

Fig. 10.

Fig. 11.

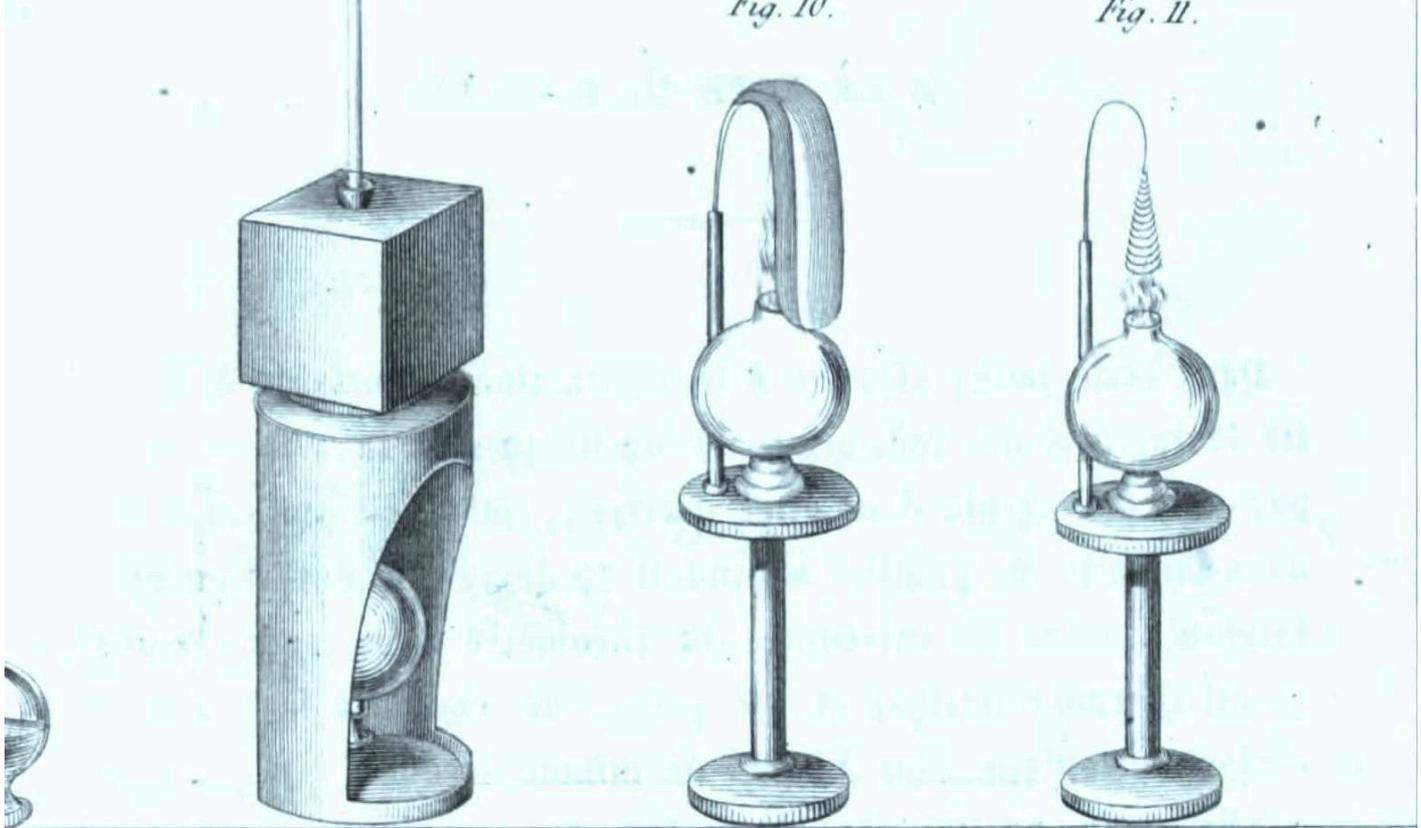
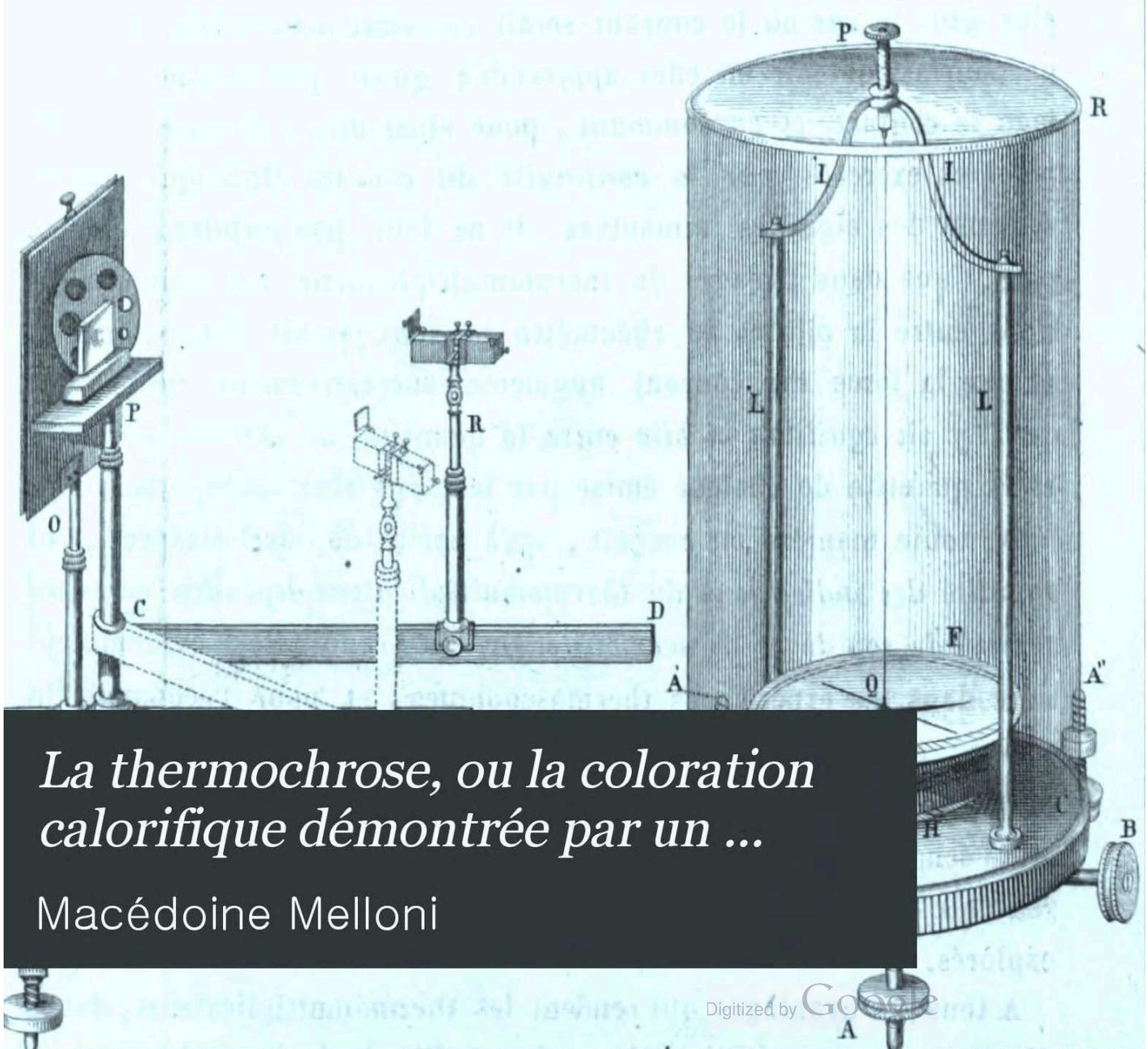


Fig. 7.



*La thermochrose, ou la coloration calorifique démontrée par un ...*  
 Macédoine Melloni

# LA THERMOCHROÏSE<sup>A</sup>

OU LA

## COLORATION CALORIFIQUE

DÉMONTRÉE PAR UN GRAND NOMBRE D'EXPÉRIENCES,  
ET CONSIDÉRÉE SOUS SES DIVERS RAPPORTS AVEC LA SCIENCE  
DE LA CHALEUR RAYONNANTE.

PAR

**MAGÉDOINE MELLONI.**

De la Société Italienne des Sciences et de l'Académie de Naples et de Turin ; l'un des trente associés étrangers de l'Ordre pour le mérite (sciences et arts) de Prusse ; membre des Sociétés royales de Londres et d'Édimbourg, et de l'Académie royale de Suède ; correspondant de l'Institut de France et des Académies de Berlin, de Genève, de Saint-Petersbourg, etc.

**Ouvrage complémentaire de tous les traités de physique**

La metafisica delle geometrie sta negli  
assiomi e ne' postulati, e quella delle  
fisiche nelle osservazioni e nelle spe-  
rienze.

GALILEO GALILEI.

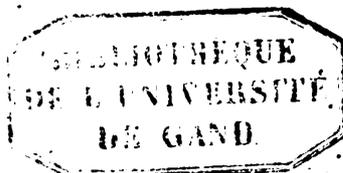
PREMIÈRE PARTIE

---

NAPLES

IMPRIMERIE DE JOSEPH BARON

1850



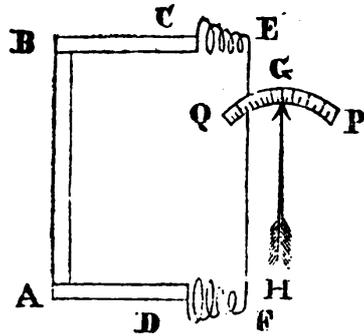
scopique sans communiquer les secousses produites à l'indicateur , permet aussi à l'observateur de lire à son aise les divisions marquées sur cette partie de l'instrument sans craindre que la chaleur propre de son corps influe sur les résultats. On ne pourrait toutefois comprendre à fond la structure et l'usage de ces appareils sans la connaissance de plusieurs faits électro-magnétiques , que nous allons tâcher de réunir dans le paragraphe suivant.

### §. 3.

*Notions sur les courants thermo-électriques , et leur application à la mesure des petites différences de température.*

La nature de cet ouvrage ne nous permet pas une exposition complète des propriétés appartenant aux courants électriques excités par la chaleur. Nous allons cependant développer avec toute l'étendue convenable celles de ces propriétés qui se rapportent à notre but , et entrer dans les plus petits détails nécessaires pour bien comprendre les principes sur lesquels repose la construction des thermactinomètres électro-magnétiques.

Tous les métaux convenablement accouplés développent des courants électriques par l'action de la chaleur. Pour ne pas nous écarter inutilement de l'objet que nous avons en vue, et donner en même temps plus de clarté à l'exposition, nous prendrons toujours comme exemples le bismuth et l'antimoine, qui sont les métaux les plus énergiques pour ce genre d'action , et comme tels uniquement employés dans la structure des instruments destinés à l'étude de la chaleur rayonnante.



Soit AB un barreau de bismuth, AD, BC deux barreaux d'antimoine, CEFD un fil de cuivre ou d'argent qui réunit ensemble les extrémités libres de ces derniers barreaux, le tout en contact métallique, ou soudé bout à bout, comme le représente la figure.

Tant que les différentes parties de ce *circuit* sont à la même température, elles n'exercent aucune action sur une aiguille aimantée GH librement suspendue et horizontale, que nous supposons indiquer le pôle boréal par sa pointe G. Mais si l'on vient à chauffer une des soudures du bismuth avec les barreaux d'antimoine, la soudure A, par exemple, et que l'on approche ensuite une portion EF du conducteur au-dessus ou au-dessous de l'aiguille, celle-ci dévie vers P dans le premier cas, et vers Q dans le second. Si, au lieu de tenir le fil horizontalement comme l'aiguille, on lui donne une direction verticale, le point E en haut, on voit encore l'aiguille dévier vers P ou vers Q selon que l'on présente le fil à l'extrémité G ou à l'extrémité opposée H.

Ces déviations, qui sont dues à un courant électrique excité dans le circuit ABCEFD par l'action de la chaleur, se font en sens contraire lorsqu'on renverse le courant, c'est-à-dire lorsqu'on retourne le fil EF, de manière à porter l'extrémité F en E, et vice versa. Par conséquent, en renversant deux fois le fil, on pourra rendre conspirantes les quatre actions que nous venons de décrire, c'est-à-dire qu'on pourra les réduire toutes à faire dévier l'aiguille dans le même sens. Or il est facile de voir que cela se produit lorsqu'après avoir dirigé le fil au-dessous de l'aiguille, en allant de H à G, par

exemple, on le ploie pour le faire monter un peu, et le rap-  
peler ensuite sur lui-même horizontalement au-dessus de  
l'aiguille et pour le replier enfin de nouveau en deçà de H,  
afin qu'il descende encore verticalement sans toucher l'extré-  
mité initiale, de manière à former une espèce de courbe aux  
bouts détachés, un véritable tour de spire vertical entou-  
rant l'aiguille suspendue. En effet le côté horizontal infé-  
rieur de cette spire et le côté vertical ascendant font dévier  
déjà par eux-mêmes l'aiguille vers P, car ils ont les posi-  
tions indiquées précédemment. Quant aux deux autres cô-  
tés ils doivent nécessairement faire dévier l'aiguille dans le  
même sens P, puisqu'ils sont renversés et que tantôt ils pro-  
duisaient la déviation vers Q.

Si au lieu de porter la chaleur en A on chauffait B, il  
est évident qu'il se produirait dans le circuit un courant  
électrique contraire à celui que nous venons d'examiner par  
suite de la parfaite similitude qui existe entre les deux sou-  
dures B et A. Mais les quatre actions de notre spire agi-  
raient toutes encore dans le même sens, et la déviation au-  
rait lieu vers Q avec une intensité égale à celle qui poussait  
tantôt l'aiguille vers P.

Ainsi, en donnant au fil de cuivre ou d'argent dont est  
composé le conducteur, la forme d'une spire, on augmente  
toujours la déviation de l'aiguille aimantée, quelle que soit  
d'ailleurs la direction du courant électrique.

Ce concours de toutes les actions *déviatrices* émanées des  
différents côtés de la spire (concours dû à la nature *évoluti-  
ve* ou *tourbillonnante* de la force électro-magnétique), nous  
donne le moyen d'augmenter immensément l'effet du cou-  
rant et nous permet ainsi d'en découvrir les plus faibles tra-  
ces, qui représentent dans notre cas particulier les moïn-

des différences de température entre les deux soudures A et B.

En effet, comme toutes les parties du fil ont les mêmes propriétés, si l'on forme une seconde, puis une troisième, puis une quatrième spire, et ainsi de suite, il est évident que toutes ces circonvolutions agiront de la même manière sur l'aiguille, et que par conséquent la déviation augmentera avec leur nombre, c'est-à-dire avec la quantité des tours de spire qui composent l'hélice totale. Cela arrive en effet si l'on prend la précaution de couvrir le fil métallique avec de la soie ou du coton pour empêcher la transmission de l'une à l'autre spire, et obliger le courant à parcourir toute la longueur du circuit; car à chaque nouvelle circonvolution on voit l'aiguille s'écarter davantage de sa position primitive.

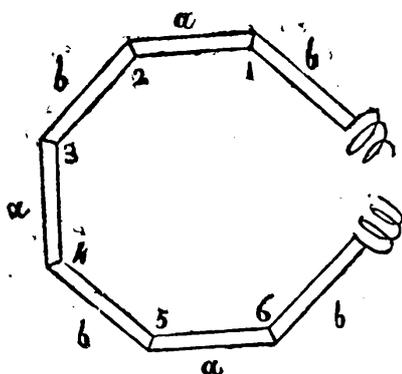
Ces aiguilles magnétiques, environnées ainsi à plusieurs reprises par le fil métallique qui réunit les deux extrémités de l'électromoteur, s'appellent des *galvanomètres*, ou *rhéomètres*, *multiplicateurs*, dénominations parfaitement justes, puisqu'on est convenu de donner le nom de *galvanomètre* ou *rhéomètre* simple à une aiguille aimantée qui dévie sous l'action d'un courant électrique quelconque.

Il est très-important de remarquer que, pour la classe particulière de courants dont nous nous occupons actuellement, la *multiplication* de la force électro-magnétique par l'accroissement des tours de spire se vérifie exactement, comme en toute autre espèce de courant électrique, lorsqu'on n'altère pas le fil qui joint ensemble les deux extrémités de l'électromoteur; mais qu'elle peut manquer, et même se convertir en véritable *soustraction*, lorsque ce fil est remplacé par un autre plus long ou plus mince. Nous pas-

serons sous silence le dernier cas , qui ne nous fournirait aucune lumière sur l'application des courants thermo-électriques à la mesure des faibles degrés de chaleur , seul objet que nous ayons maintenant en vue ; et nous considérerons uniquement le cas de l'augmentation de longueur dans le fil conjonctif, qui sera toujours supposé avoir le même diamètre.

L'expérience prouve qu'en prenant des fils de plus en plus étendus pour joindre ensemble les extrémités libres des deux barreaux d'antimoine, l'intensité de la force déviatrice n'augmente avec le nombre des tours de spire que jusqu'à une certaine limite; après quoi elle commence à décroître, en sorte que la déviation de l'aiguille finirait par devenir tout à fait nulle si le fil était suffisamment prolongé.

La raison de ce fait est facile à concevoir lorsque l'on considère que le courant thermo-électrique rencontre dans les conducteurs les plus parfaits en apparence une certaine résistance, qui doit nécessairement augmenter avec l'étendue de l'espace décrit. Tant que le surcroît de résistance éprouvé par l'électricité , en parcourant l'excédant du nouveau fil sur le précédent , est inférieur à la quantité d'action que l'on gagne en roulant cet excédant autour de l'aiguille, il y a augmentation de force *déviatrice*. Après quoi la diminution commence, parce que l'obstacle opposé par l'adjonction du fil est plus grand que l'action déviatrice résultant des nouvelles circonvolutions.

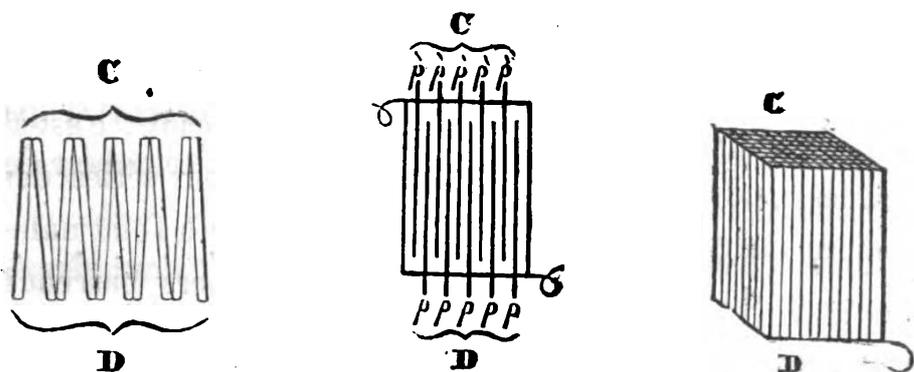


Cependant l'expérience démontre que la force électromotrice devient plus intense en ajoutant à l'appareil de nouvelles alternatives de bismuth et d'antimoine, disposition qui est représentée par la figure ci-contre, dans laquelle les barreaux d'antimoine sont désignés par *a* et ceux de bismuth par *b*.

Car, si l'on chauffe les soudures alternes de cette suite de barreaux, c'est-à-dire les soudures représentées par l'une des deux séries des nombres pairs ou impairs, en laissant l'autre à l'état naturel, et si l'on fait communiquer les deux derniers barreaux avec les extrémités de ce même fil de cuivre roulé en hélice, qui naguère n'exerçait plus qu'une action affaiblie en raison de sa trop grande longueur, on voit la déviation de l'aiguille s'accroître sensiblement. Mais il arrive bientôt une réaction analogue à celle que nous avons observée précédemment, en variant la longueur du fil conjonctif roulé en hélice autour de l'aiguille. L'augmentation du courant avec le nombre des barreaux ajoutés, ou pour mieux dire avec le nombre de leurs alternatives, a lieu jusqu'à une certaine limite; après quoi l'adjonction de nouveaux barreaux ne produit plus aucun effet appréciable; comme s'il arrivait une espèce de compensation entre le surcroît de force résultant des nouvelles alternatives, et le surcroît de résistance que les barreaux intercalés apportent au mouvement de l'électricité. La résistance étant en raison directe de la longueur des barreaux, il est clair que plus les barreaux seront courts, plus la limite sera reculée et plus l'efficacité de l'appareil sera augmentée.

Si l'on prend un fil de plus grande longueur, il faut nécessairement ajouter un plus grand nombre de barreaux pour arriver au *maximum* d'effet.

Ces expériences se font d'une manière beaucoup plus commode en réunissant les barreaux de bismuth et d'antimoine sous des angles très-aigus, de manière à former une espèce de zigzag.



On peut même souder les barreaux parallèlement, si l'on intercale entre eux des bandelettes de papier verni  $p'$ ,  $p$ ,  $p'$ ,  $p$ , etc. qui suffisent pour empêcher la transmission latérale du courant thermo-électrique et le forcent à parcourir toute la longueur de la chaîne métallique, comme dans le cas où les barreaux sont disposés sous forme de polygone.

On peut enfin distribuer les barreaux en faisceau, au moyen de plusieurs rangs disposés parallèlement et alternativement, de manière que l'un termine par le bismuth et l'autre par l'antimoine, puisqu'en soudant ensemble les extrémités libres adjacentes il est toujours possible de conserver l'ordre des contacts alternatifs, et de former ainsi une seule rangée repliée sur elle-même. Pour mettre en activité ces appareils, auxquels on donne le nom de *piles thermo-électriques*, il suffit d'appliquer la chaleur à l'une des extrémités C, D, contenant les soudures pair ou impair, et

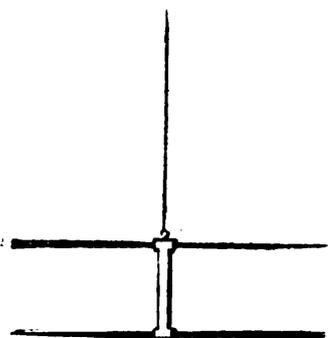
constituant ce que l'on est convenu d'appeller les deux *faces* de la pile.

Revenons maintenant au fil de cuivre roulé en hélice et à l'aiguille aimantée qui se trouve librement suspendue à sa partie centrale. Il ne faut pas oublier le but auquel nous tendons, savoir: d'augmenter, autant que possible, l'action exercée sur cette aiguille mobile par les courants électriques circulant dans l'hélice environnante. Nous venons de voir qu'on obtient une augmentation considérable par le moyen d'une pile thermo-électrique à éléments très-courts, et d'une certaine longueur de fil conjonctif roulé en hélice autour de l'aiguille aimantée.

Mais comme l'action du courant devient d'autant plus énergique que le fil passe plus près de l'aiguille, il est évident que pour avoir le *maximum* d'effet il faudra placer l'aiguille très près des circonvolutions du fil; on, en d'autres termes, il est évident qu'il faudra construire l'hélice aussi surbaissée que possible. Cependant si l'on entoure l'aiguille de trop près, les circonvolutions supérieures viendront masquer le cercle gradué et empêcher de lire les indications de l'instrument. D'autre part, on aura beau augmenter par la proximité des spires la force déviatrice du courant, on se trouvera toujours en présence d'un formidable adversaire, savoir, de l'action du globe terrestre qui agit en sens opposé au courant électrique et tend à ramener l'aiguille dans le plan du méridien magnétique avec une énergie d'autant plus grande que l'aiguille s'écarte davantage de ce plan.

On parvient à neutraliser l'action de la terre, et à rendre en même temps les indications de l'appareil parfaitement visibles, en réunissant ensemble, par un double fil métallique tordu et fort mince, on par tout autre artifice, deux aiguilles

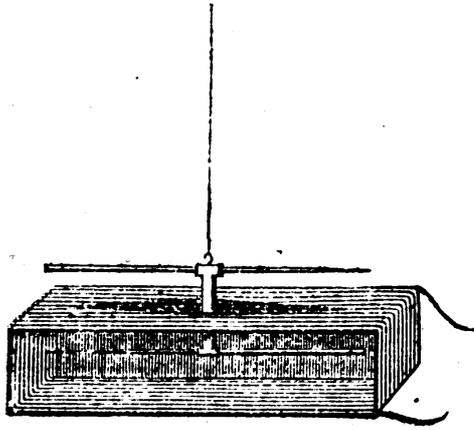
aimantées égales autant que possible, de manière à ce qu'elles soient situées parallèlement et dans le même plan , mais



avec leurs pôles homologues dirigés en sens contraire. Ces aiguilles ainsi préparées se suspendent à un fil de soie naturelle, dont l'autre extrémité vient fixée à un soutien : elles prennent alors une position horizontale , l'une au-dessous de l'autre.

Il est évident que si les deux aiguilles étaient parfaitement égales en force magnétique , elles formeraient un véritable *système astatique*, c'est-à-dire un système qui serait *sans position d'équilibre*, parce que l'action du globe terrestre n'exercerait sur lui aucune influence; car les aiguilles étant placées hors du méridien magnétique, et l'une d'elles tendant à tourner de gauche à droite, par exemple, afin de rentrer dans ce plan, l'autre tendra évidemment à se porter de droite à gauche avec la même énergie, et le système soumis à l'action simultanée de ces deux forces égales et contraires restera en équilibre dans le plan où elles se trouvent déviées. Mais quelque soin que l'on prenne, on ne parvient jamais à cette égalité parfaite de l'aimantation des deux aiguilles. Leur ensemble se dirige donc encore en vertu de la différence des deux forces magnétiques opposées, mais avec une intensité infiniment moindre que dans l'état d'isolement. En ôtant avec délicatesse l'excès de magnétisme de l'aiguille prépondérante par le contact ou par le simple rapprochement d'un des pôles homologues d'une petite aiguille aimantée, on peut aisément parvenir à rendre cette intensité trois ou quatre mille fois moindre que celle des aiguilles simples, et obtenir ainsi des systèmes astatiques trois ou quatre mille

fois plus sensibles à l'action des forces qui tendent à les faire sortir de leur position d'équilibre.



Supposons maintenant que l'on écarte les fils qui forment la partie supérieure de l'hélice, et qu'après avoir ménagé une espèce de fente mitoyenne en les divisant en deux masses égales, on introduise par cette ouverture l'aiguille inférieure de notre système astatique en laissant l'autre en dehors. Il est

clair que les déviations de l'aiguille intérieure se rendront parfaitement lisibles par le mouvement de sa compagne extérieure, et que les lectures seront tout-à-fait exemptes de l'erreur de parallaxe, erreur que l'on ne saurait éviter dans le multiplicateur à une seule aiguille. Dans cette disposition, le système, soustrait comme nous venons de le dire à la plus grande partie de la force directrice de la terre, aura donc en même temps l'avantage cherché de conduire à une observation facile et précise des déviations dues à l'action du courant.

Cependant on pourrait poser la question suivante: nous convenons que l'aiguille extérieure soustrait l'aiguille centrale à l'action du globe terrestre et rend celle-ci extrêmement sensible à la force déviatrice du courant qui circule dans l'hélice; mais comme elle est aimantée, et par cela même soumise à l'influence du courant électrique, ne serait-il pas possible qu'elle éprouvât une tendance à se mouvoir en sens contraire, de telle sorte que l'avantage de neutraliser la puissance magnétique de la terre sur l'aiguille du dedans

fût compensé, ou du moins diminué, par une action opposée à celle qui agit sur l'aiguille du dehors? Non, cela ne saurait avoir lieu, puisque la résultante des forces déviatrices, qui opèrent sur l'aiguille extérieure, loin de s'opposer à la déviation de l'aiguille centrale, tend au contraire à faire tourner le système dans le même sens. On pourrait le démontrer moyennant l'examen successif des actions rotatoires de chacune des quatre parties principales de l'hélice, mais on y parvient plus aisément par les observations suivantes: d'abord si l'on approche l'hélice parcourue par le fluide électrique au-dessous d'une aiguille aimantée, seule et librement suspendue, il y a déviation dans le sens exigé par l'action du courant supérieur; pour savoir si l'aiguille externe contrarie ou ne contrarie pas la rotation de l'aiguille interne on peut donc faire abstraction des parties latérales et de la partie inférieure de l'hélice, et avoir égard à la seule partie supérieure. Or, le courant qui circule dans les portions supérieures des spires passant au-dessus d'une aiguille du système et au-dessous de l'autre, doit les faire dévier toutes les deux dans le même sens à cause des positions renversées de leurs pôles respectifs; c'est-à-dire, que la résultante des forces qui s'exercent sur l'aiguille externe viendra ajouter son effort à celui du courant supérieur sur l'aiguille interne, et par suite aux efforts conspirants des courants latéraux et inférieurs.

Les systèmes astatiques très-sensibles appliqués comme nous venons de l'indiquer aux hélices d'un fil ordinaire de cuivre ou d'argent présentent presque toujours le fait curieux de ne pouvoir s'arrêter au zéro du cadran; c'est-à-dire que, généralement, les systèmes astatiques doués d'une grande sensibilité ne peuvent s'arrêter dans le plan vertical qui divise

l'hélice en deux portions égales, parallèlement à la direction des spires. Lorsqu'on cherche à les amener dans ce plan, en tournant doucement l'hélice vers leur position d'équilibre, on les voit s'écarter aussitôt, à droite ou à gauche, et après quelques oscillations se fixer stablement dans une position d'équilibre plus ou moins éloignée du zéro. On mesure aisément cet arc de déviation moyennant un cercle gradué que l'on fixe à la partie supérieure de l'hélice après y avoir pratiqué une ouverture longitudinale dans le sens du zéro et de la division des spires. La déviation est égale des deux côtés; elle peut aller jusqu'à 10 ou 12 degrés et même davantage, si en opérant sur un système astatique d'une grande perfection, *on donne une certaine largeur à la fente qui sert à introduire dans l'hélice l'aiguille inférieure du système.* Le phénomène dérive donc du partage supérieur du fil en deux masses égales, qui ont chacune un centre d'attraction vers lequel tendent les pôles des aiguilles aimantées. Ainsi le cuivre, dont ces fils sont ordinairement composés, tout en n'étant pas un métal magnétique par lui-même, opère sur les aiguilles aimantées comme s'il contenait des parcelles de fer. C'est en effet le cas du cuivre de commerce; et l'on en devine facilement le motif, lorsqu'on réfléchit à l'imperfection des procédés de raffinage et au contact des outils employés dans les transformations successives du cuivre en rosettes, en verges et en fils. Et il ne faut pas s'imaginer que le fil ordinaire d'argent soit en de meilleures conditions; car l'argent, qui se trouve presque toujours en présence du fer pendant les opérations nécessaires à son extraction, ne se convertit en fil qu'à l'aide du marteau et des filières d'acier.

Cependant lorsqu'on se procure de l'argent ou du cuivre

bien épurés par les meilleurs procédés chimiques, lorsqu'on les fait fondre dans des moules de terre, et passer par des filières d'agate, loin de tout contact avec le fer et les substances ferrugineuses, on obtient des fils de cuivre et d'argent qui n'ont aucune action appréciable sur le système astatique le plus sensible, et qui lui permettent de se tenir exactement sur le zéro du cercle gradué.

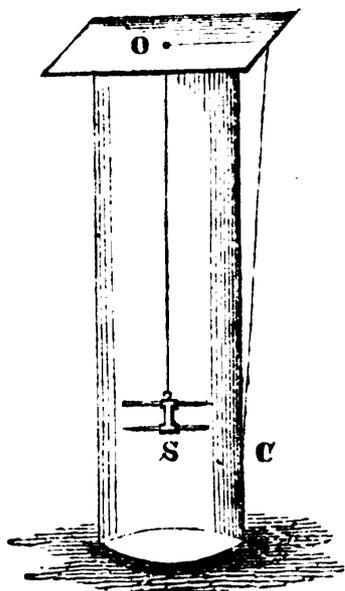
On comprend que ces observations doivent se faire au travers d'une cloche de verre, qui maintienne en repos l'air atmosphérique autour de l'hélice et du système astatique; car, sans cette précaution, la force qui tend à diriger les aiguilles étant extrêmement faible, celles-ci ne pourraient prendre aucune position d'équilibre stable et changeraient de place à la moindre agitation de l'air ambiant.

La faiblesse de la force directrice produit encore la conséquence, assez singulière au premier abord, de ne point permettre que les systèmes astatiques se fixent dans la direction de l'aiguille aimantée. Effectivement, la position d'équilibre de ces systèmes abandonnés à eux-mêmes est, en général, d'autant plus divergente du méridien magnétique, que le couple d'aiguilles se trouve avoir une compensation plus parfaite; je dis en général, parce qu'il arrive aussi quelquefois que des systèmes astatiques d'une grande sensibilité se tiennent à très peu de chose près sur le méridien magnétique; cependant, lorsque le mode de suspension leur laisse une mobilité suffisante, jamais on n'observe le cas opposé, savoir: la position hors du méridien avec peu de sensibilité. Ainsi *la perfection des systèmes astatiques est une condition indispensable à l'apparition du phénomène*. En effet, quoique la rotation des aiguilles aimantées semble parfaitement libre, elle éprouve cependant

une certaine résistance, qui étant très-légère, ne peut se montrer et agir d'une manière efficace que dans le cas où la force directrice est elle-même d'une grande faiblesse.

- Mais pour bien comprendre cette lutte entre la force et la résistance il nous faut d'abord examiner la nature et les qualités du fil qui supporte les aiguilles. J'ai dit ci-dessus qu'il était de soie naturelle, c'est-à-dire, sans aucune préparation, et telle que le fournit le cocon. Cependant la duplicité de l'organe sérifère, et le simple collage par une substance gommeuse, moyennant laquelle le vers à soie réunit les sécrétions des deux organes à mesure qu'elles sortent de son corps, permettent de dédoubler ce fil déjà si fin. A cet effet on commence par ôter la bourre qui environne le cocon, on déroule quelques décimètres du premier fil soulevé qui se présente, on le coupe, et l'on fixe à l'une de ses extrémités une petite boule de cire molle pour le maintenir tendu, et lui enlever en même temps ses principaux plis. On tourne ensuite et on tord en divers sens l'autre extrémité pour défaire l'union des deux fils et les exciter à la séparation, qui ne tarde pas à s'opérer. Alors on saisit les deux bouts et on les écarte tout doucement, après avoir tenu le fil pendant quelques instants plongé dans une faible dissolution de potasse, afin de dissoudre une partie de la substance gommeuse qui réunit ses deux moitiés longitudinales ; celles-ci cèdent enfin, et donnent, en se divisant, les fils dont on doit faire usage dans la suspension des systèmes astatiques doués d'une grande sensibilité, comme ceux employés dans la construction du thermomultiplicateur. A voir l'exiguité de ces fils, qui abandonnés à eux-mêmes voltigent et s'élèvent en serpentant dans l'air le plus calme, on les dirait tout à fait privés d'élasticité; et cependant cette force y existe, elle

produit même des effets très-sensibles. Voici l'expérience qui le démontre.



Imaginons un excellent système astatique *S* suspendu, dans l'intérieur d'un manchon de verre, à l'un de ces fils de soie dédoublés et dégommés ; imaginons le fil passant par l'ouverture centrale *O* d'un couvercle d'ivoire à bords parfaitement polis, et attaché moyennant une petite boule de cire *C* à la paroi extérieure de l'appareil. Il est clair qu'en laissant couler à travers l'ouverture *O* une longueur plus ou moins grande de fil dans l'intérieur du manchon, et en faisant remonter ainsi successivement le point d'adhérence extérieure, on pourra faire varier à volonté la distance entre les aiguilles et le disque. Supposons d'abord cette distance de trois pouces. En de semblables circonstances *d'astaticité* du système et de longueur dans le fil de suspension, il se manifeste presque toujours, comme je le disais tantôt, une divergence considérable entre le plan vertical d'équilibre et le méridien magnétique; on tourne doucement le cylindre de verre jusqu'à ce que les aiguilles deviennent à peu près perpendiculaires à ce dernier plan. Cela posé, on fait descendre successivement le système à 6, 9, 12 pouces, et l'on marque à chaque fois sur le soutien fixe de l'appareil la trace du nouveau plan d'équilibre où les aiguilles s'arrêtent. L'opération finie, on compare entre elles les traces correspondantes aux diverses stations, et l'on voit que le système des deux aiguilles aimantées s'est d'autant plus écarté de la position initiale et

rapproché du méridien magnétique que la longueur du fil était en réalité plus grande.

Cette expérience n'a pas besoin de commentaires ; elle nous dévoile en même temps, et la cause cherchée de la direction anormale que prennent ordinairement les systèmes astatiques très-sensibles, et le moyen d'y remédier. La cause, c'est la résistance ou pour mieux dire *la force de torsion du fil de soie*; le remède, *l'allongement de ce fil*. Nous remarquerons toutefois qu'une longueur excessive du fil de suspension est plus incommode qu'utile : car peu importe, au bout du compte, d'obtenir l'équilibre par le seul effet des forces magnétiques, ou par une combinaison de ces forces avec la torsion du fil de suspension, pourvu que cette dernière soit réduite à un état de faiblesse égal ou inférieur à l'effet produit par le *magnétisme libre* des deux aiguilles, c'est-à-dire, égal ou inférieur à la tendance du système des deux aiguilles vers le méridien magnétique. Aussi se contente-t-on de donner une longueur de 15 à 16 centimètres aux fils de suspension, qui conservent encore sous de telles dimensions une force de torsion appréciable par les seuls systèmes astatiques d'une grande délicatesse.

Or, ici comme dans le cas de toute autre substance organique filiforme, cette force varie avec l'humidité du milieu ambiant. Les systèmes astatiques, fort sensibles, suspendus à un fil de soie et abandonnés à eux-mêmes tendront donc à altérer leurs positions d'équilibre par l'effet d'un changement survenu dans l'état hygrométrique de l'atmosphère; et c'est aussi ce que l'on observe. De plus, comme l'humidité diminue ordinairement pendant le jour à mesure que le soleil s'élève sur l'horizon, et reprend pendant la nuit sa valeur primitive, les positions d'équilibre successivement af-

fectées par le système astatique suivront la même période oscillatoire.

Hâtons-nous d'ajouter que des oscillations analogues pourraient aussi être engendrées dans ces sortes de systèmes par l'action inégale de la chaleur sur les deux aiguilles qui les composent. En effet nous avons vu que leur position d'équilibre hors du méridien magnétique résulte de la combinaison des actions dues au magnétisme libre et à la torsion du fil. Or, comme l'intensité magnétique augmente lorsque la température diminue et vice versâ, il est clair que si, par une différence de trempe ou de qualité, l'une des deux aiguilles était affectée plus puissamment que l'autre sous l'action de la chaleur, la quantité de magnétisme libre changerait, et avec elle, la position d'équilibre du système. Quant à la forme oscillatoire de ces changements, elle proviendrait, comme dans le cas de l'humidité, de la variation périodique qu'éprouve la température de l'atmosphère par les vicissitudes du jour et de la nuit.

Telles sont, à mon avis, les causes des oscillations que subit le plan d'équilibre des systèmes astatiques fort sensibles. La variation diurne de la déclinaison, à laquelle certains observateurs ont cherché de rattacher le phénomène, me paraît n'y exercer absolument aucune influence (2).

(2) Cette variation a une valeur moyenne de 10 à 12 secondes. L'angle diurne parcouru par les systèmes astatiques est de 5 à 6 degrés et même de 8 à 10 degrés pour une haute sensibilité dans ces sortes de combinaisons magnétiques. Selon les observations que nous venons de citer, il faudrait donc que la combinaison des deux aiguilles aimantées, suspendues en sens contraire sur un même support, rendît les variations diurnes 35 à 40 fois plus sensibles. Il faudrait en outre que les perturbations s'y montrassent agrandies dans le même rapport. Cependant MM. Bravais, Lottin, et Martins, établis en Islande

Ces recherches sur la nature des variations éprouvées par le plan d'équilibre des deux aiguilles sont d'ailleurs d'un intérêt secondaire ; mais il importe beaucoup de faire remarquer que de telles variations n'apportent aucun trouble dans les mesures comparatives des courants thermo-électriques qui parcourent les spires de l'hélice. Premièrement, parce que le mouvement oscillatoire est très-lent et qu'il reste tout le temps désirable pour *vérifier le zéro* avant et après chaque série d'observations. En second lieu, parce que les changements de direction, éprouvés par la résultante des forces qui maintiennent le système astatique en équilibre, ne produisent aucune altération sensible dans l'intensité des composantes ; en d'autres termes, parce que ces changements n'ont aucune influence appréciable sur la sensibilité de l'appareil : et cela se prouve avec la dernière évidence par la constance de l'angle de déviation que le même courant thermo-électrique, introduit dans l'hélice, imprime au système des deux aiguilles à une époque quelconque de la journée.

La constance de sensibilité dans les systèmes à deux aiguilles peut se maintenir beaucoup plus facilement qu'on ne pourrait le supposer d'abord. J'ai vu les systèmes astatiques de quelques-uns de mes galvanomètres la conserver intacte pendant huit à dix ans, et donner encore aujour-

pendant sept mois consécutifs avec une bonne collection de déclinaires et de multiplicateurs à deux aiguilles, font mention d'effets très-marqués produits sur l'aiguille de déclinaison par un grand nombre d'aurores boréales ; mais ils gardent un silence absolu relativement aux multiplicateurs, ce qui porte à croire que ces instruments ne leur ont fourni aucun résultat digne d'intérêt, et que par conséquent la prétendue exaltation des variations magnétiques dans les systèmes à deux aiguilles n'existe point.

d'hui, sous l'action d'un courant thermo-électrique connu, les mêmes déviations qu'ils affectaient les premiers jours de leur construction.

Il est clair que pour obtenir cet état invariable de sensibilité il faut préserver les aiguilles de la rouille, des fortes secousses, des actions électro-magnétiques trop violentes, et du voisinage des aimants et du fer; car toutes ces causes peuvent produire une altération d'équilibre magnétique.

Ces précautions n'exigent pas toutefois un degré de rigueur extrême, surtout à l'égard du voisinage des masses de fer ou d'acier aimanté; car les deux aiguilles éprouvent toujours de la part des forces magnétiques extérieures des influences contraires par suite de leurs positions renversées. C'est même à cette opposition des pôles que le système astatique doit en partie la conservation de son énergie magnétique.

Cependant la petite portion de magnétisme qui reste libre dans le couple suspendu peut être temporairement modifiée par des forces magnétiques externes, de manière à rendre l'instrument plus ou moins sensible, pour lui laisser reprendre le degré de sensibilité primitive, lorsqu'on le soustrait de nouveau à l'action de ces forces. Ce but peut être atteint de plusieurs manières; je vais indiquer celle qui me semble la plus simple.

Imaginons, assez loin de l'appareil de suspension, un barreau aimanté situé horizontalement dans le plan d'équilibre du système astatique, et précisément, sur la direction prolongée de la ligne conduite par le point de milieu de la petite barre métallique où les deux aiguilles sont implantées. Si le système était parfaitement astatique, il est clair que le pôle le plus rapproché du barreau n'exercerait sur lui au-

cune influence. Mais comme le magnétisme d'une des aiguilles est un peu plus fort que le magnétisme de l'autre, il y aura nécessairement attraction ou répulsion: dans le premier cas la force directrice du système sera augmentée, dans le second elle sera diminuée.

Lorsque les aiguilles s'écarteront du zéro, l'action du barreau variera, puisqu'il y aura éloignement du couple des pôles antérieurs et rapprochement du couple postérieur. Mais en considérant qu'on ne dépasse pas dans l'usage de l'instrument des arcs de 30 degrés, par des motifs que nous verrons plus tard, et que le barreau est fixé à une distance considérable, on conçoit que, pour toute l'étendue de cet arc, la modification de sensibilité apportée dans le système mobile par la présence du barreau se maintiendra à peu près constante. Or la distance, à laquelle ce système commence à ressentir l'influence du barreau fixe, dépend évidemment de sa perfection. Donc les galvanomètres les plus sensibles seront aussi les plus aptes à supporter la modification que je viens de décrire.

Il est extrêmement facile de mettre la justesse de ces inductions tout à fait hors de doute au moyen de l'expérience: car ayant disposé les choses de manière à diminuer la tendance du système astatique vers sa position naturelle d'équilibre, les aiguilles prennent sous l'action du même courant électrique des déviations beaucoup plus grandes qu'auparavant; et l'on voit l'effet produit augmenter avec la sensibilité de l'instrument. C'est ainsi que dans les cas où il fallait le concours d'un appareil thermoscopique d'une délicatesse extrême, j'ai pu agrandir de 15 à 20 fois la petite fraction de degré que les systèmes astatiques de mes rhéomètres multiplicateurs décrivaient sous l'action déviatrice d'une for-

ce calorifique extrêmement faible. Il est inutile d'ajouter que l'instrument reprend son allure habituelle lorsqu'on le soustrait à l'action du barreau extérieur.

Nous ne nous arrêterons pas au cas opposé, dans lequel la force directrice augmente et la sensibilité du système astatique diminue; d'abord, parce que l'action attractive du barreau sur les aiguilles se conçoit aisément; ensuite, parce que l'on n'a jamais besoin de l'appliquer, car on verra bientôt qu'il existe un autre moyen de modérer la sensibilité des galvanomètres, moyen bien préférable, sous tous les rapports, à l'emploi du barreau magnétique.

Ces principes posés, il nous sera extrêmement facile de comprendre les détails de construction, la théorie et l'usage des thermomultiplicateurs, ou thermactinomètres électromagnétiques.

#### §. 4.

##### *Des thermomultiplicateurs.*

Chaque thermomultiplicateur se compose d'une pile, d'un galvanomètre, et des tubes qui servent à établir les communications entre ces deux parties de l'appareil.

Les lois énoncées des courants thermo-électriques s'observent sur des barreaux et des fils de toutes dimensions; voilà pourquoi dans leur exposition je n'ai fait aucune mention des grosseurs ou des sections transversales des pièces employées. Maintenant cette donnée devient un élément que l'on ne saurait plus négliger. En effet, comme il s'agit de découvrir et d'apprécier des radiations calorifiques excessivement faibles, comme les mesures à prendre sont souvent