

H. F. n. f. 167. (IV, 8)  
**THÈSES**

DE

# PHYSIQUE ET DE CHIMIE

PRÉSENTÉES

**A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS,**

le 24 <sup>Ma</sup> AOUT 1851

**PAR M. LALLEMAND,**

Ancien élève de l'École Normale, Professeur de Physique au Lycée de Limoges.



PARIS.

IMPRIMERIE BAILLY, DIVRY ET C<sup>ie</sup>,

PLACE SORBONNE, 2

1851.

# ACADÉMIE DE PARIS.

## FACULTÉ DES SCIENCES.

MM. MILNE-EDWARDS, Doyen.

THÉNARD,  
PONCELET,

~~BOIT~~  
*Michel*

POUILLET,  
CONSTANT PREVOST,  
DUMAS,  
AUGUSTE DE SAINT-HILAIRE,  
DESPRETZ.

STURM,  
DELAFOSSÉ,  
BALARD,  
LEFÉBURE DE FOURCY,  
LEVERRIER,  
CHASLES,  
CAUCHY,  
DUHAMEL,  
DE JUSSIEU,  
GEOFFROY-SAINT-HILAIRE,  
LAMÉ,  
DELAUNAY,

VIEILLE,  
BERTRAND,  
MASSON,  
PELIGOT,  
PAYER,  
DUCHARTRE, 1881

Professeurs  
honoraires.

Professeurs.

Agrégés.

**A mon Père et à ma Mère.**

# THÈSE DE PHYSIQUE.

---

## ÉTUDE DES LOIS DE L'INDUCTION

A L'AIDE DE LA BALANCE ÉLECTRO-DYNAMIQUE.

---

Le phénomène de l'induction, analysé d'abord par Faraday et signalé à la même époque par MM. Pouillet et Masson, a été étudié depuis par M. Henry, qui le premier s'occupa des courants induits de différents ordres; par MM. Abria et Elie Wartmann, qui ont plus particulièrement cherché les lois de l'induction électro-dynamique.

L'appareil dont je me suis servi, et que j'ai déjà fait connaître (*Annales de Physique*, 3<sup>e</sup> série, t. xxii, p. 49), n'est autre chose qu'une balance de torsion essentiellement constituée par un levier spiral suspendu à un fil de laiton écroui. Le levier mobile était formé d'un fil de cuivre de 0<sup>mm</sup>,8 de diamètre et de 5<sup>m</sup> de long, enroulé en spirale plate aux deux extrémités d'une tige en bois et terminé par deux pointes de platine, suivant la direction du fil de suspension. Les centres des deux spirales étaient dis-

tants de  $0^m,67$  ; la longueur totale du levier était de  $0^m,78$ . Le fil de suspension avait  $0^m,92$  de long et  $0^{mm},15$  de diamètre. La force de torsion développée dans ce fil par une déviation de  $5^\circ$ , et déduite de la durée de son oscillation quand il était tendu par un poids cylindrique, pouvait être évaluée à  $0,1$  de milligramme. En regard des spirales mobiles sont placées de part et d'autre deux spirales fixes formées du même fil et situées à la même distance du levier. L'une d'elles porte une petite règle horizontale graduée, le long de laquelle glisse un repère ajusté à l'une des extrémités du levier. Cette disposition permet d'amener les spirales mobiles à une distance déterminée des spirales fixes. Les fils de platine qui terminent le fil mobile, plongent à une profondeur d'un millimètre dans deux cuvettes M et N remplies de mercure. Ces deux cuvettes sont mises en rapport avec deux godets extérieurs P et Q, qui représentent les extrémités des spirales mobiles ; enfin, les deux extrémités du fil des spirales fixes viennent aboutir à deux autres godets R et S (fig. 1).

Je vais exposer rapidement les effets observés en opérant successivement sur les courants d'induction électro-magnétiques et électro-voltaiques.

### *Action d'un courant électro-magnétique sur lui-même.*

Les courants de cette nature étaient fournis par une machine de Clarke armée de l'électro-aimant à gros fil. Pour les faire passer à la fois dans les spirales fixes et mobiles, il suffisait de faire communiquer entre eux deux des godets extérieurs, et de mettre les deux autres en rapport avec les extrémités du fil de l'électro-aimant, représentés par son axe et le cylindre isolé qui l'enveloppe. Il est aisé de changer le sens du courant dans l'une des deux spirales en regard, et en donnant un mouvement de rotation rapide à l'électro-aimant on vérifie qu'il y a attraction ou répul-

sion, suivant que les courants circulent dans le même sens ou en sens inverse. L'angle de torsion qui sert de mesure à la répulsion croît très-rapidement avec la vitesse de rotation jusqu'à une certaine limite, à partir de laquelle l'effet observé diminue au lieu d'augmenter. En opérant de cette manière, les courants changent de sens à chaque demi-révolution, mais l'interversion a lieu en même temps dans les deux spirales voisines.

En arrêtant l'un des deux courants inverses, au moyen du commutateur hémi-cylindrique, les mêmes phénomènes se reproduisent; toutefois, l'affaiblissement résultant d'une trop grande vitesse est beaucoup moins sensible que précédemment. Si l'on fait passer les courants électro-magnétiques par le levier, tandis que les spirales fixes donnent passage à un courant continu, il y a encore attraction ou répulsion, suivant que les courants se meuvent dans le même sens ou en sens inverse. En supprimant le commutateur, l'action est nulle : d'où l'on conclut que l'attraction est égale à la répulsion.

### *Action d'un courant d'induction électro-voltaïque sur lui-même.*

L'action d'un courant d'induction voltaïque sur lui-même s'obtient au moyen d'une hélice à deux fils. L'un des deux fils complète un circuit avec la balance, tandis que l'autre est mis en rapport avec les pôles d'une pile. Une roue à dents alternativement métalliques et isolantes, introduite dans le circuit inducteur, sert à établir et intercepter le courant primaire. La rotation imprimée à la roue produit aussitôt un mouvement attractif ou répulsif, d'autant plus énergique, que la vitesse est plus grande. Le sens du courant dans les deux circuits voisins montre que les lois d'Ampère sont encore satisfaites. En faisant varier l'intensité de l'inducteur, et en maintenant aussi constante que possible la vitesse de rotation de l'interrupteur, l'angle de torsion qui mesure

la répulsion augmente suivant une loi moins rapide que le carré de l'intensité du courant primaire.

Dans l'expérience précédente, le fil de la balance reçoit les courants directs et inverses successifs qu'engendrent la rupture et l'établissement du circuit inducteur. Pour opérer isolément sur chaque sorte de courant, j'ai construit un appareil déjà utilisé par M. Abria, et dont il indique la disposition générale dans les *Annales* (3<sup>e</sup> série, t. VII, p. 467). Il se compose de deux roues identiques à dents de bois et de métal portées sur un même axe et isolées. L'une est intercalée dans le circuit primaire, l'autre dans le circuit secondaire. Si les points de jonction des dents de la première roue correspondent sensiblement au milieu des dents de la seconde, on transmettra à volonté le courant direct ou le courant inverse, en imprimant le mouvement de rotation, tantôt dans un sens et tantôt dans le sens opposé. L'appareil reste disposé comme précédemment et donne les mêmes résultats.

Au moyen de deux hélices à double fil, on peut produire des courants tertiaires qui, lancés dans la balance, donnent encore des phénomènes d'attraction et de répulsion très-énergiques. L'effet observé ne change pas en intercalant la deuxième roue de l'interrompteur dans le circuit secondaire. Les courants de quatrième, cinquième et sixième ordre sur lesquels j'ai opéré se comportent de la même manière, et à l'aide d'hélices plus puissantes que celles dont j'ai fait usage, on obtiendrait sans doute des effets très-marqués avec des courants d'un ordre supérieur.

Il n'est pas inutile de faire remarquer ici que des courants tertiaires ou d'un ordre plus élevé ne donnant pas au galvanomètre de déviations appréciables, agissent très-vivement sur eux-mêmes, soit par attraction, soit par répulsion.

*Action du courant inducteur sur le courant induit.*

Si l'on complète le circuit mobile en faisant communiquer les deux godets P et Q par un fil métallique, et que les deux godets R et S reçoivent le courant de la pile alternativement transmis et arrêté par une roue dentée, le levier de la balance est repoussé, bien qu'il soit parcouru par les deux courants directs et inverses. On serait porté à conclure de ce fait, que le courant inducteur agit par répulsion sur les deux courants induits. Pour décider la question, on relie les deux godets P et Q aux ressorts de la deuxième roue, de manière à ne laisser passer qu'un seul des courants induits. Il y a répulsion quand le courant inverse passe; attraction, au contraire, quand c'est le courant direct. Mais la torsion qui mesure ces deux effets est plus grande pour la répulsion que pour l'attraction, ce qui explique le résultat de l'expérience précédente.

Les conséquences auxquelles semblent conduire ces phénomènes, sont en opposition avec tout ce que l'on sait déjà sur l'intensité relative des courants directs et inverses. D'après M. Henry, ces deux courants donnent au galvanomètre des déviations égales et contraires, et sont par conséquent d'égale intensité. Les effets magnétiques et physiologiques observés, sont au contraire plus sensibles avec le courant direct qu'avec l'inverse. A la balance électro-dynamique, le courant direct paraît inférieur en intensité au courant inverse; mais la contradiction n'est qu'apparente. Pour le montrer, on n'a qu'à faire réagir un courant continu constant sur l'un des deux courants induits, ou sur tous les deux à la fois. Quand les deux courants induits passent en même temps dans le fil mobile, l'action est nulle, ce qui confirme les conséquences déjà tirées de l'égalité des déviations galvanométriques. Quand ils passent isolément, il y a attraction ou répulsion, et pour les deux,



la torsion qui ramène le levier à sa position primitive reste la même.

Toutefois, il faut remarquer que l'action n'est pas toujours nulle, lorsque le fil mobile étant parcouru par les courants directs et inverses successifs, les spirales fixes reçoivent un courant constant. On observe presque toujours une répulsion, et cela, quel que soit le sens dans lequel marchent les courants induits. La répulsion devient assez forte quand la résistance de la pile qui fournit le courant continu est faible, et ne représente qu'une fraction du fil qui réunit les pôles. Elle diminue, au contraire, et devient presque nulle, quand la résistance de la pile augmente, c'est-à-dire quand on multiplie le nombre des éléments. La torsion qui mesure cette répulsion reste la même, si l'on vient à changer la direction des courants induits.

Cet effet résulte de l'action des courants secondaires sur les spirales fixes, action qui développe des courants tertiaires sur lesquels les courants de deuxième ordre exercent une répulsion, comme nous le verrons tout à l'heure. Ces courants tertiaires sont affaiblis par la pile qui complète le circuit où ils ont été engendrés, et l'affaiblissement est d'autant plus grand que la résistance de la pile est plus grande.

Il est aisé de se rendre compte de la différence d'action du courant inducteur, suivant qu'elle s'exerce sur le courant direct ou sur l'inverse, en s'étayant de considérations analogues à celles que M. Henry a fait valoir pour expliquer certaines particularités de l'induction.

Représentons par A B, fig. 2, la courbe des intensités du courant inducteur commençant, et par C D celle du courant finissant, B C correspondant à l'intensité constante du courant une fois établi. Les intensités variables des courants direct et inverse pourront être de même représentées par les ordonnées successives de deux courbes, telles que A C H et F I K. Les sommets de ces deux courbes, dont les ordonnées représentent les intensités *maxima*

des deux courants induits, devront aboutir aux points B et D de la courbe supérieure. Il est en effet naturel d'admettre que le courant inverse croît jusqu'au moment où l'inducteur cesse lui-même de croître, et que le courant direct atteint aussi son *maximum* quand l'inducteur devient nul. Dès lors l'action du courant inducteur sur l'inverse s'exercera, comme l'indique la figure, pendant le temps A H, et à chaque instant sera proportionnelle au produit des deux ordonnées correspondantes. La plus grande valeur de ce produit est  $BE \times GH$ . L'action sur le courant direct ne s'exercera que pendant le temps F D, c'est-à-dire pendant la moitié du temps que dure ce dernier courant, et le maximum du produit auquel cette action est proportionnelle aura une valeur telle que  $RM \times RL$ , valeur évidemment inférieure à la précédente. Il s'ensuit donc que la somme des impulsions imprimées au courant inverse doit être bien supérieure à celle des impulsions reçues par le courant direct. Ajoutons enfin que cette explication rationnelle vient à l'appui de l'opinion de M. Henry sur la variation graduelle de l'intensité du courant, à l'établissement et à la rupture du circuit, et lui donne le caractère d'une vérité démontrée.

*Action du courant secondaire sur le courant tertiaire.*

Le courant secondaire peut agir également sur le courant tertiaire qu'il engendre. On complète le circuit mobile, et l'on fait passer dans les spirales fixes l'un des courants secondaires, ou les deux à la fois. Il y a toujours répulsion. La torsion qui fait équilibre à la répulsion est la même pour le courant direct et pour l'inverse.

L'action est, au contraire, nulle, si le courant tertiaire traversant le fil mobile, on fait passer par les spirales fixes un courant continu d'une grande intensité.

Cette dernière expérience confirme l'opinion de M. Henry sur la constitution des courants tertiaires. Chaque courant tertiaire doit être formé par deux courants inverses de même quantité, et un courant du  $n^{\text{ième}}$  ordre, par  $2^{(n-2)}$  courants alternativement contraires.

Il est alors facile d'expliquer la répulsion exercée sur le courant tertiaire par le courant secondaire.

Soit A B C, fig. 3, la courbe des intensités successives du courant secondaire; les intensités correspondantes des deux parties du courant tertiaire auquel il donne naissance pourront être représentées de même par les ordonnées des deux courbes A N E, E F G. La répulsion du courant secondaire sur la partie du courant tertiaire A N E se produit pendant le temps A E; elle est à chaque instant proportionnelle au produit des deux ordonnées contiguës dont le maximum sera, je suppose, M L  $\times$  M N. L'action attractive exercée sur la seconde partie du courant tertiaire E F G n'aura lieu que pendant le temps E C, et la plus grande valeur du produit auquel elle est proportionnelle sera inférieure au maximum précédent. La répulsion devra donc l'emporter sur l'attraction; c'est ce que prouve l'expérience.

L'action du courant tertiaire sur le courant de quatrième ordre, et les actions mutuelles de deux courants successifs d'un ordre plus élevé donnent lieu aux mêmes effets et aux mêmes remarques.

La balance électro-dynamique, d'après les expériences que je viens de rapporter, est donc un moyen de recherche beaucoup plus sensible que le galvanomètre ou les hélices magnétisantes, lorsqu'on opère sur des courants secondaires, et cet instrument devient indispensable si l'on étudie les courants d'un ordre plus élevé. J'ajoute qu'elle donne des nombres plus exacts quand on veut évaluer l'intensité de ces courants. C'est ce qui va résulter des mesures que je rapporterai plus loin.

Pour apprécier le degré d'exactitude de la balance, j'ai fait pas-

ser d'abord au travers des spirales un courant continu dont l'intensité variable était mesurée par une petite boussole des sinus. En tordant le fil de suspension, on ramenait le levier à une distance constante des spirales fixes. La répulsion observée ne dépendant que de l'intensité du courant, devait être proportionnelle au carré de cette intensité. Le fil du levier étant enroulé en sens inverse à ses deux extrémités, constituait un système astatique sur lequel l'action terrestre n'exerçait pas d'influence appréciable. Voici les nombres obtenus en opérant de cette manière. Je désigne par D la déviation de la boussole, par I l'intensité du courant calculée au moyen de cette déviation, par T l'angle de torsion qui fait équilibre à la répulsion.

DISTANCE des SPIRALES.	D	I	T	$\frac{I}{\sqrt{T}}$
23 <sup>mm</sup> .	32°	529,92	748°	19,38
	26°	438,37	482	19,96
	21° 15'	302,44	332	19,88
	17° 10'	295,15	234	19,30
	14° 20'	247,56	156	19,83
			Moyenne..	19,71
9 <sup>mm</sup> .	76° 20'	971,69	1134°	28,82
	50° 40'	773,47	724	28,75
	41° 20'	660,44	528	28,75
	34° 10'	561,60	373	28,56
	22° 10'	377,30	174	28,60
			Moyenne..	28,70

En faisant passer un courant constant par les spirales fixes et

un courant d'intensité variable par le levier, l'intensité de ce dernier devait être proportionnelle à la torsion.

Voici les nombres obtenus :

DISTANCE des SPIRALES.	D	I	T	$\frac{I}{T}$
19 <sup>mm</sup>	56° 40'	835,49	1235°	0,676
	43° 40'	690,46	1032	0,669
	36° 10'	590,14	880	0,670
	30° 50'	512,54	766	0,669
	22° 46'	386,98	588	0,658
			Moyenne..	0,668
26 <sup>mm</sup>	60° 16'	868,35	1092°	0,795
	49° 40'	762,31	960	0,794
	29° 36'	493,94	618	0,799
			Moyenne..	0,796

La boussole dont je me suis servi n'était pas très-sensible et comportait des erreurs de 5 à 10'. Je ne doute pas qu'on ne puisse obtenir des nombres plus exacts.

La mesure des courants induits peut s'obtenir de deux manières : 1° en soumettant à l'action d'un courant continu constant passant par les spirales fixes, le courant direct ou le courant inverse lancés isolément dans le circuit mobile ; 2° en faisant passer les courants successifs directs et inverses dans les spirales fixes et mobiles. Dans le premier cas, l'intensité du courant secondaire se mesure par l'angle de torsion qui ramène le levier à une position invariable, et dans le second cas, par la racine carrée de cet angle.

Le premier procédé présente des causes d'erreur nombreuses. Il suppose le levier parfaitement astatique, l'intensité du courant continu invariable pendant un long espace de temps ; on ne peut éviter complètement l'action du courant secondaire sur le circuit traversé par le courant continu, ce qui exige une correction ; enfin, la nécessité d'arrêter un des courants induits avec la seconde roue interruptrice est une nouvelle cause d'erreur.

Le second procédé ne présente pas les mêmes inconvénients ; il est vrai que le fil spiral de la balance est alors parcouru par des courants alternativement contraires ; mais ces courants ayant la même intensité, ils donnent l'un et l'autre la même répulsion. Il serait du reste facile de les isoler.

L'hélice à l'aide de laquelle j'ai étudié les courants secondaires était formée de deux fils de 0<sup>mm</sup>,8 de diamètre et 11,0<sup>m</sup> de long, enroulés parallèlement l'un à l'autre sur une gorge de 30<sup>e</sup> de diamètre et 4<sup>e</sup> de large. Ils faisaient 122 tours superposés et isolés par de la soie recouverte de gomme-laque. La roue interruptrice intercalée dans le circuit primaire doit être construite avec des précautions particulières, et sa bonne construction est la principale difficulté de ce genre d'expériences. Lorsque les dents métalliques sont formées d'un métal oxydable, quelques tours de roue suffisent pour les recouvrir d'une couche d'oxyde qui diminue très-notablement l'intensité du courant primaire. Il faut de toute nécessité employer des bandes de platine et les presser avec un ressort de même métal. Malgré cette précaution, il est impossible d'éviter que les dents métalliques ne se recouvrent d'une crasse formée par du métal divisé qui conduit mal l'électricité. La précision des résultats exigerait aussi que la vitesse de rotation fût constante. Mais je n'ai pu disposer d'un appareil réalisant cette condition, d'ailleurs facile à remplir. La répulsion observée augmente avec la vitesse de rotation jusqu'à une certaine limite, passé laquelle l'effet produit ne varie pas sensiblement

avec l'interrupteur dont j'ai fait usage ; 200 interruptions par seconde suffisaient pour atteindre cette limite.

Avant de rechercher les lois de l'induction, il fallait s'assurer que la racine carrée de l'angle de torsion peut servir de mesure à l'intensité des courants secondaires, et que l'influence mutuelle des spirales voisines ne troublait pas sensiblement les résultats. Il suffit pour cela de faire passer successivement dans la balance un courant continu constant et les courants secondaires engendrés par un courant aussi constant. En amenant dans les deux cas le levier aux mêmes positions, les répulsions correspondantes à une même distance des spirales devaient être en rapport constant.

DISTANCE des SPIRALES.	Valeurs de T pour le courant continu.	Valeurs de T pour le courant secondaire.	RAPPORTS.
5mm	695°	460°	1,51
9	554	360	1,53
14	438	288	1,52
19	360	232	1,55
24	292	188	1,55

J'ai répété plusieurs fois ces expériences avec des courants d'intensités très-diverses, et les rapports calculés ont toujours été invariables. Cela posé, on peut se proposer de déterminer le rapport de l'intensité du courant primaire à celle du courant secondaire. Suivant M. Abria, ce rapport est sensiblement constant. Mais l'aimantation des aiguilles d'acier donne des résultats si différents, suivant qu'on opère avec le courant direct ou avec l'inverse, qu'il est difficile d'admettre que le degré d'aimantation dépend uniquement de l'intensité maximum du courant secondaire. D'ailleurs, M. Abria ne dit pas comment il a fait varier l'intensité du courant; on peut, sans diminuer le nombre des

éléments de la pile, intercaler dans le circuit primaire un corps bon ou médiocrement conducteur, auquel cas la tension spécifique de la source reste constante, tandis que la longueur seule du circuit inducteur varie; ou bien, si l'on augmente ou diminue le nombre des éléments, la longueur du circuit varie dans le même sens que la tension de la source. Ces circonstances influent beaucoup sur le résultat obtenu, comme nous le verrons bientôt.

M. Elie Wartmann a fait connaître aussi quelques résultats obtenus avec le galvanomètre (1). La source électrique restant constante, et l'intensité de l'inducteur variant au moyen d'un fil conducteur intercalé, M. Wartmann a trouvé que la longueur du fil additionnel variant en progression géométrique, l'intensité du courant inverse décroît en progression arithmétique. Cette loi logarithmique ne peut être, *à priori*, l'expression vraie du phénomène, car elle conduirait à admettre que pour une certaine intensité de l'inducteur, le courant induit serait nul.

On peut d'abord s'assurer aisément, à l'aide de la balance, que le rapport des intensités de l'inducteur et de l'induit est variable. Voici quelques nombres obtenus avec l'hélice de 110 mètres et 6 couples Daniell de 1<sup>de</sup> de surface. Une colonne de sulfate de cuivre de longueur variable, interposée dans le circuit primaire, servait à faire varier l'intensité. Il est bon de remarquer que, pendant la rotation de l'interrupteur, la boussole qui faisait partie du circuit inducteur était momentanément soustraite à l'action du courant, qui aurait altéré rapidement le degré d'aimantation de l'aiguille. Un fil de même longueur et de même diamètre que celui de la boussole, le remplaçait pendant toute la durée de l'expérience. La répulsion une fois mesurée, la boussole était introduite dans le circuit, et l'on déterminait l'intensité de l'inducteur.

(1) *Annales de Physique et de Chimie*, 3<sup>e</sup> série, t. XIX.



DISTANCE des SPIRALES.	D	I	T	$\frac{I}{\sqrt{T}}$
10 <sup>mm</sup>	44° 52'	705,46	602°	28,75
	32° 20'	534,84	374	27,65
	25° 20'	427,88	260	26,54
	19° 44'	337,64	162	26,52

On voit donc que la tension de la pile restant constante, le rapport des intensités de l'inducteur et de l'induit diminue quand la longueur du circuit inducteur augmente. En diminuant successivement le nombre des éléments de la pile, auquel cas l'intensité diminue en même temps que la longueur du circuit inducteur, on trouve que le rapport augmente. Cette augmentation ne paraît pas dépendre sensiblement de la tension spécifique de la source qui diminue très-rapidement dans cette circonstance.

En faisant varier l'intensité de l'inducteur au moyen d'un fil de cuivre ou de laiton, on est conduit au même résultat que précédemment. Si, dans ce dernier cas, la longueur du fil additionnel varie en progression géométrique, on trouve que l'intensité du courant secondaire décroît sensiblement en progression arithmétique, quand on se contente d'un petit nombre d'expériences; mais en multipliant les résultats, on s'aperçoit que la raison de la progression arithmétique diminue en même temps que l'intensité de l'inducteur. La loi posée par M. Élie Wartmann n'est donc qu'une approximation. Après des tentatives infructueuses pour arriver à une loi empirique qui fût l'expression assez exacte du rapport des deux intensités, j'ai trouvé qu'en calculant l'arc dont la tangente serait l'intensité de l'inducteur, la valeur de cet arc représentait très-exactement l'intensité du courant secondaire. L'accord est tellement parfait, surtout pour des expériences

de cette nature, faites dans des conditions assez défavorables, qu'on est tenté de regarder comme l'expression vraie du phénomène le rapport ainsi déterminé. En représentant par I l'intensité de l'inducteur, D l'intensité du courant secondaire, et K une constante, on aura donc :

$$I = K \text{ tang. } D.$$

Je vais citer les résultats d'un grand nombre d'expériences faites sans aucune précision, et la loi ressortira de l'examen des tableaux suivants.

Pour les trois premiers, on a opéré avec des piles de différentes résistances et en modifiant l'intensité de l'inducteur, au moyen d'une colonne de sulfate de cuivre de longueur variable. Les spirales ont été maintenues dans tous les cas à une distance constante de neuf millimètres.

PREMIER TABLEAU. *Pile de 10 éléments.*

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculéc.	RAPPORT.
54°	809,02	914 <sup>0</sup>	30,23	38,97	1,28
41° 20'	660,44	632	25,14	33,44	1,33
32° 8'	531,89	408	20,19	28,01	1,38
26° 10'	440,99	302	17,37	23,79	1,36
21° 10'	361,08	208	14,42	19,85	1,37
				Moyenne. .	1,34

DEUXIÈME TABLEAU. *Pile de 8 éléments d'une résistance à peu près égale aux 10 précédents.*

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPORT.
48° 15'	746,06	720°	26,83	30,72	1,36
45° 8'	708,75	672	25,92	35,32	1,36
39° 40'	638,32	560	23,66	32,55	1,37
37° 40'	611,06	516	22,71	31,42	1,38
31° 26'	521,50	400	20,00	27,54	1,37
28° 10'	472,04	340	18,43	25,26	1,37
26° 4'	439,42	290	17,03	23,72	1,39
21° 10'	361,08	216	14,69	19,85	1,35
17° 12'	295,71	142	11,91	16,47	1,38
14° 30'	250,38	102	10,09	14,05	1,39
Moyenne..					1,37

TROISIÈME TABLEAU. *Pile de 4 éléments ayant une surface double des précédents.*

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPORT.
32° 20'	534,84	388°	19,69	28,14	1,43
24° 52'	420,51	256	16,00	22,80	1,42
19° 20'	328,87	154	12,40	18,20	1,46
33°	544,64	392	19,79	28,57	1,44
Moyenne..					1,43

Dans les deux premiers tableaux, la tension spécifique de la source était sensiblement la même, le rapport de la valeur cal-

culée à la valeur trouvée reste aussi le même ; mais dans le troisième, la tension ayant diminué considérablement, ce rapport est un peu plus grand. La colonne de sulfate de cuivre interposée dans le circuit primaire était disposée de manière à pouvoir mesurer son allongement à 0,1 de millimètre près. Dès lors il était facile d'exprimer en longueur de la colonne de sulfate la résistance totale du circuit inducteur, et d'en déduire la tension spécifique de la source. On trouve ainsi que le rapport de la valeur calculée à la valeur trouvée varie sensiblement en raison inverse de la racine quatrième de la tension de la source.

Je n'ai pu faire des expériences assez diverses pour vérifier ce résultat. Dans tous les cas, nous verrons plus loin quelle est la cause probable de cette variation.

Je passe maintenant aux valeurs trouvées en intercalant dans le circuit primaire des fils métalliques de longueur variable et disposés de telle sorte, que leurs plis ne pouvaient agir par induction les uns sur les autres. Cette condition est indispensable, si l'on veut arriver à des nombres concordants.

QUATRIÈME TABLEAU. *Pile de 6 éléments.*

On allonge le circuit inducteur avec du fil de cuivre de 0<sup>mm</sup>,35 de diamètre.

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPORT.
50° 50'	775,31	792°	28,14	37,78	1,342
47° 20'	735,31	702	26,83	36,32	1,353
43° 50	692,56	660	25,69	34,70	1,350
41° 42'	665,24	620	24,90	33,63	1,350
36°	587,78	508	22,53	30,44	1,351
29° 36'	493,94	376	19,39	26,28	1,355
23° 36'	400,35	260	16,12	21,81	1,352
				Moyenne..	1,350

CINQUIÈME TABLEAU. *Pile de 6 éléments.*

On allonge le circuit inducteur avec du fil de laiton de 0<sup>mm</sup>,25 de diamètre.

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPORT.
81° 30'	989,02	1280°	35,77	44,68	1,24
72° 45'	955,02	1248	35,32	43,68	1,23
60° 34'	870,93	1160	34,05	41,05	1,20
52° 10'	789,80	912	30,19	38,32	1,26
51° 20'	780,79	900	30,00	37,98	1,26
49° 45'	703,23	844	29,05	37,35	1,28
40° 55'	654,96	700	26,45	33,22	1,25
38° 50'	627,06	668	25,84	32,09	1,24
28° 55'	483,54	420	20,49	25,80	1,25
27° 46'	465,87	384	19,59	24,98	1,27
18° 45'	321,44	196	14,00	17,82	1,27
11° 4'	191,95	75	8,66	10,86	1,25
				Moyenne..	1,25

La valeur du rapport calculé dans les deux derniers tableaux varie aussi avec la tension de la source et suivant la loi indiquée précédemment.

On peut donc conclure que la tension de la source restant constante, et quelle que soit la nature du conducteur intercalé dans le circuit inducteur pour faire varier l'intensité du courant, il existe un rapport constant entre l'intensité du courant primaire et la tangente de l'intensité du courant secondaire.

Cette loi dépend essentiellement du changement de longueur du circuit inducteur, et s'il était possible de faire varier l'intensité du courant sans modifier la puissance conductrice du circuit inducteur, le rapport des intensités des deux courants inducteurs et induit serait peut-être invariable.

Cette supposition devient une certitude quand on opère sur des courants d'un ordre plus élevé. J'ai mis en communication les extrémités du fil induit de l'hélice précédente avec les extrémités de l'un des fils d'une seconde hélice, formée de trois fils de 40<sup>m</sup> superposés l'un à l'autre et constituant ainsi trois hélices concentriques. Le courant secondaire passait par les deux fils extrêmes simultanément ou successivement, et le fil moyen parcouru par les courants tertiaires était mis en rapport avec les spirales de la balance, de manière à faire agir les courants de troisième ordre sur eux-mêmes par répulsion. En calculant encore l'arc dont la tangente est représentée par l'intensité de l'inducteur, on trouve un rapport constant entre sa valeur et celle de l'intensité du courant tertiaire mesurée par la racine carrée de l'angle de torsion. On doit en conclure que le rapport de l'intensité du courant de second ordre à celle du courant de troisième ordre qu'il induit est invariable. Ici, en effet, l'intensité de l'inducteur change sans que la longueur du circuit varie.

## SIXIÈME TABLEAU.

*Courant tertiaire agissant par répulsion sur lui-même.*

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPORT.
46°	719,34	328°	18,11	35,72	1,97
32° 4'	530,91	212	14,56	27,96	1,92
19° 30'	333,81	94	9,69	18,46	1,90
				Moyenne. .	1,93
45° 28'	712,83	712°	26,68	35,48	1,34
40° 48'	653,42	572	23,91	33,16	1,38
31° 44'	525,96	400	20,00	27,74	1,38
23° 5'	392,07	264	16,24	21,41	1,31
18° 15'	313,16	172	13,11	17,39	1,32
14° 30'	250,38	132	11,44	14,05	1,31
				Moyenne. .	1,34

Il serait facile d'opérer de la même manière sur des courants d'un ordre plus élevé. J'ai essayé au moyen d'une troisième hélice sur les courants de quatrième ordre, et j'ai obtenu les résultats suivants.

## SEPTIÈME TABLEAU.

*Courants quaternaires agissant par répulsion sur eux-mêmes.*

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPORT.
52° 45'	796,10	218°	14,75	38,52	2,61
46° 50'	729,36	172	13,11	36,10	2,75
39° 8'	631,13	124	11,13	32,25	2,89
30° 15'	503,77	108	10,39	26,74	2,57
				Moyenne...	2,70

Nous pouvons donc admettre qu'à tous les degrés de l'induction, il existe un rapport constant entre l'intensité du courant inducteur et celle du courant induit, pourvu que les deux circuits restent invariables.

Les expériences que je viens de rapporter ne permettent pas de déterminer la valeur réelle du rapport des intensités du courant inducteur et de l'induit. Il serait nécessaire, pour arriver à ce but, d'opérer sur des fils rectifiés, ne formant qu'un seul circuit, ou bien de replier les fils de manière à éviter l'action mutuelle des plis les uns sur les autres.

Cette disposition serait aussi préférable pour la plupart des problèmes que l'on peut se proposer de résoudre avec la balance, et l'interprétation des résultats serait plus concluante. N'ayant pu adopter ce mode d'expérimentation qui aurait exigé des fils beaucoup plus longs et des appareils plus sensibles, j'ai néanmoins essayé quelques mesures ayant pour but de vérifier l'influence du nombre des éléments actifs du circuit inducteur sur le

circuit induit. M. Abria a trouvé que l'intensité du courant induit était proportionnelle au nombre des éléments réagissants. Pour démontrer cette loi, il faut, d'après ce que nous avons vu, maintenir invariable la longueur du circuit inducteur. J'ai opéré avec la triple hélice. L'hélice moyenne, parcourue par l'électricité induite, était mise en communication avec la balance. L'une des hélices extrêmes faisant partie du circuit inducteur, ainsi qu'une colonne de sulfate de cuivre, on mesurait l'intensité de l'induit. Le résultat une fois obtenu, le courant passait successivement par les deux hélices extrêmes, de manière à doubler le nombre des éléments réagissants, et en même temps on diminuait la longueur de la colonne liquide, de telle sorte que la longueur du circuit inducteur fût ramenée à sa valeur première.

HUITIÈME TABLEAU. *Pile de 6 éléments.*

D	I	$\sqrt{T}$ L'Inducteur passe par deux fis.	$\sqrt{T'}$ L'Inducteur passe par un fil.	$\frac{\sqrt{T}}{\sqrt{T'}}$
64° 50'	905,07	37,94	20,49	1,85
53° 42'	805,93	34,40	18,76	1,83
51° 10'	778,96	33,92	18,54	1,82
41° 40'	664,80	28,63	15,49	1,84
34° 10'	561,60	24,62	12,96	1,89
28° 8'	471,53	20,19	10,86	1,85
20° 45'	354,29	16,97	8,94	1,89
13° 52'	239,66	11,48	6,32	1,81
			Moyenne...	1,84
<i>Pile de 10 éléments.</i>				
55°	815,19	47,18	28,28	1,66
35° 40'	583,07	36,28	21,16	1,71
27° 28'	461,23	28,98	17,20	1,68
21° 40'	369,21	24,08	14,07	1,71
15° 56'	274,52	18,65	10,66	1,74
			Moyenne...	1,70



Ces résultats montrent que l'effet produit n'est pas proportionnel au nombre des éléments réagissants ; pour une tension constante de la source le rapport des deux intensités reste constant, mais il diminue quand la tension spécifique de la source augmente, c'est-à-dire quand l'induction est plus énergique. Il est donc probable que l'intensité du courant induit augmente avec le nombre des éléments actifs, suivant une loi d'autant moins rapide que le nombre des éléments est plus grand ; de sorte que cette intensité tendrait vers une limite qu'elle ne pourrait dépasser, ce qui serait conforme à la loi d'induction démontrée plus haut.

En faisant passer le courant primaire par le fil moyen de la triple hélice, on peut produire l'induction sur l'un des deux fils extrêmes, l'autre formant un circuit ouvert ou fermé, ou bien développer un courant secondaire dans les deux fils à la fois, de manière à opérer sur un fil de section double. J'inscris dans le tableau suivant les nombres obtenus dans ces trois cas pour les mêmes intensités du courant primaire.

NEUVIÈME TABLEAU.

I	$\sqrt{T}$ L'Induit par un fil, l'autre circuit ouvert.	$\sqrt{T'}$ L'Induit par un fil, l'autre circuit fermé.	$\sqrt{T''}$ L'Induit développé dans les deux fils à la fois.	$\frac{\sqrt{T'}}{\sqrt{T''}}$
902,58	32,92	19,89	37,65	1,14
761,35	27,56	17,32	31,81	1,15
578,33	21,35	12,64	25,61	1,19
468,44	17,66	10,58	19,69	1,11
			Moyenne...	1,15

Nous voyons donc que l'intensité du courant secondaire augmente avec la section du fil induit, et les sections étant doubles

l'une de l'autre, le rapport des intensités a pour valeur moyenne 1,45. Mais il faut remarquer que l'affaiblissement de l'induit produit par le fil de la balance n'est pas le même dans les deux cas, et si l'on admet avec M. Abria que les courants secondaires se comportent comme les courants continus, et que leur intensité varie en raison inverse de la longueur du circuit parcouru, quand la section des fils composant le circuit ne change pas, il faut multiplier le rapport précédent par la fraction  $\frac{h + 2b}{h + b}$ , en appelant  $h$  et  $b$  les longueurs des fils de l'hélice et de la balance. Or, ces longueurs déduites de l'affaiblissement que produit leur intercalation dans le circuit d'un courant d'intensité connue, sont entre elles comme les nombres 140 et 65. La fraction précédente a donc pour valeur 1,31, et le rapport devient égal à 1,50, c'est-à-dire un peu supérieur à  $\sqrt{2} = 1,41$ . Dans cette supposition, l'intensité du courant secondaire serait proportionnelle à la racine carrée de la section.

Des expériences que je rapporterai plus loin ne permettent pas d'admettre que l'intensité du courant secondaire varie en raison inverse de la longueur du circuit parcouru par l'électricité, ou du moins elles indiquent que la tension du courant induit est supérieure à celle qui résulte de la puissance conductrice de la partie du fil dans lequel il a été développé. Aussi la valeur de  $h$  déduite de l'affaiblissement du courant induit quand on intercalait dans son circuit un fil de cuivre de 0<sup>mm</sup>,35 était représentée par 394, nombre presque triple de la longueur réelle. Le fil de section double calculé de la même manière avait pour valeur 226. D'après ces résultats, le rapport trouvé devait être multiplié par 1,4, ce qui donne 1,26, nombre exactement égal à  $\sqrt[3]{2}$ . En admettant que le fil de la balance se comporte comme le fil de cuivre de 0<sup>mm</sup>,35 de diamètre, on conclurait que l'intensité de l'induit est proportionnelle à la racine cubique de la section.

Pour arriver à des résultats positifs sur l'influence de la section

du fil induit, il est donc indispensable d'opérer avec des fils d'une plus grande longueur, de manière à pouvoir négliger l'influence du fil de la balance. D'ailleurs deux fils isolés agissant à distance l'un sur l'autre doivent se comporter autrement qu'un fil unique de section double.

*Influence de la conductibilité du fil induit.*

M. Abria a déduit d'une expérience comparative sur le fer et le cuivre que l'intensité du courant secondaire variait en raison inverse de la conductibilité du fil induit. La balance électro-dynamique conduit à des conséquences bien différentes. Le fil extérieur de la triple hélice ayant été remplacé par un fil de laiton de même diamètre et de même longueur, l'on a fait passer le courant primaire par le fil moyen. Les fils de cuivre et de laiton formant les hélices extrêmes étant successivement mis en rapport avec la balance, on obtenait pour chacun de ces deux fils les intensités du courant secondaire correspondantes à une même intensité de l'inducteur.

DIXIÈME TABLEAU.

I	$\sqrt{T}$ cuivre.	$\sqrt{T'}$ laiton.	$\frac{\sqrt{T}}{\sqrt{T'}}$
859,51	34,35	21,72	1,58
870,15	31,93	20,29	1,57
692,98	27,05	17,55	1,54
561,12	22,53	14,69	1,53
520,02	20,49	12,99	1,57
386,44	15,49	10,00	1,55
		Moyenne...	1,55
		Valeur corrigée..	1,62

La constance du rapport des deux intensités indique d'abord que les lois de l'induction sont les mêmes pour le cuivre et le laiton, mais sa valeur est loin d'être égale au rapport des conductibilités. En effet, les deux fils ayant été interposés dans le circuit d'un courant dont l'intensité mesurée à la boussole des sinus était 800,38, le fil de cuivre a ramené cette intensité à 484,80 et le fil de laiton à 364,62. On en déduit pour le rapport de la conductibilité du cuivre à celle du laiton la valeur 3,22.

Il est vrai que les courants induits dans le fil de cuivre et le fil de laiton ne sont pas également affaiblis par le fil de la balance. En calculant la longueur de ces deux fils d'après la diminution d'intensité qu'éprouve le courant secondaire lorsqu'on interpose dans son circuit un fil de cuivre de longueur variable et de 0<sup>mm</sup>,35 de diamètre, on trouve que ces longueurs sont entre elles comme les nombres 394 et 657; le fil de la balance ayant pour longueur 65. Il faut donc, pour corriger le rapport trouvé 1,55, le multiplier par 1,05, ce qui ramène sa valeur à 1,62, nombre encore moitié moindre que le rapport des conductibilités.

On peut objecter à ces résultats l'action mutuelle des plis du circuit. Pour éviter cette cause d'erreur, j'ai lié ensemble les trois fils de la triple hélice et les ai disposés de telle sorte que leurs éléments ne pouvaient agir les uns sur les autres. L'intensité du courant secondaire est alors considérablement diminuée, et j'ai été obligé de suspendre le levier à un fil de laiton d'un plus petit diamètre. Le rapport des intensités des deux courants induits dans le cuivre et le laiton pour des intensités diverses de l'inducteur a varié entre les limites de 1,37 et 1,51; la moyenne était 1,43, nombre un peu plus faible que le rapport précédemment obtenu. L'action mutuelle des plis du circuit n'exerce donc pas une influence notable sur la valeur du rapport, et nous pouvons conclure que l'intensité du courant secondaire n'est pas proportionnelle à la conductibilité du fil induit pour le flux électrique d'une source.

Il n'en serait pas de même si l'on admettait que les conductibilités du cuivre et du laiton pour l'électricité induite diffèrent de leurs conductibilités pour l'électricité constante d'une pile. Nous avons vu plus haut que les longueurs des fils de cuivre et de laiton estimées d'après l'affaiblissement qu'éprouve l'induit lorsqu'on interpose dans son circuit un fil de cuivre de longueur variable étaient représentées par les nombres 394 et 657. En regardant le rapport inverse de ces longueurs comme étant égal à celui des conductibilités des deux métaux pour l'électricité induite, on trouve qu'il a pour valeur 1,66, nombre presque égal à 1,62, qui représente le rapport vrai des intensités des deux courants induits. La loi s'énoncerait ainsi :

*Les intensités des courants induits, toutes choses égales d'ailleurs, sont proportionnelles aux conductibilités des fils pour l'électricité induite.*

Cette conclusion est malheureusement contredite par des nombres consignés aux seizième et dix-septième tableaux, qui prouvent que le rapport des conductibilités du cuivre et du laiton, pour l'électricité induite, est sensiblement le même que celui de leurs conductibilités pour l'électricité d'une pile. Il faut donc se borner aux résultats immédiats de l'expérience, et regarder le rapport des longueurs calculées du fil de cuivre et du fil de laiton, comme représentant celui des tensions de l'électricité induite dans chacun des fils, c'est-à-dire le rapport de leurs résistances effectives. Nous dirons donc :

Que les intensités des courants induits dans deux fils de même longueur et de même diamètre sont inversement proportionnelles aux tensions de l'électricité induite dans chacun des fils, les conditions de l'induction restant les mêmes.

En prenant le fil de laiton comme inducteur, et en soumet-

tant le fil de cuivre voisin à l'induction, l'intensité du courant induit est un peu moindre que si l'inducteur était aussi un fil de cuivre. J'inscris en regard les nombres obtenus en prenant successivement le cuivre et le laiton comme inducteurs.

ONZIÈME TABLEAU.

I	$\sqrt{T}$ Inducteur en laiton.	$\sqrt{T'}$ Inducteur en cuivre.	$\frac{\sqrt{T'}}{\sqrt{T}}$
663,49	24,49	26,14	1,06
606,45	22,97	24,01	1,04
477,67	18,11	19,04	1,05
381,34	14,28	15,29	1,07
		Moyenne...	1,05

La différence observée entre les valeurs correspondantes à une même intensité de l'inducteur vient sans doute de ce que le rapport de la partie du circuit inducteur qui agit directement sur le fil induit, à la partie complémentaire, n'est pas le même dans les deux cas. Il est plus grand pour le laiton que pour le cuivre, et, d'après la loi de l'induction démontrée plus haut, la valeur absolue de l'intensité du courant secondaire augmente quand ce rapport diminue. Si l'on opérât avec des piles d'une grande résistance, auquel cas la variation de ce rapport serait négligeable, on arriverait à des résultats identiques.

*Lois de la variation d'intensité de l'induit avec la longueur, le diamètre et la nature des conducteurs intercalés dans le circuit induit.*

L'étude de ces lois, au moyen de la balance, conduit à des conséquences inattendues, en opposition avec les résultats obtenus par plusieurs physiciens, et les expériences que je vais citer, bien que très-incomplètes, sont de nature à faire apprécier sous un jour nouveau le mouvement électrique propagé par induction.

L'induction était développée dans l'un des fils de l'hélice de 110 mètres par un courant d'intensité constante. L'induit, lancé dans la balance, agissait par répulsion sur lui-même. L'intensité de ce courant une fois déterminée, on intercalait dans le circuit induit des fils métalliques ou des colonnes liquides de longueur variable; et pour chaque longueur additionnelle, on mesurait de nouveau l'intensité de l'induit, en comparant chacune des valeurs obtenues à la valeur première, et en supposant que l'intensité de l'induit varie en raison inverse de la longueur du circuit parcouru, on calculait ainsi différentes valeurs du circuit primitif.

Voici quelques nombres obtenus en intercalant, dans le circuit induit, un fil de laiton bien recuit de 0<sup>mm</sup>,25 de diamètre. Dans tous les cas, le fil interposé ne formait qu'un circuit unique, et ses éléments ne pouvaient avoir aucune action les uns sur les autres. Dans la deuxième partie du tableau, le nombre des éléments de la pile et par conséquent la tension spécifique de la source n'a pas changé, mais le circuit inducteur a augmenté de longueur, de manière à rendre l'intensité du courant primaire environ moitié moindre. Dans la troisième partie du tableau, le nombre des éléments de la pile a été réduit à deux. Je représente

par  $x$  la longueur calculée du fil induit, y compris le fil de la balance.

## DOUZIÈME TABLEAU.

On intercale dans le circuit induit un fil de laiton de 0<sup>mm</sup>,25 de diamètre.

Nombre des éléments de la pile.	Longueur du circuit induit.	$\sqrt{T}$	Longueur calculée du fil induit, y compris le fil de la balance.
6 éléments	$x$	32,86	
	$x + 2^m$	28,28	$x = 12,34^m$
	$x + 4$	24,82	$x = 12,34$
	$x + 8$	20,38	$x = 13,06$
	$x + 16$	15,62	$x = 14,49$
6 éléments	$x$	20,58	
	$x + 2$	17,66	$x = 12,09$
	$x + 4$	15,48	$x = 12,14$
	$x + 8$	12,64	$x = 12,73$
2 éléments	$x$	17,32	
	$x + 2$	14,28	$x = 9,39$
	$x + 4$	12,24	$x = 9,63$

La valeur sensiblement constante de  $x$  pour des longueurs de fil intercalé ne dépassant pas huit mètres, indique d'abord que l'intensité de l'induit varie en raison inverse de la longueur du circuit parcouru par l'électricité ; mais cette valeur calculée est bien supérieure à la valeur réelle. Le fil de l'hélice induite, et le fil de la balance, ne représentent en effet que 4<sup>m</sup>92 du fil de laiton, c'est-à-dire une longueur environ deux fois et demie plus faible.

Les conséquences qu'on peut tirer de ces faits peuvent s'interpréter de deux manières différentes. On peut dire que la tension



de l'électricité induite est supérieure à celle qui résulte de la puissance conductrice de la portion du circuit où elle a été développée pour l'électricité d'une pile, ou bien que la conductibilité du laiton pour l'électricité d'induction est supérieure à sa conductibilité pour le flux électrique continu d'une source. Cette seconde interprétation paraît plus rationnelle, et permet d'expliquer pourquoi la valeur de  $x$  croît graduellement avec la longueur du fil intercalé.

Cette augmentation progressive est, il est vrai, peu sensible pour les fils métalliques, à moins que leur longueur ne soit considérable; mais elle est beaucoup plus prononcée quand on opère avec des colonnes liquides. On dirait alors que l'électricité induite, ayant déjà parcouru une certaine longueur d'un conducteur non soumise à l'induction, éprouve une moins grande résistance à se propager dans un conducteur de même nature. En d'autres termes, que la conductibilité de la partie du circuit non soumise à l'induction pour l'électricité induite, augmente avec sa longueur, de telle sorte que l'électricité induite se comporterait avec les conducteurs de la même manière que la chaleur rayonnante avec les milieux diathermanes.

L'examen du tableau précédent montre aussi que la valeur de  $x$  ne change pas avec l'intensité de l'inducteur, pourvu que la tension de la source reste constante; tandis qu'elle diminue notablement avec le nombre des éléments de la pile. Ce dernier résultat expliquerait la variation du rapport de l'intensité calculée du courant secondaire à sa valeur trouvée, lorsque la tension de la source change. Il est clair, en effet, que l'affaiblissement du courant secondaire par le fil de la balance serait d'autant plus grand, que la tension spécifique de la source serait elle-même plus petite.

Quelle est maintenant l'influence de la nature du conducteur intercalé ou de son diamètre, et ces circonstances influent-elles sur la longueur calculée du fil induit? Je vais inscrire les nom-

bres trouvés en intercalant dans le circuit induit un fil de laiton non recuit de 0<sup>mm</sup>,38 de diamètre, et des colonnes de sulfate et d'azotate de cuivre de 42<sup>mm</sup> de diamètre. La longueur des colonnes liquides était déterminée par deux disques de cuivre, dont la distance pouvait être évaluée à 0,4 de millimètre près.

D'après les expériences de M. Edmond Becquerel, il n'y a pas à tenir compte dans ce cas de la résistance au passage qui est nulle. A côté de la valeur calculée du circuit inducteur, j'inscris en même temps, pour rendre la comparaison plus aisée, sa valeur réduite en fil de laiton de 0<sup>mm</sup>,25 employé déjà aux expériences consignées dans le douzième tableau.

Les mesures répétées et concordantes m'avaient donné les éléments de cette réduction. Ainsi :

Un mètre du fil de laiton de 0<sup>mm</sup>,38 de diamètre équivaut à 0<sup>m</sup>,449 du fil de laiton de 0<sup>mm</sup>,25. Un centimètre de sulfate équivaut à 0<sup>m</sup>,972, et un centimètre d'azotate à 0<sup>m</sup>,394 du même fil.

### TREIZIÈME TABLEAU.

On intercale dans le circuit induit un fil de laiton de 0<sup>mm</sup>,35 de diamètre.

Nombre des éléments de la pile.	Longueur du circuit induit.	$\sqrt{T}$	Longueur calculée du fil induit.	Valeur réduite en fil de laiton de 0 <sup>mm</sup> ,25.
6 éléments	$x$	37,94		
	$x + 2^m$	34,81	$x = 22,2$	<sup>m</sup> 9,96
	$x + 4$	32,31	$x = 22,9$	10,28
	$x + 6$	30,06	$x = 22,9$	10,28
	$x + 8$	27,92	$x = 22,2$	9,96
	$x + 12$	25,29	$x = 23,9$	10,73
3 éléments	$x$	23,49		
	$x + 2$	21,63	$x = 23,2$	10,41
	$x + 4$	20,00	$x = 23,9$	10,28
	$x + 6$	18,65	$x = 23,1$	10,37
	$x + 8$	17,32	$x = 22,4$	10,05
	$x + 12$	15,49	$x = 23,2$	10,41

La valeur de  $x$  reste ici sensiblement constante ; il est vrai que la longueur du fil additionnel n'a pas varié dans des limites très-étendues ; d'un autre côté, l'influence de la tension spécifique de la source n'est pas appréciable. Quant à la valeur absolue de la longueur calculée du fil induit, elle est encore supérieure à la longueur réelle, mais un peu plus faible que dans le tableau précédent, d'où l'on devrait conclure que la conductibilité du fil de laiton pour l'électricité induite diminue quand son diamètre augmente ; ce résultat serait contraire à celui qu'a obtenu M. Abria. Je dois remarquer cependant que le fil de laiton de  $0^{\text{mm}},38$  avait une conductibilité moindre que le fil de  $0^{\text{mm}},25$ .

#### QUATORZIÈME TABLEAU.

On intercale dans le circuit induit une colonne de sulfate de cuivre de  $42^{\text{mm}}$  de diamètre.

Nombre des éléments de la pile.	Longueur du circuit induit.	$\sqrt{T}$	Longueur calculée du fil induit.	Valeur réduite en fil de laiton de $0^{\text{mm}},25$ .
6 éléments	$x$	37,68		$m$
	$x + 12^{\text{mm}}$	33,76	$x = 109^{\text{mm}}$	10,01
	$x + 22$	30,98	$x = 101$	9,81
	$x + 34$	28,28	$x = 102$	9,91
	$x + 50$	25,13	$x = 100$	9,72
	$x + 64$	23,66	$x = 108$	10,49
	$x + 84$	21,26	$x = 108$	10,49
	$x + 114$	19,49	$x = 121$	11,76
	$x + 154$	17,00	$x = 126$	12,24

## QUINZIÈME TABLEAU.

On intercale dans le circuit induit une colonne d'azotate de cuivre de 42<sup>mm</sup> de diam.

Nombre des éléments de la pile.	Longueur du circuit induit	$\sqrt{T}$	Longueur calculée du fil induit.	Valeur réduite en fil de laiton de 0 <sup>mm</sup> ,25.
6 éléments	$x$	37,68		
	$x + 14^{\text{mm}}$	34,98	$x = 181^{\text{mm}}$	7,30 <sup>m</sup>
	$x + 34$	32,31	$x = 204$	8,03
	$x + 64$	29,32	$x = 224$	8,82
	$x + 104$	26,60	$x = 249$	9,81
	$x + 144$	23,91	$x = 250$	9,85
	$x + 194$	22,36	$x = 283$	11,15
6 éléments	$x$	37,94		
	$x + 33,5$	32,86	$x = 213$	8,39
	$x + 73,5$	29,46	$x = 253$	9,96
	$x + 113,5$	26,83	$x = 273$	10,01
	$x + 153,5$	24,57	$x = 283$	11,07
	$x + 203,5$	22,71	$x = 302$	11,89
2 éléments	$x$	18,00		
	$x + 33$	15,49	$x = 203$	7,99
	$x + 73$	13,63	$x = 227$	8,94
	$x + 123$	12,49	$x = 278$	10,95
	$x + 203$	10,77	$x = 302$	11,89

Les nombres inscrits dans les deux tableaux précédents montrent que pour le sulfate de cuivre la valeur réduite de  $x$  croît très-lentement et ne diffère pas sensiblement de celle qu'a donné le fil de laiton de 0<sup>mm</sup>,38 de diamètre.

L'azotate de cuivre se comporte bien différemment : dans ce cas la valeur de  $x$ , d'abord plus faible, croît très-rapidement, et la tension spécifique de la source n'influe pas d'une manière sensible sur le résultat. Je dois d'ailleurs faire remarquer que les dissolutions employées étaient formées avec des produits très-purs dissous dans l'eau distillée. La dissolution de sulfate était presque saturée, celle d'azotate était à son maximum de conductibilité ; c'est-à-dire qu'après avoir été saturée, on l'avait étendue de deux fois son volume d'eau. Ces colonnes liquides étant introduites dans le circuit d'un courant dont faisait partie la boussole, on pouvait, en augmentant ou diminuant leur longueur, déterminer la résistance de la pile en fonction de la colonne liquide employée, et l'on obtenait des nombres très-concordants qui ne différaient que par les dixièmes de millimètre. Les particularités que présentent les deux tableaux précédents ne peuvent donc être attribuées à l'impureté des dissolutions ou à la variation de diamètre du tube dans lequel elles étaient contenues. La conductibilité des liquides variant très-rapidement avec la température, toutes ces expériences ont été faites à des températures peu différentes et comprises entre 25° et 28°. Les plus faibles modifications apportées à la nature du liquide employé peuvent altérer notablement les résultats. C'est ainsi qu'en opérant sur une dissolution de sulfate mélangé d'une très-petite quantité d'azotate, j'ai obtenu pour la longueur calculée du fil induit un nombre bien supérieur aux valeurs précédentes, comme l'indique le tableau suivant :

## SEIZIÈME TABLEAU.

On intercale dans le circuit induit une colonne de sulfate de cuivre mélangée d'azotate.

Nombre des éléments de la pile.	Longueur du circuit induit.	$\sqrt{T}$	Longueur calculée du fil induit.	Valeur réduite en fil de laiton de 0 <sup>mm</sup> ,25.
3 éléments	$x$	22,89		
	$x + 32,5^{\text{mm}}$	18,65	$x = 142^{\text{mm}}$	$13,80^{\text{m}}$
	$x + 72,5$	15,36	$x = 147$	14,28
	$x + 122,5$	12,64	$x = 151$	14,67
	$x + 192,5$	10,07	$x = 168$	16,32

J'ai opéré aussi sur la triple hélice en prenant pour inducteur le fil moyen, et pour induit successivement le fil de cuivre et le fil de laiton formant les hélices extrêmes. En intercalant dans le circuit induit des fils de cuivre et de laiton de 0<sup>mm</sup>,35 et 0<sup>mm</sup>,38 de diamètre, j'ai recueilli les nombres suivants.

Le nombre des éléments de la pile est resté invariable.

## DIX-SEPTIÈME TABLEAU.

L'induit est développé dans le fil de cuivre.

Fil intercalé.	Longueur du circuit induit.	$\sqrt{T}$	Longueur calculée du fil induit.	Valeur réduite en fil de laiton de 0 <sup>mm</sup> ,25.
Fil de cuivre de 0 <sup>mm</sup> ,35 de diamètre.	$x$	40,24		
	$x + 6,14^{\text{m}}$	33,94	$x = 33,1^{\text{m}}$	$4,59^{\text{m}}$
	$x + 14,22$	29,46	$x = 38,8$	5,38
Fil de laiton de 0 <sup>mm</sup> ,38 de diamètre.	$x$	40,00		
	$x + 2$	34,40	$x = 12,2$	5,47
	$x + 4$	30,59	$x = 13,0$	5,83
	$x + 8$	24,24	$x = 12,3$	5,42

## DIX-HUITIÈME TABLEAU.

L'induit est développé dans le fil de laiton.

Fil intercalé.	Longueur du circuit induit.	$\sqrt{T}$	Longueur calculée du fil induit.	Valeur réduite en fil de laiton de 0 <sup>mm</sup> ,25.
Fil de laiton de 0 <sup>mm</sup> ,38 de diamètre.	$x$	26,22		
	$x + 2^m$	23,40	$x = 16,5^m$	7,40 <sup>m</sup>
	$x + 4$	20,97	$x = 15,9$	7,13
	$x + 8$	18,00	$x = 17,5$	7,85
<i>Id.</i>	$x$	26,83		
	$x + 2$	24,00	$x = 16,9$	7,58
	$x + 4$	21,56	$x = 16,3$	7,31
	$x + 6$	20,39	$x = 18,9$	8,48
	$x + 8$	18,97	$x = 19,3$	8,66
	$x + 12$	17,81	$x = 21,8$	9,78
Fil de cuivre de 0 <sup>mm</sup> ,35 de diamètre.	$x$	26,83		
	$x + 6,14$	24,00	$x = 52,0$	7,22
	$x + 14,22$	20,88	$x = 49,9$	6,93

L'examen de ces deux séries de résultats, malgré quelques inexactitudes évidentes, conduit à cette conséquence que la longueur du circuit induit est représentée par des valeurs équivalentes du fil de cuivre et du fil de laiton servant à affaiblir le courant secondaire, d'où il suit que le rapport des conductibilités du cuivre et du laiton pour l'électricité induite ne diffère pas notablement du rapport de leurs conductibilités pour l'électricité d'une source. Nous devons donc nous borner pour le moment à regarder l'excès de la longueur calculée du fil induit sur sa lon-

gueur réelle, comme n'exprimant autre chose que la tension du flux électrique qui est développé, ou en d'autres termes sa résistance effective. Il est vrai qu'à ce point de vue on explique difficilement l'accroissement progressif de la valeur calculée du fil induit à mesure que la longueur du conducteur intercalé augmente. alors surtout que cet accroissement n'est pas proportionnel à la longueur réduite de ce conducteur, ce qui est évident quand on compare les résultats fournis par le sulfate et l'azotate de cuivre.

On peut encore remarquer ce fait signalé plus haut, que les longueurs calculées des deux fils induits, c'est-à-dire leurs résistances effectives, ne sont pas proportionnelles à leur conductibilité.

Si l'on compare enfin la longueur calculée du fil de l'hélice de 110 mètres, quand on affaiblit le courant avec du fil de laiton de 0<sup>mm</sup>,35 de diamètre, avec la longueur calculée du fil de cuivre de l'hélice de 40 mètres; quand on affaiblit le courant de la même manière, on trouve que ces longueurs sont sensiblement proportionnelles à leurs longueurs vraies, en comprenant toutefois dans ces dernières le fil de la balance.

L'altération de l'interrupteur dont je me servais, ne m'a pas permis d'aller plus avant dans ces recherches. Si l'on admet les conséquences que j'ai tirées des expériences consignées dans les derniers tableaux et les diverses manières dont on peut interpréter les résultats, il est clair qu'il y aurait à rechercher quelle peut être l'influence de la nature de la source électrique employée sur la longueur calculée du fil induit. Il faudrait aussi opérer isolément sur le courant direct et sur l'inverse; les résultats différents qu'on peut obtenir dans ce dernier cas permettraient d'expliquer la différence observée entre ces deux courants quand ils développent le magnétisme dans les aiguilles. Observons encore qu'il serait nécessaire d'employer des fils ne formant qu'un seul circuit. Je n'ai expérimenté qu'avec des fils enroulés, de telle sorte que



chaque tour du fil inducteur agissait sur plusieurs tours voisins du fil induit, et cette circonstance influe peut-être beaucoup sur le résultat. En opérant dans ces conditions, on pourrait peut-être obtenir avec l'électricité induite des résultats analogues à ceux que M. Melloni a déduits de ses expériences sur la chaleur rayonnante ; mais il serait prématuré de se laisser aller à des inductions que les expériences précitées ne sauraient justifier suffisamment.

VU ET APPROUVÉ,

*Le Doyen de la Faculté,*

MILNE-EDWARDS.

VU par le Recteur de l'Académie de la Seine,

Paris, le 4 octobre 1881,

CAYX.

# THÈSE DE CHIMIE.



## ISOMÉRIE DES COMPOSÉS ORGANIQUES.

(PRÉPARATION D'UNE NOUVELLE COMBINAISON ISOMÈRE DE L'ESSENCE DE TÉRÉBENTHINE.)

Les nombreuses découvertes dont s'est enrichi dans ces dernières années le domaine de la chimie organique et l'étude comparative des dérivés si multipliés qu'ont fourni les principes immédiats des végétaux et des animaux, ont mis en évidence ce fait si intéressant pour la mécanique chimique : que des substances formées des mêmes principes pondérables, unis dans les mêmes proportions, peuvent différer par des caractères chimiques très-divers et par des affinités chimiques dissemblables ; de telle sorte qu'on est obligé de les envisager comme constituant des systèmes moléculaires distincts.

C'est depuis l'année 1830 que l'attention des chimistes a été dirigée vers ce nouvel ordre de faits. En étudiant simultanément l'acide tartrique et l'acide racémique, ainsi que leurs combinaisons salines, Berzélius sentit la nécessité d'une dénomination précise qui pût

caractériser la différence observée entre des corps possédant la même composition élémentaire, et grouper ainsi sous un nom, une classe de phénomènes dont la chimie minérale et la chimie organique fournissaient déjà plusieurs exemples (1). Il appela donc isomères tous les corps formés des mêmes éléments, possédant la même composition en centièmes, et présentant néanmoins des caractères chimiques divergents.

Depuis cette époque, le nombre des substances isomères s'est prodigieusement accru, et l'on a dû les diviser en deux catégories bien distinctes : les unes, ayant le même équivalent, sont représentées par des formules chimiques identiques ; ce sont les isomères proprement dits. Les autres diffèrent par leurs équivalents, qui le plus souvent sont entre eux dans des rapports très-simples. Ces derniers ont reçu le nom de polymères.

*Polymérie.* — En laissant de côté quelques substances polymères d'origines diverses, et qui, par leur dédoublement sous l'influence des agents d'oxydation, se distinguent radicalement et doivent être considérés comme des types chimiques tout à fait différents, tels que l'alcool et l'éther méthylique, les cas les plus remarquables de polymérie sont fournis par certains composés aux affinités peu déterminées, et dont quelques-uns peuvent être envisagés soit comme des radicaux, soit comme des corps limites établissant le passage des neutres aux acides. Les modifications polymériques observées dans ces substances s'accomplissent, tantôt sous l'influence de la chaleur, tantôt par l'intervention de quelques agents énergiques, tels que l'acide sulfurique ; d'autres fois, elles se produisent spontanément et par l'action seule du temps.

C'est, par exemple, sous l'influence de la chaleur, que le cyanogène se transforme en para-cyanogène dont l'équivalent n'est pas déterminé. Cette tendance de la chaleur à provoquer la for-

(1) *Annales de Physique et de Chimie*, t. XLVI, p. 156.

mation des polymères a été signalée pour la première fois par M. Balard dans ses recherches sur l'alcool amylique. L'amylène  $C^{10} H^{10}$  qui résulte de l'action du chlorure de zinc sur l'alcool se dégage en même temps que le paramylène  $C^{20} H^{20}$  et le métamylène  $C^{10} H^{10}$ . C'est de même sous l'influence combinée de la chaleur et de l'acide sulfurique que l'essence de térébenthine donne naissance à son polymère, le colophène.

Les transformations moléculaires qui s'opèrent spontanément sont aussi très-nombreuses et s'observent particulièrement dans un groupe de composés que l'on a appelés aldéhydes, à cause de leur analogie avec l'aldéhyde proprement dite. Celle-ci se transforme à la longue en élaldéhyde et métaldéhyde, dont l'équivalent, à en juger par le degré d'ébullition et la densité de vapeur, doit être plus élevé.

L'acroléine, l'essence d'amandes amères, l'hydrure de salicyle, les essences de canelle et de cumin, indépendamment des caractères chimiques qui les placent à côté de l'aldéhyde, présentent la même tendance à se transformer spontanément. L'acroléine se change en disacryle, l'essence d'amandes amères fournit la benzoïne et la benzoïline. Le polymère de l'essence de canelle se trouve tout formé dans le baume du Pérou, où M. Fremy l'a signalé sous le nom de métacinnaméine. La cire d'abeille, qu'on peut regarder comme l'aldéhyde stéarique, renferme de même son polymère, la myricine.

Cette disposition d'un certain nombre de corps à éprouver ce changement moléculaire qui détermine un groupement plus stable se retrouve souvent dans les combinaisons où ils sont engagés.

L'oxacide du cyanogène, par exemple, c'est-à-dire l'acide cyanique, se transforme spontanément en un acide tribasique, l'acide cyanurique, dont l'équivalent est trois fois plus élevé. Le chlorure de cyanogène, le chloral et sa modification insoluble donnent lieu à la même remarque. Sous l'influence de l'ammoniac, les isomères de l'essence d'amandes amères donnent nais-

sance à des corps copulés polymères de l'hydrobenzamide, qui provient de l'action directe de l'ammoniaque sur l'essence. Ces rapprochements indiquent l'importance que peuvent acquérir les phénomènes de polymérie pour déterminer le caractère chimique d'une substance, et la famille naturelle dont elle fait partie, indépendamment des conséquences que peut tirer la chimie moléculaire des différences physiques observées.

C'est ainsi qu'un grand nombre d'essences oxygénées provenant de la distillation des plantes, et dont l'étude est encore si incomplète, laissent déposer à la longue des cristaux auxquels on a donné le nom de camphres ou stéaroptènes. Leur composition est souvent identique à celle du liquide au sein duquel ils se sont formés, et ce caractère s'ajoute à d'autres pour placer ces essences dans le groupe des aldéhydes.

*Isomérisie.* — Les composés isomères sont plus nombreux que les polymères, et l'on peut les diviser en plusieurs groupes.

Certains d'entre eux n'ont aucun rapport d'origine, proviennent souvent de réactions chimiques opposées et constituent des types entièrement différents; ils sont séparés par leurs caractères chimiques essentiels, leur mode de dédoublement, et n'ont de commun que la composition élémentaire. Je citerai quelques exemples.

Plusieurs acides monobasiques homologues appartenant à la série dont l'acide formique est le premier terme, ont leurs isomères dans la série des éthers vinyques ou méthyliques que ces acides peuvent former.

L'acide butyrique et l'éther acétique,  $C^4 H^8 O^4$ .

L'acide valérique et l'éther méthylo-butyrique,  $C^{10} H^{10} O^4$ .

L'acide caproïque et l'éther butyrique,  $C^{12} H^{12} O^4$ .

L'acide caprylique et l'éther caproïque,  $C^{16} H^{16} O^4$ .

En complétant par la pensée ces séries homologues, dont plusieurs termes manquent encore, il est facile de prévoir de nouveaux cas d'isomérisie semblables.

D'autres éthers composés acides ou neutres formés par des acides monobasiques et bibasiques sont les isomères d'autres acides ou éthers n'appartenant pas au même groupe.

L'acide succinique, l'acide oxalovinique et l'éther méthylolaxalique,  $C^8 H^6 O^4$ .

L'éther oxalique, l'acide adipique et l'éther méthylol-succinique,  $C^{12} H^{10} O^8$ .

L'éther amyloacétique et l'éther valérique,  $C^{14} H^{14} O^4$ .

Les acides pimélique et oxalamylique,  $C^{14} H^{12} O^8$ .

L'éther méthylol-salicylique et les acides anisique et formobenzoylique,  $C^{16} H^8 O^6$ .

L'acide subérique et l'éther succinique,  $C^{16} H^{14} O^8$ .

L'éther méthylanisique et l'éther salicylique,  $C^{18} H^{10} O^6$ .

Quelques acides ont aussi des isomères dans le groupe des neutres.

L'acide benzoïque et l'hydrure de salicyle,  $C^{14} H^8 O^4$ .

L'acide pyro-gaïque et la saligénine,  $C^{14} H^8 O^4$ .

L'acide antranilique et la salicylamide,  $C^{14} H^7 Az O^4$ .

On rencontre encore certaines substances neutres dont les caractères différentiels sont assez tranchés pour les rattacher à la même catégorie d'isomères.

L'acroléine et l'aldéhyde-mésitique,  $C^6 H^4 O^2$ .

L'éther-cyanique et l'asparagine,  $C^8 H^8 Az^2 O^6$ .

L'éther-mésitique et l'essence de valériane,  $C^{12} H^{10} O^2$ .

La benzamide et la salhydramide,  $C^{14} H^7 Az O^2$ .

L'éther méthylol-benzoïque et l'orcine,  $C^{16} H^8 O^4$ .

Une conséquence toute naturelle se déduit de l'existence de corps isomères aux propriétés physiques et chimiques si opposées. C'est que les caractères essentiels d'un composé ne dépendent pas seulement des proportions suivant lesquelles ses éléments y sont combinés; l'arrangement des molécules exerce une influence profonde sur sa nature chimique, et doit être regardé

comme la cause principale qui donne aux substances organiques leur physionomie particulière.

L'étude comparée des corps isomères fournit souvent des rapprochements intéressants, et permet de décider des questions controversées. Les dérivés chlorés résultant de l'action du chlore sur l'éther méthylhydrochlorique étant identiques à ceux qu'on obtient en faisant agir le chlore sur l'hydrogène protocarboné, on peut regarder tous ces corps et l'éther lui-même comme dérivant par substitution de l'hydrocarbure  $C^2 H^4$ .

La liqueur des Hollandais et l'éther chlorhydrique donnent aussi des substances chlorées de même composition, mais non identiques, et qu'on doit regarder comme isomères : d'où l'on conclut que l'éther chlorhydrique et ses divers degrés de chloruration ne proviennent pas de l'hydrocarbure  $C^4 H^4$ , et dérivent sans doute d'un carbure d'hydrogène  $C^4 H^6$  encore inconnu.

Un deuxième groupe de substances isomères pourrait comprendre celles dont les qualités chimiques sont analogues, dont l'origine est souvent commune, ou qui sont même engendrées par les altérations qu'éprouve une substance unique sous l'influence de certains agents puissants. Ici, les caractères différentiels ne sont pas aussi tranchés; l'état physique, la modification subie par la lumière polarisée, la capacité de saturation, le degré de solubilité des sels sont les principaux; parmi les acides, il faut citer :

Les acides maléique et fumarique,  $C^4 H^4 O^4$ .

L'acide citrique anhydre, les acides pyroméconique et pyromucique,  $C^{10} H^4 O^8$ .

Les acides lipique et citraconique,  $C^{10} H^6 O^8$

Les acides mucique et oxysaccharique,  $C^6 H^8 O^8$ .

Les acides tartrique et paratartrique,  $C^4 H^6 O^{12}$ .

Un certain nombre de substances isomères agissent à la manière du quartz sur la lumière polarisée, et devient le plan de polarisation, tantôt à droite, tantôt à gauche. Jusqu'ici l'on avait

regardé ce phénomène comme suffisant pour déterminer un cas d'isomérie; mais les travaux récents dont l'acide paratartrique a été l'objet, nous montrent qu'à cet égard il faut se prononcer avec plus de circonspection. L'acide paratartrique étant formé de deux acides tartriques à pouvoirs rotatoires égaux et opposés, lesquels ne se distinguent, de même que le quartz, que par la forme cristalline, dont les facettes hémiedriques sont de sens opposé; ces différences dans la forme cristalline et le pouvoir rotatoire, ne peuvent constituer qu'un phénomène de dimorphisme. La faculté remarquable dont jouit l'acide tartrique de conserver son état dimorphique et ses propriétés optiques, alors qu'il a été dissous, permettront peut-être de ne considérer que comme des états polymorphiques d'une seule et même substance, des corps jusqu'ici regardés comme isomères. Les gommés et les sucres, par exemple, présentent des cas d'isomérie dont le pouvoir rotatoire est le caractère différentiel le plus saillant. Le camphène dégagé de sa combinaison liquide ou solide avec l'acide chlorhydrique ne possède pas le pouvoir rotatoire de l'essence primitive, et aux yeux de quelques chimistes, ces deux corps ne sont que des états dimorphiques d'une seule et même substance.

Il n'en est plus de même quand on compare l'essence de citron (citène) à l'essence de térébenthine (camphène) et au térébène provenant de l'action de l'acide sulfurique sur le camphène. Ces substances se distinguent non-seulement par leur pouvoir rotatoire, mais encore par leur capacité de saturation qui n'est pas la même; leurs chlorhydrates sont en effet :

Chlorhydrate de citène,  $C^{20}H^{16}$ ,  $Cl^2H^2$ .

Chlorhydrate de camphène,  $C^{20}H^{16}$ ,  $ClH$ .

Chlorhydrate de térébène,  $C^{20}H^{16}$ ,  $1/2 ClH$ .

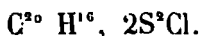
Cette différence se reproduit, lorsqu'on engage ces matières dans de nouvelles combinaisons.

Le décroissement graduel de la capacité de saturation de la molécule  $C^{20}H^{16}$ , à mesure que la stabilité de l'équilibre moléculaire



laire augmente, permettait de supposer l'existence d'un isomère du citrène et du camphène, dont la capacité de saturation fût nulle. Quelques essais tentés sur l'essence de térébenthine m'ont permis, en effet, de préparer cette substance et d'en constater la composition et les propriétés.

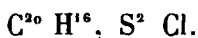
Il suffit, pour arriver à ce résultat, de combiner l'essence de térébenthine avec le protochlorure de soufre. Lorsqu'on introduit dans une cornue un poids déterminé de protochlorure de soufre ( $S^2 Cl$ ), et qu'on le mélange peu à peu avec de l'essence, les deux corps s'unissent en dégageant une grande quantité de chaleur, et à chaque addition il faut avoir soin de refroidir la cornue. Tant que la saturation n'est pas complète, quelques gouttes d'essence surajoutés développent encore beaucoup de chaleur, et l'on est averti du moment où la réaction est achevée, quand l'élévation de température cesse. On s'aperçoit alors que le poids de l'essence employée est sensiblement égal à celui du chlorure de soufre introduit dans la cornue; de sorte que le produit formé peut se représenter par la formule



Cette combinaison est visqueuse, d'une teinte rougeâtre très-foncée, peu soluble dans l'alcool, un peu plus soluble dans l'éther. Elle commence à se décomposer à la température ordinaire et dégage de l'acide chlorhydrique. Soumise à la distillation, elle se boursoufle, le dégagement de gaz chlorhydrique est très-abondant; bientôt l'ébullition se régularise, des produits liquides incolores se condensent dans le récipient, tandis que des matières solides s'accablent dans le col de la cornue, et le gaz chlorhydrique qui ne cesse de se produire, se trouve mélangé d'une proportion de plus en plus considérable d'hydrogène sulfuré. Vers la fin de l'opération, il ne se produit plus que de l'hydrogène sulfuré pur et quelques gouttes d'une huile jaunâtre très-sulfurée. Le résidu est formé de charbon. La partie solide du produit dis-

tillé se compose principalement de camphre solide d'essence, mélangé d'une petite proportion d'un autre corps qui lui communique une forte odeur de pomme reinette. La partie liquide étant soumise à une nouvelle distillation, entre en ébullition à 165° et fournit une certaine quantité d'un corps isomère de l'essence, vient ensuite à une température un peu plus élevée du chlorhydrate de camphène liquide et une grande quantité de camphre solide qui était retenu en dissolution. Le résidu ne distille qu'à une température plus élevée, et renferme des huiles sulfurées qui se décomposent en perdant du gaz sulfhydrique. Le liquide recueilli entre 165° et 175° peut être débarrassé de quelques produits étrangers en l'agitant avec de l'acide sulfurique; mais il reste toujours mélangé d'une petite quantité de camphre solide, dont je n'ai pu le priver entièrement.

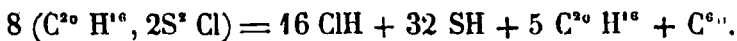
On l'obtient dans un plus grand état de pureté, en distillant la combinaison du térébène avec le protochlorure de soufre. En versant peu à peu du térébène dans le protochlorure de soufre, il y a dégagement de chaleur, moins grand toutefois qu'avec l'essence de térébenthine. La réaction est terminée quand le poids du térébène employé est double de celui du chlorure; ce qui indique que pour le chlorure de soufre comme pour l'acide chlorhydrique, la capacité de saturation du térébène est moitié moindre que celle du camphène. Le chlorosulfate de térébène se représentera donc par la formule :



Ce composé possède aussi une teinte rougeâtre très-foncée; il est moins visqueux que le chlorosulfate d'essence, et ne se décompose pas à la température ordinaire. Quand on le distille au bain de sable, il perd d'abord de l'acide chlorhydrique, plus tard de l'hydrogène sulfuré. Les produits qui se condensent dans le récipient sont tous liquides. En regardant comme accidentelle la formation d'une petite quantité d'huiles sulfurées, on peut dire

que dans la décomposition par la chaleur des chlorosulfates de camphène et de térébène, le chlore et le soufre s'unissent à l'hydrogène d'une partie de l'hydrocarbure, et mettent en liberté le carbone.

On aurait donc pour le chlorosulfate de camphène, par exemple,



Il faut ajouter que l'acide chlorhydrique ne se dégage pas en totalité et reste uni à une partie de l'hydrocarbure.

Le liquide résultant de la décomposition du chlorosulfate de térébène étant redistillé avec ménagement, entre en ébullition à 165°. Les trois quarts passent au-dessous de 175°. A une température plus élevée, la petite quantité de chlorhydrate de térébène qu'il renferme distille, en se décomposant en partie et plus tard, les huiles sulfurées se décomposent à leur tour en dégageant du gaz sulfhydrique. La partie qui passe au-dessous de 175° étant agitée plusieurs fois avec de l'acide sulfurique concentré, filtré sur de la craie, et distillé de nouveau en négligeant les dernières portions, est un isomère bien caractérisé de l'essence de térébenthine. Je l'appellerai, pour abrégé, para-térébène.

Le para-térébène est un liquide incolore, très-mobile, d'une odeur éthérée particulière qui permet de le distinguer aisément du camphène ou du térébène. Comme le térébène, il n'agit pas sur la lumière polarisée. Il entre en ébullition à 165°. Quelque soin que j'aie apporté à la purification de ce produit, j'ai toujours remarqué que le degré d'ébullition s'élevait peu à peu, de telle sorte que les dernières portions ne passent qu'à 170°. Sa densité est 0,836 à la température de 28° centigrades, c'est-à-dire à peu près égale à celle de l'essence à la même température. L'acide sulfurique n'exerce sur lui aucune action, il ne se combine pas avec le proto-chlorure de soufre à la température ordinaire, et n'absorbe pas l'acide chlorhydrique. L'acide azotique du commerce

l'attaque lentement. Avec l'acide azotique monohydraté, l'action est plus vive, il se dégage d'abondantes vapeurs nitreuses, et l'on obtient comme résultat une liqueur acide tenant en suspension une résine visqueuse jaune-citron, d'autant plus solide que l'action de l'acide a été plus prolongée. La liqueur acide évaporée et traitée successivement par l'eau, l'alcool et l'ammoniaque, fournit en petite quantité des produits acides qui paraissent identiques à ceux de l'essence de térébenthine et parmi lesquels j'ai pu reconnaître les caractères qui distinguent les acides oxalique, térébenzique et téréphtalique.

Afin de mettre hors de doute sa composition, j'ai fait deux analyses dont voici le résultat :

I. 0<sup>g</sup>,735 de matière ont donné 0<sup>g</sup>,81 d'eau et 2<sup>g</sup>,4 d'acide carbonique.

II. 0<sup>g</sup>,612 de matière ont donné 0<sup>g</sup>,657 d'eau et 1<sup>g</sup>,969 d'acide carbonique.

D'où	I.	II.	calculé.
Carbone	87,11	87,90	88,24
Hydrogène	12,00	11,92	11,76
Perte	0,89	0,18	»
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	100,00	100,00	100,00

Dans la première analyse, la combustion avait été incomplète ; le tube à chlorure et le tube à boules exhalaient une forte odeur de naphthaline ; ce qui prouve en passant que le para-camphène fournit, comme le camphène, le même produit quand on le décompose par la chaleur. Pour fixer l'équivalent de ce corps, il eût été nécessaire de déterminer la densité de sa vapeur. Mais son point d'ébullition, qui est identique à celui de l'essence, permet de supposer que la densité de vapeur est aussi la même.

Le chlore sec attaque assez vivement le para-térébène sous l'influence de la lumière diffuse, il y a production de chaleur et dégagement d'acide chlorhydrique. On obtient comme résultat un liquide visqueux, d'une odeur camphrée persistante et dont la

densité est 1,45 à la température de 28°. Soumis à la distillation, il dégage de l'acide chlorhydrique, et le liquide qui passe dans le récipient présente une couleur rose violacée. Ce corps possède donc des propriétés semblables à celles du térébène bi-chloré ; il en a aussi la composition. En effet, 4<sup>s</sup>,863 de matière traités par la chaux vive ont donné 3<sup>s</sup>,954 de chlorure d'argent : soit 52,38 p. 0/0 de chlore. La formule  $C^{20}H^{12}Cl^4$  exige 51,82.

Le colophène se combine aussi avec le protochlorure de soufre ; la réaction est très-vive et sa capacité de saturation paraît être moitié moindre que celle du térébène ; le produit formé se décompose rapidement à la température ordinaire et laisse échapper de grandes quantités de gaz chlorhydrique ; à la distillation le soufre tout entier passe à l'état de gaz sulfhydrique, et comme produit final on obtient un isomère du colophène et un résidu de charbon. La réaction est donc très-nette.

Le para-colophène bout à 310° ; son odeur est différente de celle du colophène, et il ne possède que faiblement le dichroïsme de ce dernier. En cherchant à purifier ce corps sur l'alliage de potassium et d'antimoine, j'ai perdu le produit et n'ai pas poussé plus loin son étude.

La préparation du para-térébène est un nouvel exemple de la tendance que possède la molécule  $C^{20}H^{16}$  à se modifier isomériquement sous l'influence des agents énergiques. Elle complète, en outre, une série d'isomères dont la stabilité moléculaire est de plus en plus grande, en même temps que leur capacité de saturation diminue jusqu'à devenir nulle.

VU ET APPROUVÉ,

*Le Doyen de la Faculté,*  
MILNE-EDWARDS.

VU par le Recteur de l'Académie de la Seine,

Paris, le 4 octobre 1851,

CAYX.

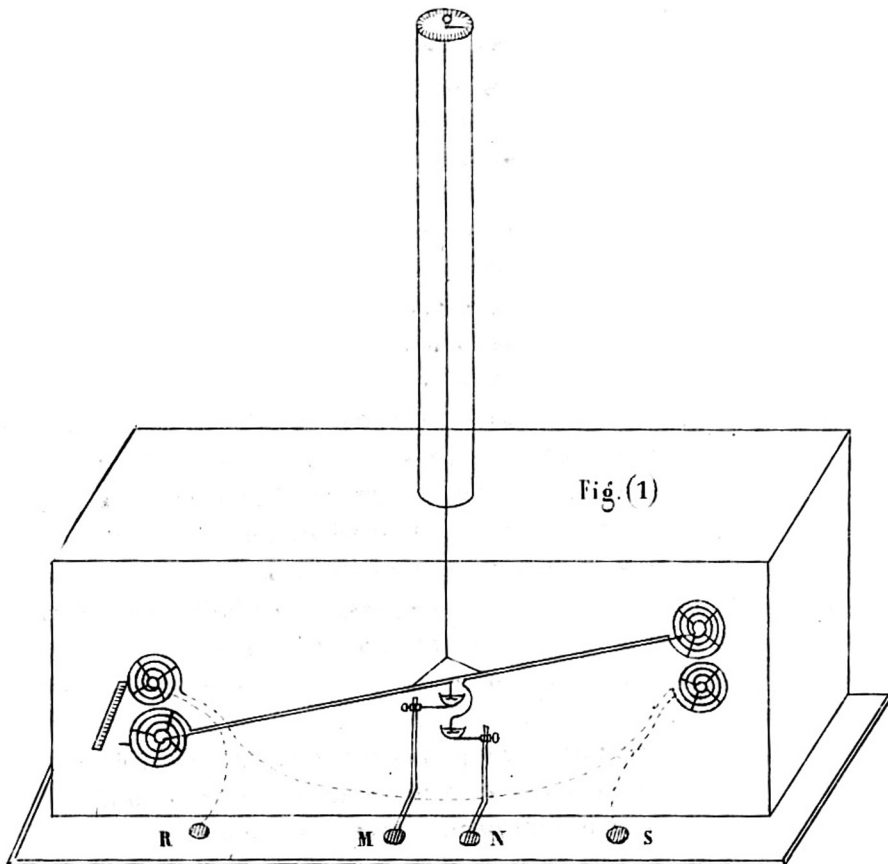


Fig. (1)

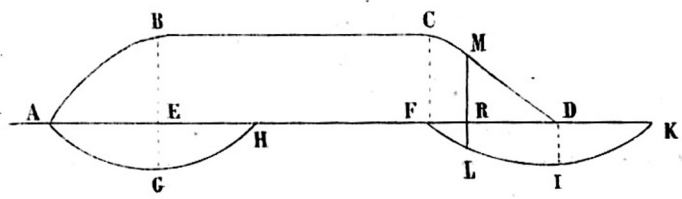


Fig. (2)

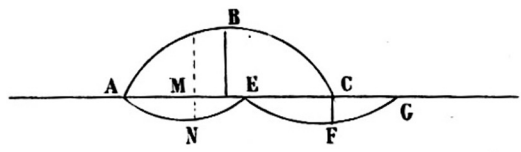


Fig. (3)