

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern
Band: - (1890)
Heft: 1244-1264

Artikel: Étude sur la quantité des courants d'induction employés en électrothérapie
Autor: Stauffer, Henri
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-319038>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Dr. Henri Stauffer.

ÉTUDE

SUR LA

QUANTITÉ DES COURANTS D'INDUCTION

EMPLOYÉS EN

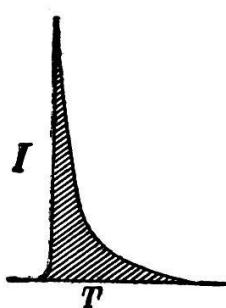
ÉLECTROTHÉRAPIE.

Le rôle de plus en plus considérable que joue dans ces dernières années l'électricité au point de vue thérapeutique, a engagé les médecins à se servir, eux aussi des unités de mesure scientifiques employées par les physiciens. Ces mesures, définitivement adoptées au congrès d'électricité tenu à Paris en 1881 sont maintenant d'un emploi journalier et ont remplacé celles quelque peu arbitraires dont on se servait jusqu'alors. Elles nous permettent de donner un caractère toujours plus scientifique aux observations se rapportant aux effets de l'électricité.

Nous mesurons, en électrothérapie, la force électro-motrice en Volts, la résistance en Ohms, l'intensité des courants en Ampères, ou plutôt en Milliampères; dans les applications de l'électrolyse on pourrait même tenir compte de leur quantité, c'est-à-dire du produit de l'intensité par le temps, et l'exprimer en Coulombs ou fractions de Coulomb. Quand nous faisons usage des décharges de condensateurs, nous nous servons encore d'une cinquième unité, celle de capacité: le Microfarad.

Ces différentes unités n'ont été cependant appliquées qu'aux courants galvaniques, ou qu'aux décharges de condensateurs. Les courants d'induction, dont nous nous servons plus fréquemment encore en thérapeutique, n'ont pas été mesurés jusqu'à présent d'une manière exacte, et pourtant, le besoin d'avoir une graduation rigoureuse se fait vivement sentir. En effet, on emploie souvent les courants faradiques dans un but diagnostique pour déterminer exactement la diminution ou l'exagération pathologiques de l'excitabilité, et il est évident qu'il serait précieux de pouvoir mesurer d'une manière précise et scientifique les courants excitateurs.

Rappelons en quelques mots les qualités physiques spéciales à ces courants.



On sait que les courants faradiques ont une durée excessivement courte, et n'arrivent jamais à l'«état permanent»; les décharges d'induction sont continuellement en «état variable»; leur intensité maximale, qui est probablement*) proportionnelle à leur force électro-motrice et inversement proportionnelle à la résistance du circuit, ne garde pas un instant sa valeur primitive; le potentiel baisse successivement et la décharge peut être représentée graphiquement par une courbe asymptotique (Fig. 1), qui se rapproche de l'abscisse sans jamais l'atteindre.

Il en est de même des décharges de condensateurs. Ici, comme pour les courants d'induction, une quantité *déterminée* d'électricité, s'écoule sous un potentiel initial *déterminé*, qui ne se renouvelle pas, comme dans la pile, dans laquelle la tension est maintenue constante par le travail chimique de l'élément.

Au début de la décharge, le courant atteint une intensité maximale proportionnelle à la force électromotrice; une certaine quantité s'écoule, le niveau électrique baisse, et, dans l'espace de temps suivant, le potentiel étant moins élevé, le flux électrique est plus lent. La tension baisse constamment: très-rapidement au début, moins vite dans la suite, et très-lentement vers la fin.

- Au moyen d'une formule employée par les techniciens dans leurs recherches sur la capacité des câbles, on peut, si l'on connaît:

- 1^o La tension en volts de la batterie de charge,
- 2^o la capacité en microfarads des condensateurs, et
- 3^o la résistance totale du circuit,

calculer la durée de la décharge et construire graphiquement la courbe qui la représente. Cette formule est: $T = 2,303 \times F \times R \log \frac{V}{v}$; 2,303 représentant le rapport constant des logarithmes népériens aux logarithmes vulgaires, F la capacité en Microfarads, R la résistance en Ohms, V le potentiel initial, et v le potentiel à un moment quelconque de la décharge.

Il est à remarquer que la durée de la décharge représentée par une courbe asymptotique étant infinie, on ne peut la calculer jusqu'au

*) Des travaux récents tendent à mettre en doute l'exactitude des lois de Ohm pour les courants d'induction de tension élevée. — Voir à ce sujet: *Kraiewitsch: Ueber die Anwendung der Ohm'schen Gesetze auf die inducirten Ströme*, im Repertorium der Physik, 25. Band, 1889.

potentiel 0, mais on doit se contenter de la faire jusqu'à un potentiel inférieur quelconque.

Si nous supposons par exemple que la capacité d'un condensateur F est de 0,007 Microfarad, la résistance du circuit 5000, le potentiel $V = 70$ Volts, et $v = 5$ Volts, on trouvera alors que la tension initiale de 70 Volts tombe de

Volts Amyère	70 à 65 Volts en	2,594 Millionièmes de seconde.
70 0.014	65 „ 60 „ „	2,801 „ „ „
65 „ 0.013	60 „ 55 „ „	3,045 „ „ „
60 „ 0.012	55 „ 50 „ „	3,336 „ „ „
55 „ 0.011	50 „ 45 „ „	3,688 „ „ „
50 „ 0.010	45 „ 40 „ „	4,123 „ „ „
45 „ 0.009	40 „ 35 „ „	4,674 „ „ „
40 „ 0.008	35 „ 30 „ „	5,396 „ „ „
35 „ 0.007	30 „ 25 „ „	6,382 „ „ „
30 „ 0.006	25 „ 20 „ „	7,811 „ „ „
25 „ 0.005	20 „ 15 „ „	10,070 „ „ „
20 „ 0.004	15 „ 10 „ „	14,193 „ „ „
15 „ 0.003	10 „ 5 „ „	24,102 „ „ „
Total: 92,215		

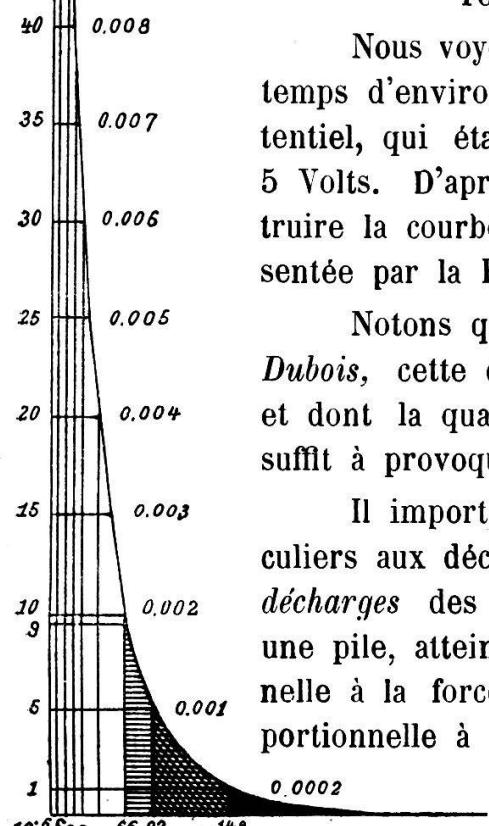


Fig. 2.

Bern. Mittheil. 1890.

Nous voyons donc que, dans le court espace de temps d'environ 92 millionièmes de seconde, le potentiel, qui était au début de 70 Volts est tombé à 5 Volts. D'après ces chiffres, il est facile de construire la courbe de la décharge. Celle-ci est représentée par la Figure 2.

Notons que d'après les recherches du Docteur Dubois, cette décharge dont la durée est si courte, et dont la quantité n'atteint pas 0,5 Microcoulomb, suffit à provoquer la contraction musculaire.

Il importe de bien saisir les caractères particuliers aux décharges et la différence qui sépare les décharges des courants : Le courant, fourni par une pile, atteint rapidement une intensité proportionnelle à la force électromotrice et inversement proportionnelle à la résistance du circuit, et se maintient à cette intensité aussi longtemps qu'il reste fermé. On peut le com-

Nr. 1253.

parer à l'écoulement d'une colonne d'eau contenue dans un vase, le niveau étant maintenu constant par un tuyau d'afflux (Fig. 3). Pour ces courants constants, la *quantité* est directement proportionnelle à l'intensité (I), et à la durée (t), et est représentée par la formule : $Q = I t$.

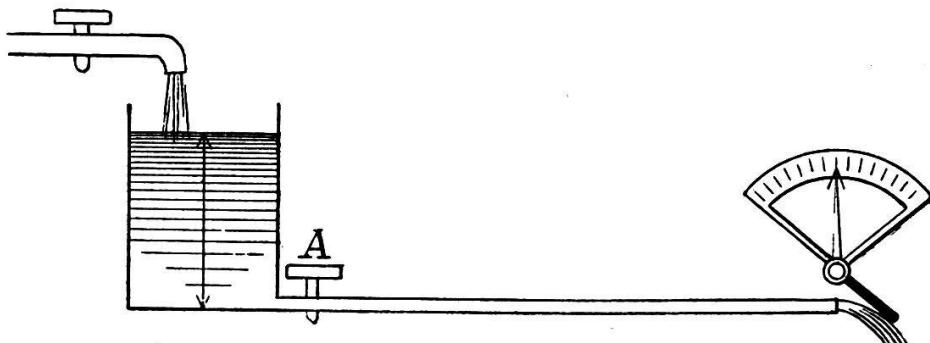


Fig. 3.

Par contre dans les décharges de condensateurs, le potentiel ne se maintient pas à un niveau constant; la quantité diminue par le fait même de l'écoulement d'électricité et l'intensité varie d'un instant à l'autre suivant une courbe différentielle. La quantité n'est plus simplement le produit de $I \times t$, mais elle est un produit différentiel suivant la formule $\int I dt^*$).

Cette courbe de décharges de condensateurs représente aussi une décharge d'induction, par exemple celle du courant d'ouverture, à supposer, que rien ne vienne modifier la forme de la courbe, c'est-à-dire que rien ne s'oppose à l'ascension brusque du courant. Nous verrons que les appareils d'induction ne réalisent nullement cette condition.

Tant pour les décharges de condensateurs, dont nous avons donné la courbe, que pour les courants d'induction qui leur ressemblent, on ne peut donc parler d'intensité dans le sens propre du mot, ni l'évaluer par exemple en Ampères; l'on peut, par contre, mesurer facilement à l'aide du galvanomètre la *quantité* du courant, c.-à.-d., le *produit de son intensité par sa durée*.

On s'est servi de ce procédé à diverses reprises: le professeur *Fick* (de Zürich) a déjà gradué autrefois ses appareils d'induction d'après les déviations du galvanomètre**) et depuis lors, nombre de

*) Dr. *Dubois*, Privat-Docent à Berne: Untersuchungen über die physiologische Wirkung der Condensatorenentladungen (in «Mittheilungen der Naturforschenden Gesellschaft». Bern 1888).

**) *Fick*: Untersuchungen aus dem physiologischen Cabinet der Zürcher Hochschule. Wien 1869.

physiologistes ont suivi son exemple, en se servant de méthodes analogues. Nous voyons même maintenant des constructeurs comme *Gaiffe* fils à Paris livrer au public médical des appareils qui sont munis d'une échelle exprimant les quantités en Microcoulombs*).

Nous avons à examiner la valeur théorique et pratique d'une graduation basée sur la déviation galvanométrique, et nous sommes obligés pour cela d'entrer dans certains détails, connus du reste, sur la nature des courants d'induction et de déterminer quels sont les facteurs importants qui en augmentent la quantité ou font varier l'effet physiologique.

La quantité d'un courant d'induction dépend:

- 1^o De l'intensité du courant galvanique inducteur.
- 2^o Du nombre plus ou moins considérable des tours de fil dont se composent les bobines primaire et secondaire.
- 3^o Du degré d'emboîtement de ces deux bobines: le maximum de courant étant atteint quand l'emboîtement est complet.
- 4^o De l'absence ou de la présence du noyau de fer doux dans l'intérieur de la bobine primaire.
- 5^o De la résistance totale du circuit induit.

Tous ces facteurs influent sur la *quantité* du courant, et il est facile d'en constater les variations au galvanomètre balistique.

Par contre, l'action physiologique peut être modifiée profondément par des procédés qui ne font nullement varier la *quantité*, mais qui changent la forme de la courbe représentant la décharge. A quantité égale, un courant d'induction peut avoir, soit une haute tension (ou en fonction de la résistance une haute intensité maximale), et une courte durée, soit une tension faible et une durée plus longue. Le produit $Q = \int I dt$ peut rester le même dans les deux cas, et pourtant l'effet physiologique est totalement différent.

Le plus ou moins de brusquerie dans la fermeture ou la rupture du courant du circuit inducteur modifie considérablement la forme de la courbe: plus la rupture est franche, plus le courant d'ouverture a de tension. La présence ou l'absence d'un circuit voisin dans lequel peuvent naître des courants d'induction, agit d'une manière analogue, car l'on sait qu'on peut faire varier l'effet physiologique du courant primaire (extra-courant), par l'emboîtement d'une bobine secondaire dont le circuit est fermé.

*) Voir: Rapport sur l'Electrophysiologie fait par *M. d'Arsonval* au congrès des électriques de 1889 à Paris, in «l'Electrothérapie», Numéro de Novembre 1889.

On emploie aussi comme moyen de graduation le tube de cuivre de *Duchenne* que l'on introduit entre la bobine inductrice et la bobine induite.

Ces procédés ne font pas varier l'effet galvanométrique des courants, mais ils influent profondément sur leurs effets physiologiques.

Les appareils d'induction employés par les médecins dans un but thérapeutique sont extrêmement variés: les uns sont construits sur le modèle du chariot de *Dubois-Reymond*, mais composés de bobines très-différentes, et dont le degré plus ou moins complet d'emboîtement servira à augmenter ou à diminuer l'effet physiologique. Pour d'autres, la graduation de l'action physiologique se fait par le déplacement du noyau de fer doux, ou par l'introduction du tube de *Duchenne*. Il est évident que, dans ces conditions, il est difficile de comparer entre eux ces divers appareils construits sur des modèles si différents; et qu'il est impossible, même en faisant usage des instruments de mesure exacts (galvanomètre balistique), d'arriver à une graduation, même approximative.

Nous n'en citerons qu'un exemple: Avec les appareils dans lesquels la graduation est obtenue par l'emboîtement plus ou moins complet des bobines, les déviations galvanométriques, comme du reste les effets physiologiques diminuent avec l'écartement: il est donc possible de les graduer d'après l'amplitude de ces déviations. Par contre, nous ne pouvons graduer au galvanomètre un appareil d'induction dont l'action physiologique est modifiée par l'introduction du tube de cuivre de *Duchenne*: que le tube soit introduit tout-à-fait ou retiré complètement, la déviation galvanométrique reste la même, et pourtant l'effet physiologique est très-different. La présence du tube, comme nous l'avons vu plus haut ne fait que modifier la forme de la courbe et diminue l'intensité en augmentant la durée du courant: le produit, c'est-à-dire la quantité, restant le même.

Ce n'est donc que pour les appareils à chariot que l'on peut tenter la graduation au galvanomètre.

Quelques mots sur ce dernier instrument et sur l'emploi qu'on en fait pour mesurer les courants d'induction:

Sous influence d'un courant galvanique qui, en vertu de sa force électro-motrice constante, garde, aussi longtemps qu'il est fermé, son intensité maximale, le galvanomètre dévie d'une manière permanente, et l'intensité se mesure, dans les conditions ordinaires, par la tangente

de l'angle de déviation. Par contre, les courants d'induction, de même qu' les décharges de condensateurs (courants d'une durée excessivement courte), ne peuvent produire des déviations permanentes ; ils n'impriment à l'aiguille qu'un choc excessivement court, et la physique démontre que la *déviation maximale* de l'aiguille mesure *la quantité du courant*.

Cette quantité est, dans ce cas, proportionnelle au sinus du demi-angle, ou, pour des déviations aussi petites que celles auxquelles nous avons généralement affaire, proportionnelle à l'angle lui-même.

Cette loi n'est vraie cependant, que lorsque la durée de ces courants est excessivement courte par rapport à la durée d'oscillation du galvanomètre ; celui-ci doit avoir un aimant d'un certain poids, être doué d'une certaine inertie, et dépourvu d'*«amortisseurs»*. Un galvanomètre de ce genre porte habituellement le nom de *galvanomètre balistique*.

Constatons ces faits avec un appareil d'induction quelconque : prenons par exemple celui qui nous a servi dans la plupart de nos expériences :

C'est un appareil de *Reiniger* construit sur le modèle du chariot de *Dubois-Reymond*.

La bobine primaire, faite d'un fil de cuivre de 0,8 mm de diamètre a une résistance de 3,87 Ohms. La secondaire est formée de 10050 tours de 0,2 mm ; elle a une résistance de 1030 Ohms. L'appareil est pourvu d'un noyau de fer doux et est actionné dans cette expérience par un élément *Callaud* de grand volume, d'une force électro-motrice de 1 Volt, et d'une résistance de 1,6 Ohm ; l'intensité du courant inducteur sera donc, d'après la formule

$$\frac{1}{3,87 + 1,6} = \frac{1}{5,47} = 0,182 \text{ Ampère.}$$

Le galvanomètre dont nous nous sommes servi est un instrument d'*Edelmann* construit tout d'abord pour mesurer les courants galvaniques pour des usages thérapeutiques ; il est gradué en centièmes de Milliampère ; l'aimant, en forme de fer à cheval, est très-lourd et se meut dans un cylindre de cuivre, destiné à en diminuer les oscillations : but qui n'est guère atteint du reste, étant donné le poids de cet aimant sur lequel est encore fixé une longue tige marquant les Milliampères. Nous y avons fait adapter un miroir, pour pouvoir opérer la lecture à distance (nous nous mettons en général pour cela à 2,75 m du galvanomètre). Malgré son amortisseur de cuivre, que nous ne pouvons enlever, cet instrument possède encore toutes les qualités nécessaires

pour en faire un galvanomètre balistique. Nous avons pu le constater du reste par des expériences de contrôle faites avec les instruments du laboratoire de physique de l'Université, et qui ont été mis obligeamment à notre disposition par Monsieur le Professeur *Forster*.

Il nous est donc facile de noter avec notre instrument les déviations proportionnelles aux quantités, et d'en donner un tableau: C'est naturellement une graduation en unités arbitraires.

1^{re} Expérience.

En opérant sur un circuit de 5936 Ohms (galvanomètre = 4906 Ohms. Bobine secondaire = 1030), nous obtenons les résultats suivants:

Distance des Bobines:	Divisions galvanométriques:
0 mm (c'est-à-dire emboîtement complet)	120
10	116
20	97
30	91
40	85
50	76
60	66
70	55
80	46
90	37
100	27
110	18
120	13
130	8
140	5
150	3,5
160	2,25
170	1,75
180	1,25
190	1
200	1

Nous pourrions noter les résultats de cette expérience sur le chariot lui-même; ceci remplacerait alors la graduation habituelle en millimètres, et indiquerait approximativement la progression des quantités.

Au lieu d'exprimer les quantités fournies par les courants d'induction par des divisions galvanométriques arbitraires, nous pourrions,

semble-t-il, comparer les chiffres indiqués par l'aiguille du galvanomètre avec ceux fournis par des décharges de condensateurs donnant une quantité connue d'électricité. Nous aurions ainsi la valeur en Coulombs (ou plus exactement en Microcoulombs) d'un courant d'induction donné. C'est ce que nous pouvons faire facilement: Nous constatons d'abord que la décharge d'un condensateur de 1 Microfarad de capacité, chargé au potentiel de 1 Volt et contenant par conséquent 1 Microcoulomb, fait dévier l'aiguille du galvanomètre de 5,0 divisions. Par un calcul excessivement simple: diviser par 5,0 les chiffres des déviations, nous obtiendrons leur valeur en Microcoulombs.

Voyons ce que nous donnerait alors l'expérience que nous venons de citer, en Microcoulombs:

Distance des Bobines:	Déviations au galvanomètre:	Microcoulombs:
0	120	24
10	116	23,2
20	97	19,4
30	85	18,2
40	91	17
50	76	15,2
60	66	13,2
70	55	11
80	46	9,2
90	37	7,4
100	27	5,4
110	18	3,6
120	13	2,6
130	8	1,6
140	5	1
150	3,5	0,7
160	2,25	0,45
170	1,75	0,35
180	1,25	0,25
190	1	0,2
200	1	0,2

Cette manière de mesurer les courants semble précise, mais reste illusoire, car pour que les chiffres obtenus conservent leur valeur, nous devrions opérer absolument dans les mêmes conditions de résistance totale. Les valeurs en Microcoulombs seront autres si le résistance change, comme le montre l'expérience suivante:

2^{me} Expérience.

Nous fermons le courant induit sur une résistance de graphite de 12500 Ohms, nous avons donc dans le circuit une résistance totale de 18436 Ohms (Rhéostat de graphite 12500; galvanomètre 4906, et Bobine 1030 Ohms), et nous obtenons dans ces conditions les chiffres suivants :

Distance des Bobines:	Déviations:	Microcoulombs:
0	39	7,8
10	37	7,4
20	35,5	7,1
30	32,5	6,5
40	29	5,8
50	26	5,2
60	21,5	4,3
70	18,5	3,7
80	15	3
90	12	2,4
100	8,5	1,7
110	6,25	1,24
120	4	0,8
130	2,75	0,55
140	1,50	0,30
150	1	0,20
160	0,75	0,16
170	0,75	0,15
180	0,50	0,10
190	0,50	0,10
200	0,25	0,05

On voit, en comparant cette expérience avec la précédente, que la quantité est inversement proportionnelle à la résistance du circuit total: Sur la résistance de 5936, l'appareil nous donne pour l'emboîtement complet des bobines 120 divisions et à 200 mm de distance 1 division de déviation; tandis qu'avec la résistance de 18436 Ohms, nous n'avons plus que 39 divisions de quantité maximale, et que 0,25 à 200 mm.

Démontrons cette relation entre la résistance du circuit et la quantité: Les résistances sont dans les proportions:

$$\frac{18436}{5936} = \frac{100}{32}.$$

Nous devons donc avoir entre les déviations la même proportion. Nous voyons en effet, que si nous faisons ce calcul pour la distance de 0 mm nous trouvons:

$$\frac{100}{32} = \frac{120}{x} \text{ d'où } x = 38,4, \text{ tandis}$$

qu'expérimentalement nous trouvons 39. De même à 100 mm nous obtenons sur la petite résistance une déviation de 27 divisions, et sur la grande une de 8,5. Ces chiffres sont dans la proportion de 100 à 31,4 au lieu de 32 que nous indique le calcul précédent.

Nous voyons qu'il est illusoire de graduer les appareils en Microcoulombs, les chiffres obtenus variant continuellement non seulement suivant l'intensité du courant inducteur que l'on pourrait à la rigueur maintenir constant, *mais surtout suivant la résistance totale du circuit induit*.

La seule manière de graduer un de ces appareils est de le faire en % de sa quantité maximale, et nous pouvons représenter par une courbe les variations de cette quantité. La figure ci-contre (Pl. 1) représente la courbe ainsi établie pour notre appareil (bobine primaire à noyau de fer doux et bobine secondaire fil fin).

L'ordonnée indique de 5 en 5 les valeurs en pour cent (%) de quantité et l'abscisse, les distances d'emboîtement des bobines de 10 en 10 millimètres:

Cette courbe nous montre que les quantités ne sont nullement proportionnelles aux divisions millimétriques indiquant le degré de l'emboîtement des bobines. Tant que celles-ci ne sont pas emboîtées l'une dans l'autre, d'assez grands changements de distance ne font varier que très-peu la quantité du courant. Par contre, aussitôt que nous arrivons à 150 mm, c'est-à-dire là où nos deux bobines commencent à être en contact, la quantité croît beaucoup plus rapidement, comme l'indique l'ascension très-rapide de la courbe. Vers 40 mm environ, la courbe monte moins brusquement, et un rapprochement de 1 centimètre augmente moins la quantité qu'auparavant.

Les partisans d'une graduation en unités de quantité (Microcoulombs) pourraient nous objecter que, en mesurant dès le début de l'expérience la résistance totale du circuit, on pourrait cependant calculer en Microcoulombs la quantité des décharges. Ainsi, nous avons vu que notre appareil donnait sur une résistance de 5936 Ohms une quantité de 24 Microcoulombs à 0 mm d'emboîtement des bobines; si nous mesurons la résistance du circuit dans une expérience physiologique et que nous la trouvions double de 5936, c.-à.-d. 11872, il est évident que la quantité serait alors égale à 12 Microcoulombs.

Toutes choses égales d'ailleurs, les déviations étant inversement proportionnelles à la résistance totale du circuit, on pourrait en conclure qu'il suffit de connaître en Ohms cette résistance, pour arriver à apprécier en unités de quantité (Microcoulombs) la valeur de la décharge ; il faudrait donc dans chaque cas mesurer la résistance du corps. *Or, cette mesure de la résistance du corps est impossible, par le seul fait qu'elle varie d'un instant à l'autre, et particulièrement sous l'influence même des courants qui le traversent.*

C'est un fait connu depuis assez longtemps, et mis en relief, par des expériences nombreuses de divers auteurs, que *les courants galvaniques* diminuent dans d'énormes proportions la résistance de la peau. Nous ne reviendrons pas en détail sur ce sujet suffisamment travaillé déjà, mais nous rappellerons seulement que cette diminution de résistance de la peau a été attribuée à 3 causes principales :

1^o Le courant produit aux deux pôles des *effets électrolytiques* qui imbibent l'épiderme d'acides et d'alcalis ; ces derniers conduisent mieux que les solutions salines dont ils dérivent et macèrent de plus la couche cornée de l'épiderme, ce qui contribue aussi à faciliter le passage du courant.

2^o L'action électrolytique du courant est accompagnée de phénomènes de transport : *cataphorèse*. Un véritable transport de liquide se fait du pôle positif au pôle négatif et augmente aussi la conductibilité de l'épiderme. Ces deux phénomènes physiques déterminent à eux seuls une forte diminution de la résistance, aussi obtient-on sur le cadavre des résultats analogues à ceux que l'on a constaté sur le vivant.

Cette diminution est souvent si considérable et si *prompte* que nous soupçonnons que, même dans les expériences sur le cadavre, d'autres causes physiques viennent augmenter les déviations produites par un potentiel plus élevé.

Cependant, la diminution de résistance est encore plus marquée lorsqu'on opère sur le vivant, parce que, à ces deux actions physiques, il s'en ajoute une troisième physiologique : *la dilatation des vaisseaux*. Chacun sait que la galvanisation de la peau produit aux deux pôles une plaque érythémateuse d'autant plus forte que le courant était plus intense et a eu plus de durée.

Quelques expériences superficielles et des considérations théoriques avaient fait admettre que les courants d'induction particulièrement les décharges isolées, ne pouvaient avoir sur la résistance de la peau aucune influence marquée. Les effets d'électrolyse, de catapho-

rèse, de dilatation vasculaire, tout en étant très-prompt, demandent pourtant un certain temps à s'établir, et il semble au premier abord impossible que la décharge d'induction dont la durée se mesure par millionnièmes de seconde puisse produire cet effet.

Il y a quelque temps, de curieuses expériences faites par le Dr. Gaertner (privat-docent à Vienne, en Autriche) ont démontré*) que la résistance du corps est variable aussi sous l'influence des courants d'induction; *qu'elle est plus petite pour le courant d'ouverture que pour celui de fermeture.*

Après avoir rappelé les phénomènes bien connus de la prédominance physiologique du courant d'ouverture sur celui de fermeture, Gaertner fait remarquer qu'elle tient à la différence de tension des deux courants.

Dans les expériences physiologiques où l'on opère sur le nerf mis à nu, cette différence de tension suffit, suivant lui, à expliquer la différence de l'action physiologique.

Chez l'homme, dit-il, ce fait est encore beaucoup plus marqué. Il admet qu'une autre cause vient en plus favoriser l'action du courant d'ouverture. On sait que les deux courants, celui d'ouverture et celui de fermeture lancés sur un circuit où est intercalé un galvanomètre, donnent les mêmes déviations parce que, malgré leurs tensions différentes, ils ont la même quantité: Le courant d'ouverture a une forte tension et une courte durée, et celui de fermeture une tension faible, mais une durée plus longue, et le produit reste le même, comme nous l'avons dit plus haut.

Par contre, si on intercale dans le circuit le corps humain, on constate un fait curieux:

Les déviations galvanométriques se trouvent être plus grandes pour le courant d'ouverture que pour celui de fermeture, et lorsqu'on laisse marcher le trembleur, l'aiguille, au lieu de rester au 0, comme l'indique la physique (poussée qu'elle est par deux courants égaux et de sens contraire), dévie fortement dans le sens du courant d'ouverture.

Ces faits étant nouveaux, nous tenons à traduire littéralement Gaertner. Voici ce qu'il dit à ce sujet:

Lorsqu'on observe les décharges isolées d'induction on constate une forte prédominance du courant d'ouverture, la déviation produite par ce courant étant beaucoup plus grande que celle du courant de

*) Gaertner: Ueber den electrischen Widerstand des menschlichen Körpers gegenüber Inductionsströmen. Wien, Medic. Jahrbücher 1889.

fermeture. En faisant marcher le trembleur, l'aiguille dépasse aussitôt l'échelle et reste dans cette position aussi longtemps que le courant tétanisant agit, comme si elle ne recevait des secousses que du courant d'ouverture et que celui de fermeture n'eût plus aucune influence.

Von Fleischl avait constaté un phénomène semblable sur le nerf de la grenouille. Nous y reviendrons plus loin et nous nous bornons à indiquer les conclusions du travail que nous venons d'analyser :

Gaertner s'exprime comme suit :

1^o La résistance du corps humain, pour les courants d'induction varie suivant la tension du courant. Plus la tension est grande, plus la résistance est petite.

2^o A une distance égale d'emboîtement des bobines, le corps oppose une résistance moins considérable au courant d'ouverture qu'à celui de fermeture.

3^o Si le corps est intercalé dans le circuit, l'aiguille du galvanomètre est toujours déviée d'un côté, quand on fait marcher le trembleur. La déviation s'effectue dans le sens du courant d'ouverture.

4^o Ces faits expliquent, en partie, l'effet physiologique plus grand du courant d'ouverture chez l'homme.

Ces faits intéressants demandaient à être contrôlés. Or il est facile de constater que les résultats annoncés par *Gaertner* sont justes et que la résistance du corps varie sous l'influence des courants d'induction. Elle est plus petite pour les courants à haute tension que pour ceux à tension faible.

Signalons à l'appui quelques expériences probantes :

3^{me} Expérience.

Le courant inducteur est fourni par 4 Callaud d'une force électromotrice de 1 Volt et d'une résistance de 1,5 Ohm environ, circulant sur la bobine inductrice d'une résistance de 3,87 Ohms, ce qui nous donne en chiffres ronds une intensité de $\frac{4}{10} = 0,4$ Ampère pour le courant inducteur.

La bobine secondaire (fil fin) a 10050 tours de fil et une résistance de 1030 Ohms ; le galvanomètre environ 5000 Ohms et le corps du sujet en expérience une résistance inconnue.

L'électrode positive est placée sur la partie inférieure du bras ; la négative sur la face postérieure de l'avant-bras. Nous constatons

l'existence d'une légère force électromotrice dans le circuit, nous donnant à gauche, c.-à.-d. dans le sens du courant d'ouverture, une déviation de 3 divisions (nous verrons plus loin que l'existence de cette force électromotrice n'empêche nullement la constatation du phénomène). Les fermetures et ouvertures se font au moyen d'une clef de Morse ordinaire, donnant un contact très-franc, ainsi que l'indique la constance des résultats.

L'expérience étant disposée comme nous venons de l'indiquer, nous notons les déviations obtenues tant à la fermeture qu'à l'ouverture en faisant varier l'emboîtement des bobines de 10 en 10 millimètres.

Nous obtenons alors le tableau suivant:

Distances des bobines en millimètres	Déviations pour le courant de	
	Fermeture	Ouverture
120	4,5 à droite	5 à gauche
110	7,5	10
100	11,5	19
90	18	34
80	26	53
70	37	75
60	50	103
50	69	124
40	85	148
30	100	165
20	120	185
10	135	197
0	146	200

Nous voyons qu'à partir d'un certain rapprochement des bobines, les différences au profit du courant d'ouverture prennent une valeur assez élevée. Ainsi, à

120 mm d'écartement, nous n'avons qu'une plus-value de 0,5 tandis qu'à 100 mm nous avons déjà 7,5 . .

40 mm 63

à 30 mm et à 20 mm, le maximum atteint dans cette expérience: 65

Si, au lieu de produire des secousses isolées, on laisse marcher le trembleur, on obtient une forte déviation du côté gauche, c'est-à-dire, du côté du courant d'ouverture. L'aiguille dépasse l'échelle et reste déplacée aussi longtemps que le courant marche. Or, on sait que, sur une résistance métallique, les courants de fermeture ayant la même

quantité que ceux d'ouverture, une déviation permanente de l'aiguille dans un sens ne se produit pas. Au moment de la première fermeture, l'aiguille dévie d'un côté et à la première ouverture qui suivra, elle dévie dans l'autre sens ; et comme elle est toujours poussée par deux courants de sens contraire et d'égale quantité, elle se maintiendra au 0, ou ne présentera que des oscillations insignifiantes.

Il est donc très-facile, puisque nous avons ici une déviation gauche permanente de constater sur l'homme, le phénomène indiqué par Gaertner : Prédominance énorme du courant d'ouverture sur celui de fermeture, au point de vue de *sa quantité*.

4^{me} Expérience.

Cette expérience est faite dans les mêmes conditions que la précédente et sur le même sujet :

Avant de laisser marcher le courant d'induction, nous avons dans le circuit une déviation de 1 au profit du courant *de fermeture*.

Distance des bobines en millimètres	Déviation pour le courant de Fermeture	Déviation pour le courant de Ouverture
140	1 à droite	1 à gauche
120	2,5	3
100	7	13
80	16	44
60	28	88
40	53	127
20	81	170

Nous voyons qu'au début les deux courants donnent les mêmes déviations ; il est vrai qu'alors leur petitesse empêche d'en faire une lecture exacte et que le courant de polarisation était au profit du courant de fermeture. A mesure que l'emboîtement des bobines augmente, les différences deviennent de plus en plus fortes, et nous voyons, par exemple, qu'à 20 mm le courant d'ouverture est plus du double de celui de fermeture.

5^{me} Expérience.

Même appareil que pour les deux expériences précédentes. Même sujet en expérience ; nous employons cette fois-ci des *electrodes im-polarisables* en zinc amalgamé et recouvertes de ouate imbibée d'une solution de sulfate de zinc.

Nous ne constatons aucun courant de polarisation dans le circuit; et notons alors les résultats suivants :

Distance des bobines en millimètres	Fermeture	Déviations pour le courant de %	Ouverture
100	3 à droite	66	4,5 à gauche
90	4	50	8
80	6	43	14
70	8	33	24
60	10	26,3	38
50	13	23	56
40	17	20	75
30	20	21	94
20	24	20	118
10	28	22	124
0	31	24	130

Nous avons indiqué dans la colonne du milieu le rapport en % entre les déviations produites par les deux courants.

La prédominance du courant d'ouverture est très-marquée dans cette expérience. Au début, la fermeture représentait encore le 66% de l'ouverture. Ces chiffres baissent peu à peu avec l'augmentation de la tension pour aboutir à 24%.

Cette expérience est très-concluante, car grâce aux électrodes impolarisables, nous n'avons pas, comme nous l'avons dit plus haut, de courant pouvant gêner les observations. Nous voyons qu'à 0 d'emboîtement le courant d'ouverture a une quantité 4 fois plus grande que celui de fermeture. Si on laisse marcher le trembleur dans ces conditions, l'aiguille du galvanomètre dépasse l'échelle à gauche (c.-à-d. dans la direction du courant d'ouverture) et reste dans cette position aussi longtemps que le courant circule.

6^{me} Expérience.

Faites dans les mêmes conditions que la précédente, sauf que vous n'avons plus employé les électrodes impolarisables, ce qui fait que nous avons au commencement de l'expérience une déviation de trois divisions au profit du courant de fermeture. Malgré cette force électromotrice en sens contraire, le courant d'ouverture l'emporte de beaucoup sur celui de fermeture, comme l'indiquent les résultats suivants :

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Déviations pour le courant de Ouverture
150	1,5 à droite	1 à gauche
140	2	2
130	3,5	3,5
120	7	7
110	11	16
100	16	27
90	25	43
80	35	64
70	50	85
60	60	105
50	80	123
40	97	148
30	112	170
20	128	192
10	144	200
0	150	210

Une autre fois, dans les mêmes conditions, mais avec un courant de polarisation de 0,5 à gauche, nous avons eu :

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Déviations pour le courant de Ouverture
200	0,5 à droite	0,7 à gauche
190	0,9	1
180	1	1,2
170	1,2	1,3
160	1,5	1,75
150	2	2,25
140	3,5	4
130	6	6
120	10	12
110	16	21
100	22	33
90	23	48
80	45	63
70	59	85
60	73	105
50	88	125
40	105	145

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Déviations pour le courant de Ouverture
30	120	165
20	135	183
10	145	195
0	152	204

8^{me} Expérience.

Faite avec le même appareil, mais sur un autre sujet. Nous avons au commencement un courant de polarisation de 1 à gauche.

Nous expérimentons d'abord sur le bras droit, puis sur le gauche; ce qui nous a donné les résultats suivants:

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour les courants de		
	Fermeture	Ouverture	
	0,1 Bras droit	0,2 Bras gauche	0,3 Bras gauche
200	0,6	0,5	0,8
190	0,6	0,5	0,6
180	0,9	0,8	1
170	1,2	1,1	1,1
160	1,5	1,4	1,5
150	3	2	2,0
140	4	3	3,2
130	7	5,6	7,0
120	11	10	10,0
110	18	16	17,0
100	26	25	25,5
90	32	35	39
80	49	47	56
70	62	61	73
60	80	78	98
50	95	94	118
40	112	112	140
30	126	130	149
20	144	146	172
10	153	156	190
0	158	168	198

Les chiffres que nous venons d'exposer montrent clairement la prédominance du courant d'ouverture sur celui de fermeture, quand le corps est intercalé dans le circuit. Le résultat peut être exprimé graphiquement par la construction de courbes.

La première (pl. 2) nous donne la courbe en % des quantités du courant fermé sur un circuit métallique d'une résistance de 9745 Ohms, et celle des courants d'ouverture et de fermeture fermés sur le corps.

L'abscisse indique les distances d'emboîtement des bobines.

L'ordonnée donne les chiffres en % de la déviation maximale.

Nous voyons que ces trois courbes partent toutes d'un même point que nous avons fixé à 0,6 %. Aussi longtemps que l'emboîtement des bobines est peu considérable, elles ont toutes les trois la même valeur. A partir de 150 mm, la ligne — qui représente le circuit métallique s'élève assez brusquement, et atteint à 0 mm, c'est-à-dire à l'emboîtement complet des deux bobines, la quantité correspondant à 100%.

La ligne — qui représente le courant de fermeture, fermé sur la résistance du corps, s'élève plus brusquement encore, et à partir de 125 mm d'emboîtement, s'éloigne de la ligne — et finit par atteindre sa quantité maximale, c'est-à-dire de 100 %, déjà à la distance de 20 mm.

Le phénomène est plus marqué encore pour la courbe ----- qui indique les quantités du courant d'ouverture: elle est encore plus raide et atteint le maximum de 100 % à 30 mm. de distance d'emboîtement.

Il est instructif de considérer une courbe qui indique non plus les % des quantités, mais simplement les déviations galvanométriques.

C'est ce que nous avons fait dans la figure ci-contre (pl. 3).

L'abscisse représente comme plus haut, les distances entre les bobines, et l'ordonnée la quantité, c'est-à-dire les déviations galvanométriques.

Nous voyons la courbe représentée par la ligne — et marquant les quantités croissantes du courant fermé sur une résistance totale (métallique, stable) de 9745 Ohms, monter lentement jusque vers 150 mm. A partir de ce point, son ascension devient très-rapide, et elle atteint à 0 mm, c'est-à-dire à l'emboîtement complet, quantité correspondant à 188 divisions.

Nous ajoutons dans le circuit une résistance stable (rhéostat de graphite) de 12500 Ohms, ce qui nous donne une résistance totale de 18530 Ohms, c'est-à-dire presque le double de la première. La courbe pointillée indique les quantités croissantes dans ces nouvelles conditions. Nous constatons que sur cette résistance, à peu près double, les déviations sont environ la moitié de celles indiquées pour la résistance de 9745 Ohms. Nous devions du reste nous y attendre a priori, étant donné que les quantités — toutes choses égales d'ailleurs — sont en raison inverse des résistances totales du circuit.

Examinons maintenant ce qui se passe pour la ligne —, c'est à-dire pour le courant de fermeture traversant le corps. Cette ligne se confond au début avec la courbe pointillée, ce qui montre qu'à ce moment la résistance totale du circuit est certainement égale à 18530 Ohms; à partir de 120 mm, nous la voyons s'écarte de plus en plus, et aboutir à un chiffre assez élevé: 152, de déviation maximale.

Nous pouvons affirmer qu'aussi longtemps que la ligne — se confond avec la ligne pointillée, la résistance du corps est d'environ 18530 Ohms; à 0 mm, elle arrive à 152 divisions, et, puisque nous avons constaté que les déviations sont en raison inverse des résistances (voir page 14), nous pouvons calculer quelle était alors la résistance du corps, en posant la proportion :

$$\frac{152}{98} = \frac{18530}{x} \text{ d'où } x = 11946.$$

Nous voyons donc que, sous l'influence de la tension croissante, donnée au courant de fermeture par l'emboîtement progressif des bobines, la résistance diminue graduellement et n'est plus, au 0 mm de l'appareil que de 11946.

Pour le courant d'ouverture, l'écart est encore plus grand. Au début, la quantité est égale à celle du courant circulant sur une résistance de 18530 Ohms, pour une même distance des bobines ; la résistance est donc la même. A 130 mm déjà, nous voyons la ligne ----- se détacher de la pointillée ; à ce point, la résistance commence à diminuer. La courbe s'écarte de plus en plus et dans des proportions beaucoup plus fortes que la —, de la courbe du circuit de 18530 Ohms, croise à 60 mm la ligne — correspondant à une résistance métallique de 9745 Ohms, s'en écarte encore, et aboutit à une déviation beaucoup plus forte que celles obtenues par le courant de fermeture, ou par ceux fermés sur un circuit métallique puisqu'elle atteint à l'emboîtement complet des bobines le chiffre très élevé de 204.

Nous pouvons affirmer qu'à la distance de 60 mm d'emboîtement, la ligne ----- croisant la —, la résistance est à ce moment égale à 9745 Ohms pour le courant d'ouverture. Nous la voyons diminuer encore, et posant la proportion indiquée plus haut, c'est-à-dire

$$\frac{204}{188} = \frac{9745}{x},$$
 nous pouvons calculer que la résistance à l'emboîtement complet est de 8980 Ohms.

Cette courbe est extrêmement démonstrative : Par un heureux hasard, les déviations produites lorsque le corps était intercalé se sont trouvées être sensiblement égales au début aux déviations que donnait le courant fermé sur le circuit métallique. Ceci nous montre donc que la résistance du circuit avec le corps intercalé, était la même que celle du circuit métallique de 18530.

Nous voyons les deux courants diminuer la résistance à mesure que leur tension s'élève, et le courant de fermeture lui-même, auquel on attribue une tension faible, réussit à réduire la résistance du début (18530) au chiffre assez bas de 11946 Ohms. Mais c'est surtout le courant d'ouverture qui se montre doué de cette propriété de diminuer les résistances sur son passage. Il arrive déjà à l'écartement de 60 mm à réduire à environ la moitié la résistance primitive (9745 au lieu de 18530), et même il la fait descendre au chiffre de 8980 Ohms à l'emboîtement complet des bobines.

Répétons ici que ces variations de résistances sont instantanées ; qu'immédiatement après le passage du courant, la résistance reprend une autre valeur dépendant de la tension du courant qui suivra. Les chiffres des lignes — et ----- ont été obtenus par des fermetures et des ouvertures successives se répétant dans un assez court espace de temps et donnant des chiffres différents de déviations galvanométriques.

Il est donc facile de constater que la résistance du corps varie sous l'influence des décharges d'induction, qu'elle devient plus petite à mesure que la tension s'élève et qu'elle est notamment beaucoup plus faible pour le courant d'ouverture, qui est plus tendu, que pour celui de fermeture.

Nos recherches confirment donc pleinement les résultats indiqués par Gaertner.

Ajoutons que toutes les expériences qui ont été faites par divers auteurs, pour mesurer les résistances sous l'influence des courants

d'induction, ont toujours donné des chiffres de résistance notablement inférieurs à ceux obtenus en expérimentant sur des courants galvaniques. Nous reviendrons du reste sur ce point spécial.

A quoi peut tenir ce phénomène curieux de la prédominance du courant d'ouverture sur celui de fermeture, *au point de vue de sa quantité?* Lorsqu'on réfléchit à la courte durée des décharges d'induction, à leur quantité excessivement faible, incapable de produire des effets électrolytiques, cataphoriques, ou vaso-dilatateurs notables ; quand on a constaté que cette diminution de résistance n'est qu'instantanée, ne persiste pas même pour le courant de fermeture qui suit immédiatement le courant d'ouverture, il est impossible de reconnaître là le phénomène que nous connaissons déjà pour le courant galvanique.

Ce dernier, en effet, diminue la résistance de la peau par les effets que nous avons signalés ; cette diminution de résistance est parfaitement constatable plusieurs heures après l'application du courant et quelque fois même, après des électrisations successives, à plusieurs jours de distance. *C'est une vraie diminution de la résistance de la peau.*

Il nous semble impossible d'attribuer à des décharges d'induction des propriétés semblables et, cependant, le fait est là : la résistance du corps diminue pour un courant d'ouverture, reprend une valeur plus grande pour le courant de fermeture qui le suit immédiatement, pour diminuer de nouveau sous l'influence d'un deuxième courant d'ouverture ; et si on laisse le jeu libre au trembleur, la déviation se fait *uniquement* dans le sens du courant d'ouverture.

Ceci posé, nous devons admettre qu'il s'agit ici, non pas d'une résistance de la peau, mais bien d'une variation dans ce qu'on pourrait appeler la *résistance de surface, de contact ou de passage* (ce que les Allemands désignent sous le nom de Uebergangs-Widerstand).

On sait que le courant d'ouverture avec l'énorme tension que lui donne souvent l'emboîtement complet des bobines peut franchir la résistance d'une couche d'air, sous forme d'une petite étincelle. Le phénomène est facilement constatable dans les cas où l'on applique le pinceau électrique ; de même aussi quand on emploie les électrodes recouvertes de peau de chamois et imbibées d'eau, appliquées fortement sur la peau, on voit, chez certains malades dont l'anesthésie cutanée permet d'employer des courants d'induction au maximum, de petites étincelles s'échapper de la périphérie des électrodes, malgré le contact établi au centre de celles-ci.

Le courant de fermeture, ayant moins de tension, combattu qu'il est par l'extracourant, ne possède pas ces propriétés. Il ne peut pas franchir la résistance d'une couche d'air, même très-mince et est arrêté de plus encore par la minime couche d'oxyde qui peut se trouver à la surface de l'électrode.

Ces considérations nous amènent à expliquer la prédominance du courant d'ouverture de la manière suivante :

« Les électrodes de peau de daim qui sont employées en électro-thérapie ont toujours, quoique bien humectées d'eau, une surface plus ou moins rugueuse ; elles sont de plus appliquées sur la peau, dont la surface est également inégale et présente des parties peu conductrices (endroits dépourvus de glandes) et d'autres bien meilleures conductrices (ouvertures des canaux des glandes sébacées et sudoripares).

Le courant de fermeture, en vertu de sa tension minime, ne peut pénétrer qu'aux endroits où un contact vrai, presque parfait, est établi ; il en résulte que, pour ce courant, une partie seulement de la surface de l'électrode entre en ligne de compte comme étant vraiment en contact avec le corps. La résistance étant en raison inverse de la surface de l'électrode, la résistance sera donc plus grande et les déviations galvanométriques mesurant la quantité du courant seront relativement plus faibles.

Le courant d'ouverture, par contre, en vertu de sa haute tension franchira la résistance, même au point où le contact n'est pas intime. La mince couche d'air qui, à certains endroits est encore interposée entre l'électrode et la peau n'arrête pas ce courant plus tendu qui pénétrera alors, pour ainsi dire, par toute la surface de l'électrode. La surface d'application se trouve par ce fait même agrandie, et il en résulte que la quantité du courant mesurée au galvanomètre est alors beaucoup plus considérable.

Cette hypothèse demandait à être soutenue par des expériences et nous avons recouru aux démonstrations suivantes :

S'il s'agit vraiment d'une résistance de surface, il doit être possible de reproduire le phénomène signalé par Gaertner pour le corps humain, avec un électrolyte quelconque, pourvu toutefois que l'on puisse arriver à établir des résistances de surface.

Il nous a été facile dès notre premier essai de tomber sur des conditions tout-à-fait favorables.

9^{me} Expérience.

Prenant une cuvette contenant un peu d'eau salée, nous y plongeons le coin de deux électrodes carrées et employées depuis longtemps ; elles sont en cuivre nickelé, passablement oxydées, et recouvertes de peau de daim sèche sur toute la surface qui ne plonge pas dans l'eau.

Nous constatons l'existence d'un courant de polarisation provenant de ce que la surface des électrodes est oxydée à un degré variable. Ce courant donne une déviation de 49 divisions à gauche, qui diminue cependant peu à peu, et finit par arriver à 4 à gauche c.-à.-d. au profit du courant d'ouverture.

L'appareil d'induction et le galvanomètre étant dans les mêmes conditions que pour les expériences précédentes, nous notons :

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Ouverture
200	0,75	1
180	0,75	1,5
160	1,25	3
140	3,5	8
120	12	23
100	32	53
80	63	95
60	102	144
40	123	170

Avec le trembleur, nous avons une déviation à gauche et l'échelle est même dépassée ; il est vrai que cette déviation gauche n'est pas absolument stationnaire et qu'elle diminue peu à peu de quelques divisions.

Nous voyons dans cette expérience apparaître à un degré suffisamment marqué le phénomène que Gaertner a signalé, puisque, par exemple, pour la distance de 120 mm, le courant d'ouverture donne le double à peu près de celui de fermeture, et à 40 mm a 47 divisions de plus que lui. (123 à la fermeture et 170 à l'ouverture.) Nous ferons également remarquer qu'avec le trembleur nous avons une très-forte déviation dans le sens du courant d'ouverture.

On pourrait objecter que l'expérience n'est pas concluante puisque nous avons dans le circuit une force électromotrice au profit du courant d'ouverture, favorisant le déplacement de l'aiguille dans ce sens

et le gênant dans le sens opposé. Mais dans toutes les expériences que nous avons faites, nous avons pu remarquer que l'existence d'une petite déviation permanente due à des courants de polarisation ne gêne que très-peu le déplacement brusque de l'aiguille sous l'influence des décharges d'induction. Nous verrons dans des expériences subséquentes que la présence d'un courant au profit du courant de fermeture n'empêche pas la prédominance du courant d'ouverture de se manifester.

10^{me} Expérience.

Galvanomètre et appareil d'induction ordinaires. Nous plongeons dans une cuvette d'eau deux vieilles électrodes qui nous donnent dans le circuit une force électromotrice faisant dévier l'aiguille de 20 degrés à droite, c'est-à-dire au profit du courant de *fermeture*.

Faisant agir l'appareil d'induction, nous avons alors :

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Ouverture
200	2	1,5
190	2,8	2
180	3	3
170	3,8	3,5
160	4,5	4,5
150	7	7
140	9,5	9,5
130	16	16
120	24	24
110	38	38
100	53	52
90	70	70
80	93	93
70	115	110
60	135	135
50	158	159
40	179	178
30	200	200

Au trembleur, le galvanomètre dévie à gauche, c'est-à-dire dans le sens du courant d'ouverture. — Ici nous n'avons pas réussi à déterminer la prédominance du courant d'ouverture. Il en est de même dans les expériences 11 et 12.

Expériences 11—16.

Hauteur de la Colonne d'eau (distances des zincs)	2,5 Centimètres			2 Centimètres			1,5 Centimètre			1 Centimètre			0,8 Centimètre		
	COURANT de Fermeture		COURANT de Ouverture		COURANT de Fermeture		COURANT de Ouverture		COURANT de Fermeture		COURANT de Ouverture		COURANT de Fermeture		
150	1,2	2	2,1	3	2	2,2	2	2,5	2	3	2,2	2	2	2	3
140	7	13	13	15	10	10	11	10	11	10	10	14,5	12	12	15
130	11	17	18	22	15	15	17	18	18	22,5	18	22,5	19	19	24
120	17	21	24	28	23	23	24	25	25	28	33	33	30	30	36
110	21	24	28	30	33	33	35	35	39	45	39	45	43	43	50
100	32	34	38	40	43	43	45	45	53	58	53	58	56	56	64
90	49	51	47	49	54	54	58	67	74	74	67	74	72	72	79
80	58	60	60	63	67	67	69	82	89	89	82	89	88	88	95
70	41	44	47	49	54	54	58	67	74	74	67	74	72	72	79
60	49	51	54	56	60	63	79	82	95	112	120	112	120	120	130
50	58	60	70	73	77	77	80	103	105	125	135	125	135	135	145
40	69	75	77	77	77	77	80	103	105	125	135	125	135	137	145
30	83	84	85	88	85	88	95	114	114	135	148	138	148	148	157
20	88	89	93	95	92	95	99	122	123	148	156	148	156	161	168
10	93	94	97	99	97	99	128	128	128	156	163	156	165	168	176
0	de 0,5		2		4		2		2		2		1		

Nous avons au
commencement
de l'expérience
une déviation
à droite

Nous avons fait une série d'expériences (dont quelques-unes sont résumées dans le tableau ci-dessus [pag. 97]) en employant en lieu d'électrodes, un rhéostat liquide ordinaire composé d'un tube en

U rempli d'eau additionnée de sulfate de zinc et dans chaque branche duquel plonge une tige métallique terminée par une boule de zinc amalgamé. Ces tiges, pourvues d'une crémaillère peuvent être abaissées ou élevées, ce qui permet de diminuer ou d'augmenter la distance entre les zincs.

Dans ces expériences, nous ne voyons pas de prédominance bien nette du courant d'ouverture, particulièrement sur les résistances considérables représentées par 2 cm et 1,5 cm de colonne d'eau. Par contre une certaine prédominance s'observe sur les résistances de 1 cm et 0,8 cm, mais elle est encore trop peu considérable, pour que nous puissions en tirer des conclusions positives.

Cependant, nous étions bien persuadés qu'il s'agissait d'une résistance de surface et que notre premier résultat (expér. 9, pag. 95), était probant. Si, dans les expériences subséquentes, nous n'avons pu constater ce phénomène, c'est parce que nous n'avions pu réussir à établir une résistance de surface, un contact imparfait permettant au courant d'ouverture de montrer la prédominance qu'il doit à sa plus forte tension. Dans l'expérience 10 (page 96), nous avons eu le tort de plonger les électrodes entières dans l'électrolyte : le contact était parfait et le circuit laissait passer avec autant de facilité le courant de fermeture que celui d'ouverture.

Dans la série d'expériences (page 97), faites avec le rhéostat liquide, les conditions sont identiques : Les boules de zinc amalgamées du rhéostat plongent dans le liquide, il n'y a là aucune difficulté pour le passage du courant, aussi obtenons-nous les mêmes résultats, à peu près que pour le circuit métallique : égalité de déviations pour le courant d'ouverture et celui de fermeture.

Dans toutes ces expériences, si l'on fait marcher le trembleur à interruptions rapides, l'aiguille du galvanomètre oscille autour du zéro, comme quand le courant circule sur un circuit métallique ; ou si elle dévie dans le sens du courant d'ouverture, ce n'est que faiblement.

Une seule expérience positive conserve sa valeur, même vis-à-vis d'un grand nombre d'expériences négatives, et nous devions retrouver expérimentalement les conditions nécessaires à la production de ce phénomène. Il fallait éviter un contact intime, parfait ; augmenter en un mot ce que nous appelons la résistance de surface ou de passage, et nous avons facilement réussi à y arriver dans les expériences suivantes :

Nous nous servons toujours du même appareil; seulement, ensuite d'un accident arrivé à nos éléments Callaud, nous employons comme courant inducteur celui fourni par deux Daniell; ceux-ci ont été fermés toute la nuit sur la résistance du galvanomètre et ont donné le soir comme le matin la même déviation, ce qui prouve une constance parfaite du courant.

Nous employons deux électrodes métalliques ordinaires trempées dans de l'eau pure par un de leurs coins.

Le circuit fermé sans courant d'induction donne une déviation de 10 divisions à droite, fait important à noter, puisque nous avons affaire à un courant de polarisation assez fort, et tout-à-fait au *profit du courant de fermeture*. Malgré cela, le courant d'ouverture n'a jamais eu de déviations plus petites que celui de fermeture, mais l'a au contraire dépassé de beaucoup dans le cours de l'expérience, comme le montrent du reste les chiffres suivants:

Expérience 17.

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Déviations pour le courant de Ouverture
150	3	3
140	4	4
130	7	7
120	13	13
110	20	22
100	32	35
90	45	52
80	62	74
70	80	95
60	100	115
50	120	142
40	140	155
30	160	190
20	180	210

Au trembleur, et à 20 mm d'emboîtement l'échelle est dépassée à gauche par l'aiguille.

Comme contrôle de cette expérience, nous réunissons immédiatement après les deux fils par un serre-fils et nous obtenons sur ce circuit, purement métallique des déviations égales pour le courant de fermeture et pour celui d'ouverture, ainsi que l'indique le tableau suivant:

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Déviations pour le courant de Ouverture
150	9	9
100	75	75
70	157	157

Pour arriver à une analogie encore plus complète avec la peau rugueuse et les électrodes à surface inégale aussi, nous avons enfin fait quelques expériences, en nous servant, au lieu de deux électrodes plongées dans l'eau, d'une assez grosse orange dont la peau présente plus fortement, il est vrai, mais d'une manière analogue à celle de l'homme, cet état chagriné ou mamelonné. Les électrodes ont été d'abord simplement posées, puis ensuite maintenues fixes par une assez forte ligature. Elles ont été humectées abondamment d'eau ordinaire.

Expérience 18.

Nous avons eu les résultats suivants : Au début de l'expérience, nous constatons l'absence de toute force électromotrice dans le circuit, l'aiguille reste exactement sur le 0.

1^o Electrodes appliquées simplement sur l'orange :

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Déviations pour le courant de Ouverture
100	2	3
0	13	23

2^o Electrodes serrées sur l'orange :

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Déviations pour le courant de Ouverture
0 mm	29	34
0 mm	33	45

Ainsi, ici encore, nous voyons la grande prédominance du courant d'ouverture comme dans l'expérience précédente.

Quand nous avons expérimenté sur une orange, nous nous trouvions dans des circonstances quelque peu défavorables pour la constatation du phénomène.

Par la simple application des électrodes sur la surface de l'orange, la résistance se trouvait être considérable, aussi nous faut-il mettre l'appareil au 0, pour obtenir les minimes déviations de 13 et de 23.

Sur des résistances aussi considérables, les deux courants (Fermeture et Ouverture) ont forcément une intensité initiale peu considérable. Ils ont tous deux de la peine à franchir cette résistance, et la prédominance du courant d'ouverture est moins facilement constatale.

Nous avons pu en liant fortement les électrodes sur la surface de l'orange, obtenir des déviations plus considérables: 33 et 45; mais ce que nous avons diminué en serrant ces électrodes contre la peau de l'orange, c'est précisément en grande partie cette résistance de surface; aussi avons-nous des différences relativement minimes entre le courant d'ouverture et celui de fermeture, mais elles sont cependant toujours au profit du courant d'ouverture. Nous constatons donc le même fait que sur le corps humain et dans des proportions suffisantes pour montrer la réalité du phénomène.

Nous avons donc réussi à reproduire avec des électrolytes quelconques les phénomènes indiqués par Gaertner. Il suffit pour cela d'arranger le circuit de manière à avoir des résistances de surface, et alors le courant d'ouverture reprend sa prédominance. Nous voyons donc clairement que ce phénomène n'est pas particulier au corps humain.

Il est sans doute encore plus marqué quand on opère sur le corps, que dans les expériences où nous avons réussi à l'obtenir avec des électrolytes quelconques. C'est en effet dans les conditions ordinaires de l'électrothérapie, c'est-à-dire, lorsqu'on applique les électrodes sur la peau, que les résistances de surface sont à leur maximum. Il est difficile de réaliser avec des liquides, dans lesquels plongent des électrodes, des conditions semblables.

Il y a là quelque chose d'analogue à ce que les physiciens ont constaté à l'aide des tubes de Holtz, à soupape (*Holtz'sche Ventilröhre*). Ces tubes, dans lesquels sont placés à distances égales de petits entonnoirs en verre, laissent passer le courant d'ouverture, mais arrêtent complètement celui de fermeture.

Il ne suffisait pas, pour l'étude de cette diminution de résistance de constater qu'elle se présente dans des conditions favorables avec un électrolyte quelconque: il fallait faire encore une contre-expérience et arriver à *éliminer dans l'application du courant au corps humain, sa résistance de surface*: il fallait établir un contact aussi intime que possible entre les électrodes et la peau, et faciliter ainsi le passage pour un courant de moindre tension. Nous devions alors retrouver, malgré l'interposition du corps dans le circuit, la loi physique qui attribue aux courants de fermeture et d'ouverture la même quantité. Il nous a été facile de nous mettre dans ces conditions en employant comme électrodes les bains d'eau tiède.

Expérience 19.

En faisant plonger dans des cuvettes contenant de l'eau tiède les deux électrodes, et en mettant les pieds jusqu'à la cheville dans le liquide, nous formons ainsi un circuit fermé par le corps et qui nous donne une déviation permanente de 15 à droite, c'est-à-dire au profit du courant de fermeture.

Faisant agir le courant d'induction, nous obtenons alors les résultats suivants :

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Ouverture
150	5,5	5,5
140	8	8
130	14	14
120	23	23
110	32,5	32,5
100	46,5	46,5
90	60	60
80	79,5	79,5
70	97,5	97,5
60	116	116
50	136	136
40	156	156
30	175,5	175,5
20	192	192

et au trembleur à 80 mm 5 déviation à gauche
 70 mm 7 id.

Nous avons dans cette expérience égalité entre le courant d'ouverture et celui de fermeture, et au trembleur de légères déviations au profit du courant d'ouverture. On pourrait objecter cependant que comme nous n'avions pendant toute la durée de l'expérience une déviation permanente de 15 à droite; les déviations de l'aiguille du côté gauche ont donc été générées, tandis qu'au contraire, ce courant permanent favorisait le déplacement de l'aiguille du côté du courant de fermeture. Le phénomène de la prédominance du courant d'ouverture aurait donc été masqué par l'existence d'un courant de polarisation en sens opposé. Pour éliminer cette cause d'erreur, nous retournons les électrodes et nous obtenons ainsi un courant de polarisation donnant une déviation de 15 à gauche et favorisant par conséquent le courant d'ouverture.

Nous obtenons alors dans ces conditions les chiffres suivants :

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Ouverture
150	6	5
140	8	8
130	13	13
120	21	20
110	32	32
100	45	43
90	60	60
80	75	75
70	92	92
60	114	112
50	134	132
40	153	152
30	169	168
20	180	178

Nous voyons donc que, quelle que soit la direction du courant de polarisation, les résultats sont les mêmes; égalité pour les deux courants. C'est ce qui nous faisait dire (page 96), que l'existence d'une force électromotrice dans le circuit n'empêchait nullement la constatation de ce phénomène. En remettant chaque fois au 0, on peut très-bien faire les lectures des déviations balistiques sans tenir compte du courant permanent.

Expérience 20.

Au lieu de mettre les deux pieds dans une cuvette, nous n'en mettons qu'un seul: le droit, et nous fermons le circuit en plongeant l'index de la main gauche dans l'autre cuvette remplie d'eau additionnée de sulfate de zinc. Le galvanomètre est shunté au $\frac{1}{10}$, et nous constatons, avant de faire marcher l'appareil d'induction, une déviation de 3 divisions à droite.

Nous avons, après avoir remis au 0 :

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Ouverture
200	0,5	0,5
190	0,5	0,5
180	0,5	0,6
170	0,9	1
160	1	1

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de Fermeture	Déviations pour le courant de Ouverture
150	1,5	1,5
140	2	2
130	3	3
120	5,5	5,5
110	9	9
100	15	15
90	19	20
80	25	27
70	34	35
60	40	45
50	49	54
40	58	61
30	64	70
20	68	76
10	75	80
0	78	85

Au trembleur nous trouvons:

Distance des
Bobines en millim.

100	7	à gauche retombant rapidement à 3 et y restant
80	22	14
60	50	30
40	75	52
20	98	65
0	98	65

Nous avons encore dans cette expérience une prédominance très-faible du courant d'ouverture, quand même les électrodes donnent un courant de polarisation, très-minime il est vrai, mais au profit du courant de fermeture.

Au trembleur, et à 0 mm de distance entre les bobines (emboîtement complet) nous n'avons plus qu'une déviation de 65 divisions. Elle est plus petite déjà, et si nous ne sommes pas arrivés encore à diminuer l'effet du trembleur, c'est que nous n'avons pas réussi à éliminer complètement les résistances des surfaces.

Expérience 21.

Cette expérience est faite dans les mêmes conditions que la précédente; nous avons seulement ajouté de l'eau très-chaude et du

sulfate de zinc dans les cuvettes. Nous avons, sans courant d'induction 2 déviations à Droite; le courant de polarisation, toujours au profit de celui de fermeture, est donc encore plus petit dans cette expérience.

Nous obtenons, en faisant agir le courant d'induction, les résultats suivants :

Distance des Bobines en millimètres	Déviations pour le courant de	
	Fermeture	Ouverture
200	0,5	1
190	1	1
180	1,5	1,5
170	2,5	2
160	2,5	2,5
150	4	4
140	5	5,5
130	10	9
120	14	14
110	20	22
100	29	30
90	42	40
80	52	52
70	65	65
60	78	78
50	90	90
40	105	105
30	115	114
20	125	125
10	135	135
0	139	139

Au trembleur, l'aiguille restait au 0, poussée par des oscillations si peu considérables, que nous n'avons pas à en tenir compte, et que nous n'aurions pu les mesurer, même approximativement.

Dans l'expérience 19, nous sommes arrivés à avoir une égalité parfaite entre les déviations des deux courants, et même, en retournant les fils, le courant de fermeture l'a emporté sur celui d'ouverture.

Dans l'expérience 20, nous avions aussi réussi dans une certaine mesure à égaliser les déviations des deux courants, sans toutefois y arriver complètement; la différence la plus forte, obtenue avec l'emboîtement complet, n'est que de 7 déviations; elle est donc relativement minime.

Dans l'expérience 21, nous sommes de nouveau arrivés à obtenir des résultats absolument conformes à ceux que l'on obtient sur un circuit métallique. Nous avons, en effet, trouvé des conditions telles, que nous avons pu obtenir des déviations égales pour les deux courants, en prenant de l'eau plus chaude et contenant plus de sulfate de zinc, c'est-à-dire, en rendant le contact plus parfait et en diminuant par là la résistance de surface.*)

Conditions qui peuvent rendre difficile la constatation de ces phénomènes.

1^o Tout d'abord, la prédominance du courant d'ouverture peut être masquée, par le fait que la résistance totale du circuit est trop considérable. Nous avons expliqué ce phénomène à propos de l'expérience faite avec une orange, et démontré que, quand la résistance atteint une certaine valeur, les deux courants perdent leur intensité maximale; ils sont tous les deux arrêtés par cet excès de résistance, et c'est à peine si l'on peut quelquefois constater la prédominance du courant d'ouverture, d'autant plus que la petite amplitude des déviations, qui s'observent quand la résistance est trop grande, ne permet pas une mensuration exacte.

2^o Le phénomène peut encore être masqué par le concours de circonstances diamétralement opposées. Le circuit sur lequel nous expérimentons se compose d'un galvanomètre sensible dont la bobine a un grand nombre de tours, et offre une résistance considérable 5000 Ohms, dans la plupart de nos expériences (c'est-à-dire quand il n'est pas shunté); la bobine secondaire a 1030 Ohms; nous avons donc une résistance métallique *invariable* de 6030 Ohms.

*) Disons, à propos de la résistance de surface, qu'un auteur anglais en a constaté l'existence pour les courants galvaniques d'une intensité variant entre 2,70 et 370 Milliampères. Grâce à des méthodes de mensuration très-précises, il put la rendre évidente même pour des électrodes plongeant complètement dans le liquide. Il employait comme électrodes le cuivre, le plomb, le zinc, le platine; et comme électrolytes des solutions de sulfate de cuivre ou de zinc, le sel de cuisine, le carbonate de soude, ou l'acide sulfurique dilué. Toutes ces expériences montrent que la résistance de surface diminue quand l'intensité augmente. (Wissenschaftliche Rundschau Nr. 44, 1889: *H. R. Sankey, Versuche über den Widerstand electrolytischer Zellen* (in Proceedings of the Royal Society 1889, Vol. XLV, No. 279; page 541).

Si la résistance de l'électrolyte intercalé dans le circuit est peu considérable, les variations que pourra subir la résistance dans cette partie du circuit, ne se feront que très-peu sentir.

Supposons par exemple que l'électrolyte présente une résistance totale (Résistance vraie et résistance de surface), de 1000 Ohms environ, nous aurions alors avec nos instruments une résistance totale du circuit de 7030 Ohms (galvanomètres 5000; Bobine induite 1030; électrolyte 1000). Supposons de plus, que le courant d'induction d'une certaine tension, ait la faculté de diminuer de moitié, la résistance de l'électrolyte, celle-ci tombera alors de 1000 à 500 Ohms, et nous aurons comme résistance totale 6530. Il est évident, que dans ces conditions, les déviations ne seront pas sensiblement différentes de celles que nous aurions obtenues auparavant; l'électrolyte ne constituant qu'une partie relativement minime de la résistance totale, sa résistance propre peut varier dans des limites très-étendues sans que le phénomène devienne appréciable à la mesure.

Nous trouvons, dans les expériences 3 et 8, des preuves à l'appui de ce que nous venons de dire :

a) Dans l'expérience 3 (page 85), la résistance du circuit doit être assez considérable puisque, pour la distance d'emboîtement de 100 mm, le galvanomètre ne donne que 11,5 déviations à la fermeture et 19 à l'ouverture, et à 0 mm 146 et 200. Nous avons obtenu par contre dans d'autres expériences (non citées dans ce travail), où nous avions affaire à un circuit purement métallique à résistance totale de 6030 Ohms des déviations de 77 à 100 mm. Or nous savons que la force électromotrice restant constante, les déviations sont inversément proportionnelles aux résistances.

Nous pouvons donc calculer la résistance dans Ohms l'expérience 3 en posant la proportion :

$$\frac{19}{77} = \frac{6030}{x} = 24437,4 \text{ Ohms};$$

si nous retranchons de ce chiffre la résistance du galvanomètre: 5000 et celle de la bobine 1030, nous aurons trouvé approximativement la résistance du corps dans cette expérience-là; elle sera de 18407,4 Ohms.

b) Dans l'expérience 8 (page 89), nous avons à 100 mm des déviations de 26 et de 28, ce qui nous donne déjà la preuve que la résistance de l'électrolyte est moins considérable que dans l'expérience 3.

Calculons la résistance totale : Nous aurons :

$$\frac{28}{77} = \frac{6030}{x} \text{ d'ù } x = 16582,5$$

et, en retranchant de nouveau 6030 Ohms, il reste 10552 Ohms : cette résistance est plus petite que pour l'expérience précédente, aussi la différence entre les deux courants est-elle moins marquée dans le dernier cas, que dans le premier.

Nous basant sur ce fait que :

Pour que les phénomènes soient constatables, les résistances métalliques (résistances stables) ne doivent pas être trop considérables vis-à-vis de celle de l'électrolyte, nous nous sommes dit que la prédominance du courant d'ouverture sur celui de fermeture devait être encore plus marquée quand on emploie une bobine à résistance inférieure, et quand, en shuntant le galvanomètre, on diminue sa résistance.

Dans ces conditions, c'est alors l'électrolyte qui représente la plus forte résistance du circuit, et les moindres variations que subira celui-ci sous l'influence des courants se manifestera plus nettement. Malheureusement pour la constatation de ce phénomène, une bobine à gros fil, moins résistante, aura aussi moins de tension, et le galvanomètre shunté moins de sensibilité : les déviations deviendront par ce fait beaucoup moins considérables, et nous perdons d'un côté une partie de ce que nous gagnons de l'autre.

Nous avons employé pour ces expériences une bobine à gros fil d'une résistance de 18 Ohms. Le galvanomètre est shunté au $\frac{1}{10}$. Le sujet sur lequel nous avons opéré nous a fourni des résultats assez frappants, comme on peut le juger par les chiffres qui suivent :

Expérience 22.

Le courant de polarisation donne +2 à Droite.

Distance des Bobines	Déviations pour le courant de Fermeture	Ouverture
0 mm	0	16,5
0	0	16,5
0	0	16,5

Les fils étant retournés, nous avons maintenant le courant de polarisation dirigé dans le sens du courant d'ouverture, ce qui nous donne alors :

Distance des Bobines	Déviations pour le courant de	
	Fermeture	Ouverture
0 mm	0	20
0	0	20

c'est-à-dire que le courant d'ouverture a au moins 20 fois plus de quantité que celui de fermeture.

Citons encore une expérience faite, sans courants de polarisation, et avec le galvanomètre shunté d'abord au $\frac{1}{10}$:

Expérience 23.

Distance des Bobines	Déviations pour le courant de	
	Fermeture	Ouverture
0	0,5	14

Nous voyons donc que, pour se placer dans des conditions aussi favorables que possible à la constatation du phénomène de Gaertner; *quantité beaucoup plus forte pour le courant d'ouverture que pour celui de fermeture*, il faut:

1^o Que la résistance de l'électrolyte interposé soit assez importante vis-à-vis des résistances métalliques, pour que ses variations propres puissent se marquer au galvanomètre.

2^o Que les résistances que nous avons qualifiées de résistance de surface, de passage ou de contact soient au maximum.

Dans son travail, *Gaertner* cite sommairement des expériences faites par le Professeur *Fleischl* (de Vienne), nous les reproduirons plus au long ici, en les discutant:

1^o Il expérimente sur des nerfs fraîchement coupés: Dans une première expérience, un cordon nerveux de 12 mm de long est intercalé entre deux pinceaux, de telle façon que ses deux surfaces de section soient en contact avec ceux-ci.

Il obtient, sans courant de polarisation:

Fermeture	Ouverture
67	73
67	73

Il y a donc une prédominance du courant d'ouverture, dont nous ne pouvons cependant apprécier toute la valeur, ne connaissant ni la résistance du circuit, ni l'appareil d'induction, ni la sensibilité du galvanomètre employé.

En augmentant la force du courant (probablement par l'emboîtement des bobines) il a :

Fermeture	Ouverture
95	105
95	105

2^o Changeant un peu les conditions d'expérience, il pose le nerf sur les pinceaux et ceci d'une manière telle que le nerf, au lieu de toucher par sa *surface de section* les conducteurs, les touche par un *point de sa périphérie*.

Le courant de polarisation est de 6 à droite, c'est-à-dire au profit du courant de fermeture.

Il a alors les chiffres suivants :

Fermeture	Ouverture
68	126
87	130
83	138
93	141
93	141
92	145

Le phénomène de prédominance au profit du courant d'ouverture, se manifeste plus nettement dans cette dernière expérience, ce qui s'explique facilement :

En appliquant les pinceaux (électrodes) sur la surface de section du nerf, surface plus ou moins plane, le contact se fait plus parfaitement que dans le deuxième cas, où il les applique sur la périphérie du cylindre nerveux. Le point de contact, en effet, est ici réduit à un minimum (deux circonférences ne se touchant théoriquement que par un point mathématique). Les résistances de surface, ou de passage sont notablement augmentées ; le courant de fermeture ne passera que par le point de contact, tandis que celui d'ouverture pouvant vaincre dans une certaine mesure la résistance de la couche d'air ambiante, passera par une plus grande surface de la circonférence du nerf, et le résultat en sera une augmentation, à son profit, des déviations galvanométriques.

3^o Après ces expériences, le professeur viennois prit le même cordon nerveux, le malaxa fortement entre les doigts, le lava, et remit

*) Dr. E. von Fleischl: Untersuchungen über die Gesetze der Nervenerregungen (Sitzungsberichte der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der Academie der Wissenschaften. Wien 1878 LXXVII Band, III. Abtheilung).

ensuite sur les électrodes ce tissu modifié et dans sa forme, et dans sa composition; il obtint alors les résultats suivants:

Fermeture	Ouverture
227	226
231	229
228	224
222	225

Nous voyons les déviations devenir égales pour les deux courants.

Fleischl explique ce fait en disant que le nerf agit *alors* comme un corps conducteur indifférent.

Nous expliquerons, de notre côté, ces résultats de la manière suivante:

Tout d'abord, en malaxant le nerf et en remettant sur les électrodes cette masse plus ou moins triturée, plus molle, et facilement déformable, le contact s'est trouvé beaucoup plus intime; ceci déjà devait diminuer la *résistance de surface*, et par conséquent rendre moins sensibles ou même faire disparaître les différences entre les deux courants.

Dans cette troisième expérience nous remarquons encore que les déviations sont beaucoup plus fortes que dans les deux autres: Ne connaissant pas, comme nous l'avons dit plus haut, les résistances de l'appareil d'induction, ni la sensibilité du galvanomètre, nous ne pouvons apprécier en Ohms la résistance du circuit total, mais nous pouvons cependant affirmer, vu l'amplitude plus grande des oscillations, que la résistance a été réduite, par le malaxation du nerf. Très probablement alors, cette résistance se trouvait petite, vis-à-vis des résistances stables (Bobine secondaire et galvanomètre), et, le courant d'ouverture aurait-il eu une prédominance, celle-ci n'aurait pas pu être constatée au galvanomètre.

Arrivés au terme de ces expériences sur la résistance, nous constatons donc avec Gaertner que la résistance du corps diminue avec la tension des courants d'induction qui le traversent, et qu'elle est beaucoup plus petite pour le courant d'ouverture que pour celui de fermeture.

Mais à *l'inverse de Gaertner*, nous retrouvons le même phénomène sur un électrolyte quelconque, lorsque nous savons nous placer dans des conditions d'expérimentation favorables.

D'autre part, nous réussissons aussi à obtenir des déviations égales pour les deux courants, lors même que le corps est intercalé. Nous

en concluons donc que cette résistance qui varie avec la tension même des courants, est une *résistance de surface*, provenant d'un contact imparfait. Cette résistance ne peut être vaincue que par des courants de haute tension, et l'on peut dire que: plus un courant est tendu, plus il pénètre par toute la surface de l'électrode, ou, ce qui revient au même, plus les surfaces d'entrée et de sortie sont grandes pour lui.

Nous expliquons ainsi: la prédominance du courant d'ouverture sur celui de fermeture, les variations continues que présentent pour des courants de tension différente la résistance du corps, enfin le fait que nous avons signalé plus haut, c'est qu'en mesurant la résistance du corps avec un courant galvanique, on trouve toujours des chiffres plus considérables que lorsqu'on la mesure pour des courants d'induction. Les courants galvaniques ont en effet une tension relativement faible. Ils diminuent aussi la résistance de la peau d'une manière lente et durable, mais par un autre mécanisme (effets électrolytiques, et vaso-dilatateurs), que les courants d'induction. Par contre, ils ont trop peu de tension pour pouvoir franchir la résistance au point où le contact n'est pas parfait. Les courants d'induction, même avec un grand écartement des bobines, ont, à quantité beaucoup plus petite que les galvaniques, une tension beaucoup plus considérable, et franchissent par là même beaucoup mieux la résistance de surface.

Du reste, même en considérant seulement ce qui se passe pour le courant galvanique, on doit faire entrer en ligne de compte, ici aussi, cette résistance de surface, ou de passage. Nous savons que, ayant au début d'une expérience un nombre d'éléments = x qui nous donne une intensité de y , si nous doublons le nombre des éléments, nous n'aurons nullement une intensité de $2y$, mais au contraire une de 3 , de 4 et même de $5y$. Cette diminution de résistance est si rapide, qu'il semble impossible de l'expliquer seulement par les effets de cataphorèse ou d'électrolyse. *Il faut faire encore entrer en ligne de compte cette résistance de surface qu'un courant de tension double franchira plus facilement.*

Nous avons indiqué que l'on peut à la rigueur mesurer la quantité des courants d'induction en unités de quantité: Microcoulombs, mais nous avons vu qu'à moins de connaître la résistance du circuit, il est illusoire de s'attacher à l'exprimer en unités scientifiques et qu'il faut se contenter, si l'on veut graduer un appareil, d'établir pour celui-ci, sa courbe en %; il serait même utile, puisque la résistance du corps

diminue avec la tension du courant qui le traverse, d'établir cette courbe, *non pour les déviations que produit le courant sur un circuit métallique, mais bien pour le courant d'ouverture traversant la résistance du corps.*

Ce serait donc dans notre courbe (pl. 2) la ligne ----- qui représenterait, dans les conditions ordinaires de l'électrothérapie, les quantités croissantes de nos courants.

Nous avons vu en effet, d'après les courbes que l'intensité croît beaucoup plus rapidement quand le corps est interposé et que, par exemple, pour le courant d'ouverture l'intensité maximale de 100% est obtenue déjà à 30 mm, tandis que pour le circuit métallique, il faut arriver à l'emboîtement complet des bobines.

Dans toutes les mensurations que nous avons faites, soit que l'on exprime dans un cas spécial les chiffres en Microcoulombs, soit qu'on le fasse en divisions arbitraires, c'est, nous le répétons, toujours la *quantité* qui a été mesurée.

Cette quantité peut-elle être à un degré quelconque la mesure de l'effet physiologique ? *Non !*

Nous savons, en effet, depuis longtemps que des courants de même quantité peuvent avoir un effet physiologique différent. Tous les traités de physique ou d'électrothérapie signalent les effets différents produits par le courant d'ouverture et de fermeture et les attribuent à leur inégalité de tension, malgré l'égalité de quantité.

C'est aussi un fait connu depuis longtemps, que les bobines d'induction à gros fil donnent de plus fortes secousses que celles à fil fin, lorsque la résistance du corps n'est pas trop élevée. *)

Si par contre, la résistance est considérable (électrodes ou peau sèches), la bobine fine seulement, et en vertu de sa tension plus élevée peut arriver à vaincre cette résistance et à produire des effets. Avec des électrodes bien humectées, bien appliquées, et serrées contre la surface de la peau, la bobine à gros fil, quoique ayant moins de tension, puisque son hélice est composée d'un moins grand nombre de tours de fil, produit des contractions musculaires beaucoup plus intenses, et souvent plus douloureuses.

*) Voir à ce sujet les discussions souvent assez vives entre *Duchenne* et *Becquerel* (*Duchenne*: de l'électrisation localisée, Paris 1872; *Becquerel*, application de l'électricité à la thérapeutique. Paris 1857 (page 58)).

Nombre d'auteurs ont constaté ce fait et l'ont expliqué en disant que si la bobine à gros fil agit mieux, c'est *parce qu'elle a plus de quantité*; et ils s'appuient pour cette explication sur les différents traités de physique qui attribuent plus de quantité au courant produit dans un gros fil. *Ils oublient que la quantité d'un courant d'induction, toutes choses restant égales d'ailleurs, dépend de la Résistance totale du circuit sur lequel circule ce courant.* Le courant d'une bobine à gros fil ne peut évidemment avoir plus de quantité que celui de la bobine à fil fin que dans une seule circonstance, c'est-à-dire quand la résistance extérieure du circuit est assez minime pour que la quantité dépende à peu près uniquement de la résistance de la bobine.

Dans ce cas là uniquement, la galvanomètre balistique nous indiquera clairement que la bobine à gros fil a une quantité plus grande que celle à fil fin. Cette dernière a forcément plus de quantité quand le corps, qui a une résistance relativement considérable est intercalé dans le circuit. Nous avons ici un fait analogue à celui bien connu dans la galvanisation, à propos des piles à grande ou petite surface: pour électriser le corps avec des éléments, il faut accumuler les forces électromotrices, car la résistance intérieure des éléments est pour ainsi dire négligeable. Il en est de même pour l'induit, quoique à un degré moins élevé, puisque la résistance intérieure des piles est minime, tandis que celle de la bobine peut être considérable : 1030 Ohms par exemple pour notre fine bobine. L'expérience confirme ces déductions à priori.

Nous avons expérimenté en nous servant pour produire l'induction de 4 Callaud dont le courant circulait sur une bobine primaire de 3,87 Ohms de résistance. L'inducteur a deux bobines secondaires que l'on peut changer à volonté, l'une de 10050 tours d'un fil de 0,2 mm à une résistance de 1030 Ohms ; l'autre, d'une résistance de 18 Ohms seulement à 2218 tours d'un fil de 0,7 mm. Nous faisons varier les résistances extérieures et nous obtenons avec le galvanomètre balistique, dont les déviations mesurent les quantités, les résultats suivants :

Avec une résistance extérieure considérable fournie par les 5000 Ohms du galvanomètre et par un rhéostat de graphite de 12500 Ohms, nous voyons que les quantités sont à peu près proportionnelles aux tensions. La bobine fine, qui a une tension environ 5 fois plus forte, donne une quantité environ 5 fois plus forte aussi, comme le montrent les chiffres suivants.

Expérience 24.

Distance des Bobines en millimètres.	Déviations avec la Bobine	
	Gros fil	Fin fil
0	7,3	39
10	7,5	37
20	7,2	35,5
30	6,9	32,5
40	6,2	29
50	5,5	26
60	4,8	21,5
70	3,9	16,5
80	3,2	15
90	2,7	12
100	2,3	8,5
110	1,4	6,2
120	1	4

Sur cette grande résistance les quantités sont à peu près dans le même rapport que les tensions mesurées par les tours de fil.

Expérience 25.

Nous éliminons la résistance surnuméraire de 12 500 Ohms, et shuntant le galvanomètre au $\frac{1}{10}$, nous abaissons la résistance extérieure à 500 Ohms. Nous voyons alors *la grosse bobine gagner en quantité* sur ce circuit peu résistant, sans toutefois donner déjà autant que celle à fil fin, comme le montrent les chiffres suivants :

Distance des Bobines	Déviations avec la Bobine	
	Gros fil	Fil fin
0	245	460
50	170	310
100	70	110
150	0	12,5

Sur cette résistance extérieure de 500 Ohms la bobine à fil fin a encore une quantité presque double.

Expérience 26.

Nous shuntons le galvanomètre au $\frac{1}{100}$ et par là nous réduisons la résistance extérieure à 50 Ohms seulement; la bobine à gros fil

qui n'a que 18 Ohms l'emporte alors sur celle à fil fin de 1030 comme nous le montrent les chiffres suivants :

Distance des Bobines	Déviations pour les Bobines	
	Gros fil (18 Ohms)	Fil fin (1030 Ohms)
0	2000	650
50	1400	450
100	500	150
150	80	25

Nous voyons donc que pour ces deux bobines, même quand la résistance extérieure n'est que de 500 Ohms, la quantité est toujours plus grande pour la bobine à fil fin, ou de haute tension. Le calcul et l'expérience faite au galvanomètre démontrent qu'il faut que la résistance extérieure soit réduite à 260 Ohms pour que nos deux bobines ayent la *même quantité*. *Au dessus* de ce chiffre la bobine à fil fin a l'avantage, *au dessous* c'est la bobine à gros fil qui a le plus de quantité. Or comme, en électrothérapie, il est bien rare que la résistance extérieure arrive à un chiffre si bas (elle dépasse ordinairement 1000 et arrive très-souvent à 5000 ou 10000), *il est évident que la bobine à gros fil ne peut jamais avoir dans ces circonstances une quantité plus grande que la bobine à fil fin.*

Nous ne pouvons donc accepter comme juste l'explication donnée plus haut, et qui se base sur la plus forte quantité de la bobine à gros fil, car *jamais en électrothérapie*, la bobine à gros fil n'a plus de quantité ; il est du reste facile de le démontrer au galvanomètre en intercalant le corps dans le circuit, comme le montre l'expérience suivante.

Expérience 27.

Le courant est appliqué sur le bras du sujet. L'appareil est actionné par 4 Callaud; le galvanomètre est shunté au $\frac{1}{10}$ et les bobines sont emboîtées complètement :

	Bobine gros fil		
Fermeture	Ouverture		
(Pas de déviation appréciable).	16, ₅		Moyenne de
	16, ₅		5 ouvertures.
	16, ₅		
	20		
	20		17, ₅

Fermeture	Bobine fil fin		Ouverture
	18	Moyenne de 4 fermetures	
18	40	38	Moyenne de 4 ouvertures
15	16,5	45	42
15		45	

Malgré ce chiffre beaucoup plus élevé: 42, pour la Bobine à fil fin, que pour la Bobine à gros fil: 17,7, nous voyons cependant cette dernière produire des contractions très-fortes et même douloureuses, tandis que la bobine fine donne des secousses à peine visibles.

Dans une autre expérience la différence était encore plus sensible: Nous avons obtenu en effet avec la bobine à gros fil une déviation de 4 divisions seulement, mais *produisant une secousse presque insupportable*, tandis qu'avec la bobine fine la déviation était de 70, et la secousse, tout en étant d'une certaine force, il est vrai, n'était cependant nullement désagréable.

Voilà donc un courant de *haute tension* (10050 tours de fil fin) et *d'une quantité représentée par 70 divisions*, qui donne une *secousse minime*, tandis qu'un courant *d'une tension beaucoup plus basse* (2218 tours de gros fil) et *d'une quantité égale à 4 divisions* produit une *secousse assez forte pour nous ôter toute envie de recommencer l'expérience*.

Nous sommes donc en présence d'un phénomène qui paraît paradoxal:

Forte tension et forte quantité donnant un effet minime; faible tension et faible quantité donnant un effet énorme.

Nous n'avons trouvé nulle part l'explication de ce fait curieux, et nous nous sommes arrêtés à celle que nous a fourni le Docteur Dubois qui s'est occupé déjà auparavant de cette question. Il donne de ces faits une explication nouvelle, et se réserve de la démontrer expérimentalement dans un travail spécial. Il nous autorise à énoncer sa théorie à ce sujet, et à l'incorporer à notre travail. Voici ce qu'il dit à ce sujet:

«Quand un courant d'induction de *haute tension* (proportionnelle au nombre des tours de fil), et *d'une quantité considérable* (mesurée au galvanomètre balistique) produit *des effets physiologiques minimes*, nous sommes en droit de supposer que quelque chose s'oppose à l'établissement du courant et prolonge sa période ascensionnelle d'état variable.

Ce quelque chose peut être :

1^o Un courant circulant dans un circuit voisin.

Nous connaissons 3 exemples de cette influence:

- a) Influence de l'extra-courant de fermeture sur l'action physiologique du courant induit de fermeture ou courant inverse.
- b) Influence des courants d'induction produits dans l'hélice secondaire fermée en court circuit, sur l'action physiologique du courant primaire (Extra-courant).
- c) Influence du tube de cuivre de Duchenne introduit entre les hélices primaire et secondaire et modifiant l'effet physiologique de ces 2 courants.

2^o Un courant de sens contraire circulant dans l'hélice même, c'est-à-dire un extra-courant ou courant de self-induction.

On sait que tout courant qui *nait* induit dans son propre circuit un courant de *sens opposé*. Cet effet est surtout marqué quand le circuit affecte la forme du solénoïde. *Tout courant qui nait s'oppose à son propre établissement par un phénomène de self-induction.* Ce contre-courant circulant dans le *circuit même* doit avoir sur la forme de la décharge une influence bien plus grande que le courant circulant dans un *circuit voisin* comme dans les 3 exemples que nous venons de citer.

Ce courant instantané de sens contraire a pour effet de prolonger la période d'état variable du courant qui s'établit. Il modifie la courbe de la décharge, prolongeant sa *durée* aux dépens de sa *tension* ou *intensité maximale*, sans faire varier la *quantité*. L'effet galvano-métrique reste le même, l'action physiologique est modifiée du tout au tout.

Ces effets de self-induction sont plus marqués dans les hélices composées d'un grand nombre de tours de fil; elles ont un coefficient de self-induction plus élevé. Le courant d'une hélice à fil fin *s'oppose plus à son propre établissement* que celui qui nait dans une hélice à gros fil.

La décharge de l'hélice à gros fil agit mieux sur le nerf moteur et le muscle, non pas *parce qu'elle a plus de quantité*, mais parce que à quantité inférieure le courant a plus d'intensité maximale; sa période ascensionnelle d'état variable est plus courte, le contre-courant de self-induction étant moins intense que dans la bobine à fil fin. — Nous nous réservons de démontrer et de mesurer ces courants de self-induction dont l'importance a été méconnue jusqu'ici».

CONCLUSIONS.

1^o On peut à l'aide d'un galvanomètre sensible mesurer les décharges d'induction et graduer les appareils d'après les déviations obtenues aux divers degrés d'emboîtement des bobines.

2^o En comparant ces déviations galvanométriques avec celles produites par des décharges de condensateurs d'une quantité connue on peut mesurer en unités scientifiques, Microcoulombs, la quantité des courants d'induction. Cependant les chiffres obtenus ne sont exacts que pour une résistance donnée.

3^o Lorsque les courants sont appliqués sur le corps, une graduation de ce genre devient absolument illusoire, car comme Gaertner l'a montré et comme nos expériences le confirment, la résistance du corps varie avec la tension du courant qui le traverse.

4^o Cette résistance variable est une résistance de surface, de contact ou de passage.

5^o Quand bien même, tenant compte de la résistance du circuit on pourrait mesurer la quantité en Microcoulombs, cette quantité ne mesure en aucune façon l'effet physiologique. Quand les résistances dans le circuit ne sont pas trop grandes les courants des hélices à gros fil ont une action physiologique beaucoup plus marquée quoiqu'ils aient moins de tension et contrairement à l'opinion reçue *moins de quantité*.

6^o Nous avons expliqué ce fait par l'existence des phénomènes de self-induction qui, dans certaines conditions de résistance extérieure, modifient du tout au tout la courbe de décharge.

7^o L'étude des courants d'induction, au moyen du galvanomètre ne nous donne aucune indication exacte sur leur action physiologique. Elle démontre simplement un fait

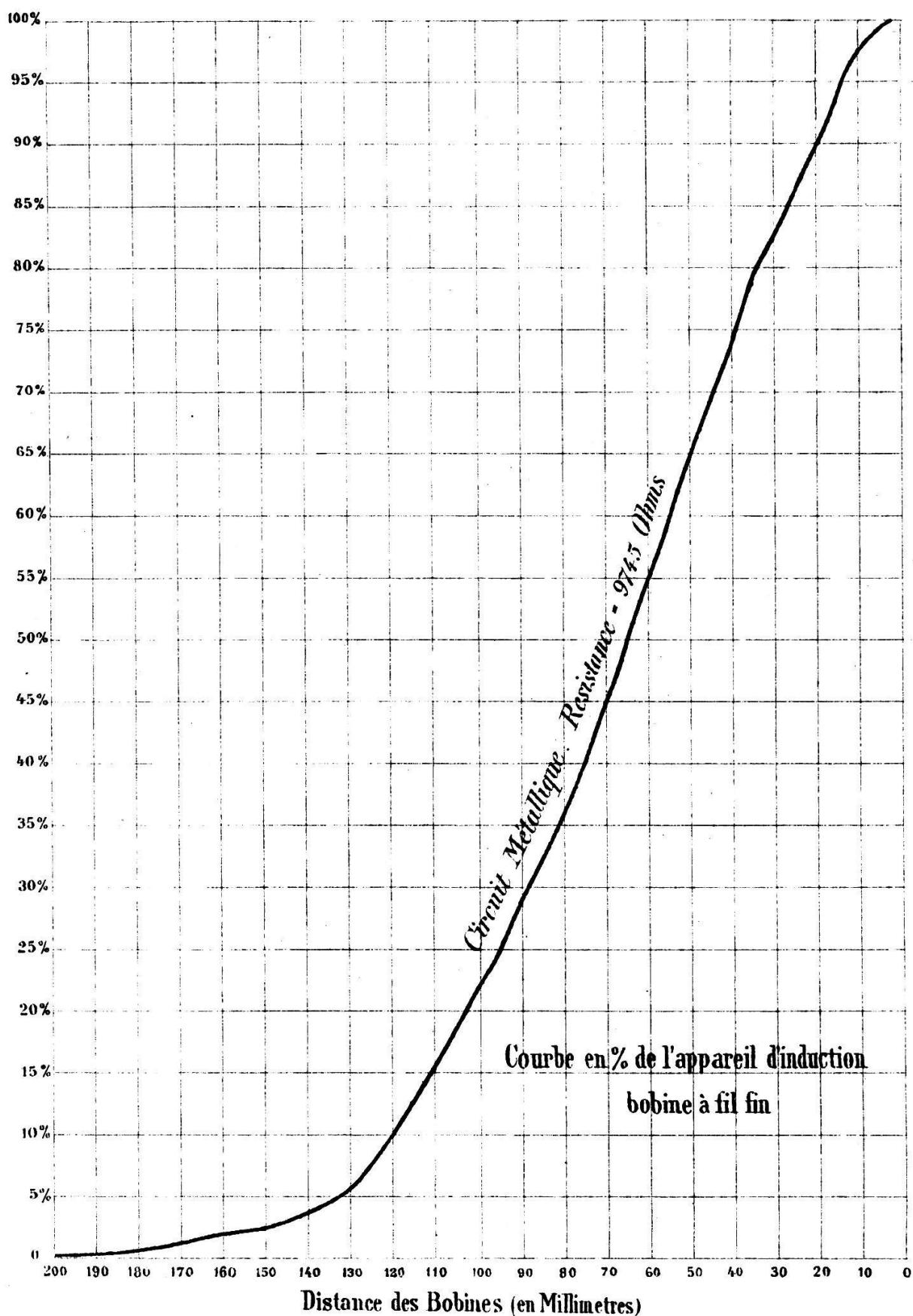
facilement constatable du reste, c'est que la quantité du courant n'est pas proportionnelle à l'emboîtement des hélices exprimé en millimètres.

8^e Dans l'état actuel de la science, nous ne possédons aucun moyen de mesurer exactement ce qu'on pourrait appeler *l'unité d'excitation électrique pour les courants d'induction.*

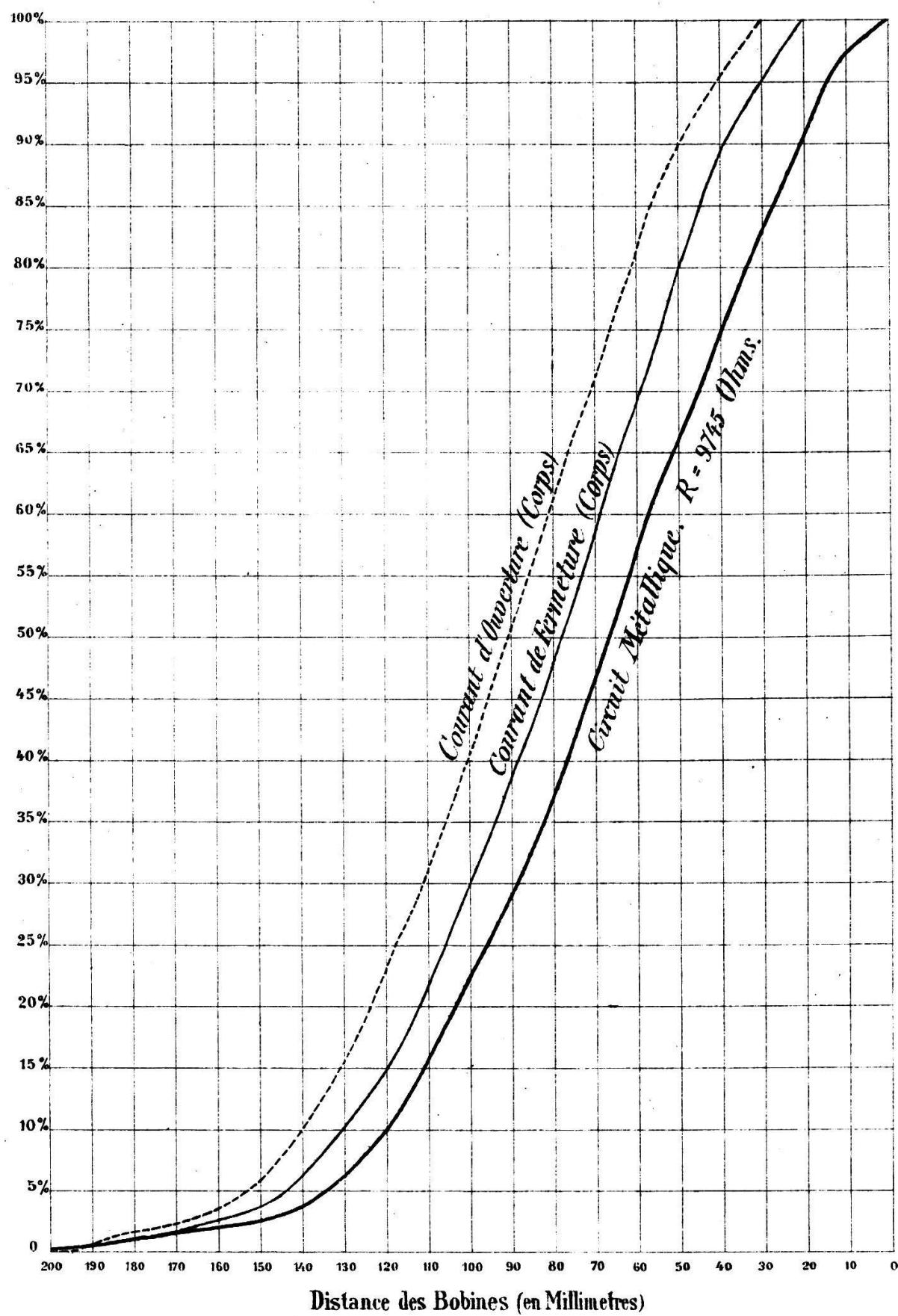
Peut-être arrivera-t-on par des mensurations combinées, avec des instruments différents : Galvanomètre et électro-dynamomètre à déterminer les qualités physiques qui déterminent l'effet physiologique des courants d'induction.

En terminant ce travail nous tenons à exprimer tous nos remerciements à Monsieur le Docteur Dubois, privat-docent à Berne, qui nous a indiqué le sujet de ce travail, et a bien voulu diriger nos recherches.

PI. 1.



Pl. 2.



Divisions galvanométriques.

Pl. 3.

