette solution étant sans action aucune sur les tissus.

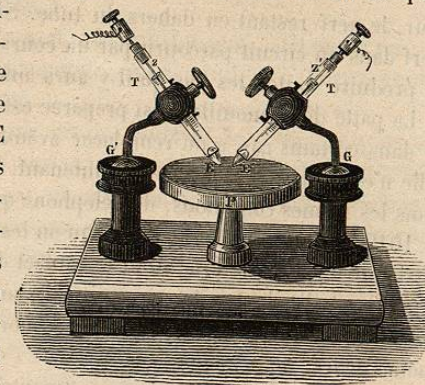


Fig. 500.

La disposition précédente n'est pas commode lorsqu'on veut agir en des points limités: on prend alors pour électrodes deux tubes de verre *T, T* (fig. 500) rétrécis à une de leurs extrémités qui est bouchée par un tampon d'argile *E* imbibée de la solution au chlorure de sodium, tampons

auxquels on donne la forme la plus commode à la partie libre. Les tubes sont remplis d'une solution saturée de sulfate de zinc : des tiges de zinc amalgamé Z,Z' plongent dans cette solution et sont reliées aux pôles de la pile. Les tubes sont maintenus dans des supports qui permettent de faire varier leur position.

M. d'Arsonval a modifié cette disposition : les tubes sont effilés et remplis de la solution de chlorure de sodium qui s'y maintient par capillarité; dans le liquide plonge un fil d'argent recouvert d'une couche de chlorure d'argent.

1018. — Nous ne pouvons entrer dans l'indication même sommaire des phénomènes produits dans les corps organisés et notamment dans les muscles et les nerfs par l'action du courant. Nous nous bornerons à dire que, comme nous l'avons indiqué, un courant qui agit sur un nerf donne lieu à des contractions des muscles animés par ce nerf, toutes les fois qu'il y a variation dans l'intensité, et notamment au moment où le courant commence et au moment où il finit. Cette action se produit même pour de faibles variations.

Cette propriété a été utilisée et on a souvent fait usage d'une patte de grenouille comme galvanoscope. La patte dépouillée de sa peau (fig. 501)



Fig. 501.

est détachée du corps, au moment où on vient de tuer l'animal, en conservant le nerf qui s'y rend; elle est placée dans un tube de verre, verni à la gomme laque pour que l'isolement soit meilleur,

le nerf restant en dehors du tube. Si alors on met une partie du nerf dans un circuit parcouru par un courant, on verra des contractions se produire toutes les fois qu'il y aura une variation d'intensité.

La patte de grenouille ainsi préparée est un galvanoscope très sensible et dans certains cas a pu remplacer avantageusement un galvanomètre. Elle n'est plus guère utilisée maintenant, parce qu'on peut faire usage, dans les mêmes conditions, du téléphone qui est plus sensible.

1019. — Certains animaux lorsqu'on les touche donnent une décharge analogue à celle que produirait le contact d'un corps électrisé ou l'action d'une bouteille de Leyde; ces animaux sont des poissons, la torpille, le silure, le malaptérure : les raies et les mormyres produisent des effets du même genre, mais moins forts.

Des expériences comparatives ont montré qu'il s'agit réellement d'une décharge électrique, identique à celle que fournit un condensateur. Nous ne saurions nous arrêter aux diverses expériences qui ont été faites à cet égard, non plus qu'aux recherches qui ont eu pour but la détermination de la cause à laquelle est due la production de l'électricité, production qui a lieu dans un organe spécial.

Il n'y a rien de semblable dans le cas de quelques individus qui, dans certaines conditions, présentent des traces non équivoques d'électrisation. Dans les exemples que nous connaissons, l'électrisation apparaissait après l'enlèvement d'un vêtement, d'une chemise de laine : il y avait simplement électrisation par frottement. On a cité d'autres cas dans lesquels l'électrisation apparaissait après que le sujet avait marché sur un tapis de laine : l'action est évidemment la même.

Mais des manifestations électriques peuvent se produire dans des muscles, dans des nerfs, même séparés du corps. On sait que Galvani expliquait les mouvements qu'il avait observés dans une paire de pattes de grenouille (fig. 502) attachées à un balcon par un fil de cuivre, en admettant qu'ils étaient le résultat d'une décharge due à l'électrisation propre de ces pattes : l'expérience n'était pas concluante à ce point de vue, par suite de la présence des métaux, car il y avait à la fois hétérogénéité des métaux en contact et action chimique possible. Mais la même expérience put être répétée en provoquant les contractions d'une patte galvanoscopique en touchant deux points de son nerf avec des parties différentes d'un autre muscle. Le fait fut plus facilement mis en évidence par l'emploi du galvanomètre, et il peut être mieux étudié encore à l'aide d'un électromètre.

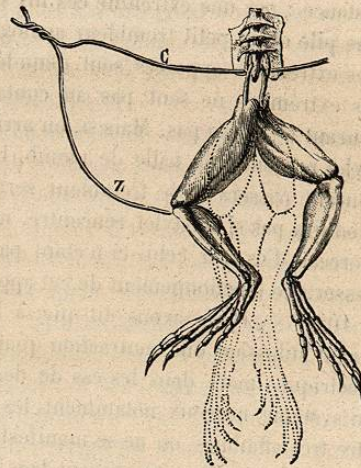


Fig. 502.

Lorsqu'on considère un muscle ou un fragment de muscle, on reconnaît que tous les points de sa surface ne sont pas au même potentiel; aussi, si on joint deux points par un conducteur métallique aboutissant à des électrodes impolarisables, ce conducteur sera traversé par un courant d'autant plus intense que la différence de potentiel est plus grande.

Des faits analogues se présentent pour les nerfs.

Nous devons nous borner à cette indication générale de faits dont il n'existe pas encore d'explication satisfaisante.

1020. **Indications générales relatives à l'électro-diagnostic et à l'électro-thérapeutique.** — Au point de vue des applications à la médecine et à la chirurgie, l'électricité peut être employée comme moyen de diagnostic ou comme moyen thérapeutique.

Comme moyen diagnostic nous avons déjà signalé l'emploi du poly-

scope, celui du microphone sous des formes variées, celui de la balance d'induction, etc. Il nous restera peu de chose à dire à cet égard.

La balance d'induction a pu être employée pour reconnaître si, à la suite d'un coup de feu, une balle de plomb était ou non restée dans les tissus. Un autre procédé avait été antérieurement indiqué par M. Trouvé et est d'un usage commode dans les cas où on peut l'appliquer. L'appareil comprend un stylet fin qu'on introduit dans la plaie résultant du passage de la balle : ce stylet est constitué par deux fils métalliques recouverts d'une couche isolante et fixés parallèlement à une très petite distance : par une extrémité ces fils sont reliés à un circuit qui comprend une pile et un petit trembleur analogue à une sonnerie électrique (919). Les extrémités opposées sont dénudées et terminées en pointes. Comme ces extrémités ne sont pas au contact, le circuit n'est pas fermé et le courant ne passe pas. Mais si, en arrivant au fond du trajet fistuleux, le stylet rencontre la balle de plomb, le circuit se fermera par le métal, le courant passera et le trembleur sera mis en action. Cette action ne se produira pas si le stylet rencontre, non un fragment de métal, mais un morceau d'os, car celui-ci n'étant pas conducteur le courant ne pourra passer. Le fonctionnement de cet appareil est donc très simple.

1021. — Nous avons dit que, à l'état normal, les muscles d'un être vivant subissent une contraction quand on soumet le nerf à une variation électrique ; mais, dans les cas de désordres de l'organisme, de maladies du système nerveux notamment, les contractions peuvent disparaître, ou être très affaiblies, ou ne se manifester que par des variations électriques supérieures à celles qui agissent dans l'état normal. On comprend qu'il y ait là un élément de diagnostic qui sera très précieux lorsqu'on connaîtra bien la nature des modifications correspondant à chaque genre d'affection. Quoiqu'on n'ait pas encore atteint ce résultat, l'électro-diagnostic rend déjà de réels services : nous devons donner quelques indications sur les méthodes employées qui sont simples d'ailleurs.

L'exploration de la contraction peut se faire à l'aide du courant continu, courant que l'on interrompt de temps à autre pour produire l'excitation : on peut placer les deux électrodes sur le muscle examiné, mais il est préférable d'employer sur ce muscle une seule électrode et de placer l'autre à distance, en un point quelconque ; cette dernière, *électrode indifférente*, devra avoir une grande surface pour que la densité du courant y soit faible. L'électrode active doit être placée dans le voisinage des points d'émergence des nerfs. On produit alors des interruptions et on note la valeur de l'intensité du courant par laquelle les contractions cessent de se manifester ; il convient également de tenir compte du signe du pôle de la pile avec lequel était en rapport l'électrode active.

L'exploration se fait d'une manière analogue avec les courants induits ; mais les indications sont moins nettes parce qu'on ne possède pas de

moyen pratique de mesurer la grandeur de l'action électrique avec quelque exactitude.

La comparaison des résultats obtenus avec ceux que l'on obtient pour un individu à l'état normal constitue l'élément du diagnostic. Les résultats ne sont pas toujours très précis, mais souvent les différences sont assez considérables pour donner des renseignements utiles.

On peut également explorer la sensibilité au point de vue électrique, en faisant jaillir une étincelle en divers points : il ne semble pas que, jusqu'à présent, on ait tiré un grand parti de ce mode d'examen.

1022. — Au point de vue curatif nous n'avons point à revenir sur les applications chirurgicales de l'électricité ayant indiqué déjà avec quelques détails le galvanocautère, l'électropuncture et la galvanocaustique ; mais nous devons nous arrêter sur l'action médicale.

Il est certain que, dans des cas déterminés, le passage d'un courant continu ou d'un courant d'induction prolongé pendant quelque temps amène dans les organes traversés des modifications avantageuses. Le mode d'action de l'électricité n'est pas déterminé ; il semble d'ailleurs que le passage de l'électricité n'agit qu'indirectement, car l'amélioration ne se fait souvent sentir que quelque temps après l'opération et qu'elle peut continuer à se manifester lentement. Cette action de l'électricité se produit-elle en modifiant par son passage même l'état des nerfs dont le fonctionnement amélioré agit favorablement sur les organes auxquels ils se rendent ? Cette explication est possible, mais n'est pas démontrée. L'électricité agit-elle en polarisant sur son passage les divers milieux qu'elle traverse, une action inverse résultant de cette polarisation même se manifestant et se prolongeant ultérieurement, mais dans des conditions telles que les réactions chimiques qui se produisent au sein des tissus amènent ceux-ci à un état plus satisfaisant que celui auquel ils se trouvaient d'abord ? L'organisme se comporterait alors comme une pile secondaire : cela peut être également, mais il n'est pas prouvé qu'il en soit ainsi.

En somme, on ne possède pas encore la théorie de l'action curative de l'électricité dans certains cas. Quoi qu'il en soit, il est utile de donner quelques indications relatives à l'application pratique de cet agent : nous parlerons surtout des courants continus pour lesquels seulement interviennent des indications dérivées de la théorie, la question des courants faradiques étant moins avancée à cet égard.

1023. — Il doit être à peine nécessaire de dire que l'agent curatif étant un médicament, il importe de le doser ; on ne sait pas encore, il est vrai, dans tous les cas, si c'est la quantité d'électricité qui intervient (comme cela paraît être certainement pour l'électrolyse, au moins entre certaines limites), si c'est plutôt l'intensité du courant, la différence de potentiel ou l'énergie disponible ; mais, toutes choses égales d'ailleurs, ces divers éléments dépendent de l'intensité du courant, qu'on détermi-