Ex libris [redacted]

SUPPLÉMENT

A LA TRADUCTION FRANÇAISE

DE LA CINQUIÈME ÉDITION

DU SYSTÈME DE CHIMIE,

PAR TH. THOMSON,

Présentant ce qui a été fait de nouveau dans cette science, tant en France que dans l'étranger, depuis l'époque (1819) où cette traduction a paru, et contenant la traduction de tout ce que dans une sixième édition publiée à Londres en 1821, l'auteur anglais a ajouté à son édition précédente ;

PAR J^N. RIFFAULT,

Ex-Régisseur général des poudres et salpêtres, Membre de la Légion-d'Honneur, Traducteur des 3e et 5e éditions du Système de chimie de Th. Thomson.

N.B. Ce volume contient un exposé de la théorie des Ondulations fait par Fresnel.

2° Un exposé de la théorie de la chaleur par Dulong?

3° id id la théorie d'Ampère par Babinet et Ampère.

A PARIS,
CHEZ MÉQUIGNON-MARVIS, LIBRAIRE
POUR LA PARTIE DE MÉDECINE,
RUE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE, N° 3.
1822.

209434

SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE FRANCE
Rue St Dominique
PARIS
SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS
Bibliothèque

Il pourrait être, dans quelques cas, plus commode, de mettre le corps électrisé à examiner en contact avec le disque supérieur qui peut être retiré à volonté, en touchant la plaque inférieure pour la dépouiller, et en procédant d'ailleurs comme il vient d'être indiqué. Mais l'électricité que l'instrument indiquera, sera, dans ce cas, opposée à celle qu'on a communiquée à la plaque supérieure, parce que, par cette manière de procéder, la plaque, réunie à l'instrument, forme la base du condensateur.

Texto Ampère começa aqui

Si le corps qu'on veut examiner ne peut pas être commodément mis en contact avec la plaque inférieure du condensateur, on établit la communication au moyen d'un fil de métal pourvu d'un manche isolant, et on procède au surplus ainsi qu'on l'a indiqué. [1]

Distinction des deux espèces d'électricité.

Nous admettons, conformément à la doctrine adoptée en France et par beaucoup de physiciens étrangers, l'existence de deux fluides électriques, susceptibles de se neutraliser l'un l'autre, et dont la combinaison, en proportions déterminées, constitue l'état naturel des corps. Cette théorie fournit une explication simple de tous les faits; et, soumise à l'épreuve décisive du calcul, elle donne des résultats qui s'accordent avec l'expérience; mais les noms de positif et négatif semblent devoir être conservés:

1° Parce que ces mots positif et négatif désignent, dans toutes les applications de l'analyse mathématique, deux sortes de grandeurs également existantes; mais telles, que quand elles sont de valeurs absolues égales, elles se détruisent mutuellement par leur réunion; et que, quand elles ont des valeurs absolues inégales, l'effet de cette réunion est de donner une valeur égale à leur différence, et de même signe que celle dont la valeur absolue est la plus grande, or, c'est précisément ce qui a lieu à l'égard des deux électricités.

2° Parce que l'emploi de ces mots, pris dans ce sens, fournit le moyen de ramener à un énoncé général des faits, qu'on ne pourrait décrire, sans y avoir recours, qu'en entrant dans le détail de tous les cas particuliers qu'ils pré-

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVI, page 91.

sentent. En conservant aux deux électricités les noms d'électricité positive et d'électricité négative, et entendant ces deux expressions dans le sens qu'on leur donne en géométrie, on pourra dire, par exemple, que quand on a fait toucher deux sphères métalliques isolées, de même diamètre, et diversement électrisées, elles présentent, après qu'on les a séparées, une électricité égale à la demi-somme de leurs électricités primitives; et cet énoncé comprendra les divers cas où les deux électricités sont positives, où elles sont toutes deux négatives, où l'une est positive et l'autre négative, soit que celle qui est positive ait une plus grande ou une moindre valeur absolue que l'autre; de même, si un disque de zinc repose sur un disque de cuivre isolé et électrisé, on exprimera l'état électrique du zinc, en disant, qu'il y a entre cet état et celui du cuivre une différence constante, toujours positive, soit que le cuivre soit à l'état positif ou négatif; tandis qu'en se privant du secours qu'on tire de la considération des signes *plus* et *moins* des deux électricités, il faudrait se servir d'un énoncé différent dans chacun de ces cas.

5° Parce que les mots d'électricité vitrée et d'électricité résineuse, non-seulement n'expriment point la propriété qu'ont les deux électricités de se neutraliser mutuellement, qui en est le caractère le plus essentiel, mais indiquent que le verre prend toujours l'électricité positive, et la résine l'électricité négative, quelles que soient les substances avec lesquelles on les frotte, ce qui est contraire à l'expérience.

4° Parce que l'usage des expressions d'électricité positive et d'électricité négative, est admis généralement par les physiciens des autres nations, et qu'il l'est même en France par ceux qui n'affectent pas de ne se servir que des dénominations qu'on y a substituées. Ce changement était sans motif; et lorsqu'on admit l'existence des deux fluides, on aurait dû dire : ils présentent l'un à l'égard de l'autre les propriétés opposées des grandeurs positive et négative de la géométrie; l'un doit donc être appelé le fluide positif, et l'autre le fluide négatif; le choix est arbitraire, comme on choisit arbitrairement le côté de l'axe d'une courbe où ses abscisses sont positives; mais alors celles de

l'autre côté doivent être nécessairement considérées comme *négatives*; et le choix une fois fait, comme il l'a été à l'égard des deux électricités, on ne doit plus le changer.

EXPOSÉ

DES NOUVELLES DÉCOUVERTES SUR LE MAGNÉTISME ET L'ÉLECTRICITÉ.

Propriétés nouvelles [1] des conducteurs voltaïques, et conséquences qui en résultent relativement à la cause des phénomènes magnétiques.

1. Dans la pile isolée, chaque espèce d'électricité se manifeste à l'une des extrémités de l'appareil, l'électricité positive à l'extrémité zinc, et l'électricité négative à l'extrémité cuivre.[2] Cet effet, appréciable à l'électromètre et au condensateur, se maintenant malgré les causes qui tendent à décharger la pile, il s'ensuit, que la séparation des deux électricités, qui a lieu dans chaque élément, et qui porte constamment l'électricité positive à l'une des

Définition du courant électrique.

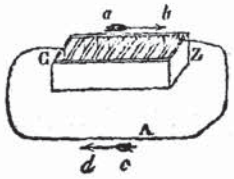
[1] M. J. Chr. Oersted, professeur de physique à l'université de Copenhague, annonça pour la première fois en 1820, que l'aiguille aimantée changeait de direction par l'influence de l'appareil voltaïque; que cet effet avait lieu lorsque le circuit était formé, et non lorsqu'il était interrompu. M. Ampère, membre de l'académie des sciences de l'Institut, s'empressa de s'occuper de diverses expériences à ce sujet, dans la seule vue d'abord de compléter le travail du savant professeur danois. Mais bientôt il découvrit *lui-même, qu'une autre* portion du circuit voltaïque exerçait, sans la présence d'aucun aimant, une nouvelle sorte d'action sur le fil metallique au moyen duquel ce circuit est établi. La connaissance de ce fait conduisit M. Ampère à plusieurs autres observations, dont il donna successivement communication à l'académie des sciences, ainsi que des conséquences qu'il en déduisit, et dont le but général est d'établir l'identité de l'électricité et du magnétisme.

L'expose de phénomènes nouveaux d'une aussi grande importance ne pouvait qu'être utilement placé dans ce Supplément, en parlant de l'électricité; cet exposé a été fait par M. Babinet, professeur de physique au collége royal de Saint-Louis, conjointement avec M. Ampère, auquel appartiennent la théorie qui y est développée et toutes les expériences dont l'auteur n'est pas nommé, ainsi que les réflexions qui précèdent sur la distinction des deux espèces d'électricité. R.

[2] En désignant ainsi les deux extrémités de la pile nous supposons

extrémités de la pile, et l'électricité négative à l'autre, continue à s'opérer lorsqu'on fait communiquer les deux extrémités ensemble par un corps bon conducteur, qui permet aux deux principes électriques de se réunir et de se neutraliser. Dans la pile CZ, figure 1,

Fig. 1.



dont l'extrémité positive Z est jointe à l'extrémité négative C par le fil de métal ZAC, on doit considérer que l'électricité positive est enlevée à la partie du fil et de la pile qui est voisine de C, et portée par l'action de l'appareil vers l'extrémité Z pour retourner de nouveau par la route ZAC, et former ainsi un courant, qui subsiste tant que la pile conserve son activité. Le même effet se produisant en sens contraire sur l'électricité négative, son transport de Z en C, et son retour de C en Z, par la route CAZ, donne naissance à un courant d'électricité négative, dont la direction est contraire à celle du courant précédent; ces deux courans s'établissent toujours, lorsque l'on fait communiquer les deux extrémités de la pile. Il suffit donc de désigner la direction du transport de l'un des principes électriques, pour indiquer, en même temps, le sens du transport de l'autre; c'est pourquoi, en employant dorénavant l'expression de courant électrique pour désigner le sens dans lequel se meuvent les deux électricités, nous appliquerons cette expression à l'électricité positive, en sous-entendant, que l'électricité négative se meut toujours en sens contraire. Nous

qu'elle est terminée par deux couples complets de cuivre et de zinc, et non par un demi-couple de zinc à un de ses bouts et de cuivre à l'autre; dans ce dernier cas il faudrait changer l'une contre l'autre ces dénominations, pour leur conserver le même sens relativement à la direction du courant.

dirons, par exemple, que dans la pile fig. 1, le courant électrique va de C en Z pour exprimer à la fois que l'électricité positive est portée de C en Z, et que l'électricité négative l'est de Z en C ; et nous dirons de même, que dans le conducteur, le courant électrique va de Z en C pour exprimer que c'est la direction de l'électricité positive, et que celle de l'électricité négative est de C en Z.

Propriété que présente la pile quand ses extrémités communiquent par un fil conducteur.

2. Lorsque l'on met en communication, par un fil de métal, les deux extrémités d'une pile, il ne s'y manifeste plus aucune tension appréciable au condensateur le plus sensible ; mais on observe alors d'autres phénomènes très-remarquables, et tout différens de ceux que produit l'électricité dans l'état de tension ; phénomènes dont l'existence offre la preuve directe que cette communication ne fait point cesser l'action électromotrice de la pile. On peut citer parmi les phénomènes de ce genre, connus avant les recherches de M. Oersted, la décomposition de l'eau, des sels et de toutes les combinaisons chimiques ; la chaleur et la lumière qui se produisent dans l'air raréfié, entre deux conducteurs communiquant aux deux extrémités de la pile, et maintenus à une distance assez petite pour que le courant puisse s'établir de l'un à l'autre ; et l'incandescence des fils métalliques très-fins qui font partie du circuit.

M. Oersted a découvert récemment l'action exercée par le courant électrique sur l'aiguille aimantée ; M. Ampère, les attractions et les répulsions des conducteurs, qui mettent en communication les deux extrémités de la pile, ainsi que l'action du globe sur eux, faits auxquels il a rattaché la théorie de l'action qui s'exerce entre ces conducteurs et les aimans, et celle de l'action que les aimans exercent les uns sur les autres. M. Arago a reconnu, tant pour l'électricité ordinaire que pour celle de la pile, la propriété qu'elles ont d'aimanter les corps susceptibles de recevoir la vertu magnétique.

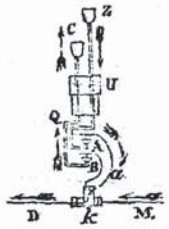
La découverte de M. Oersted, qui a été l'occasion de tout ce que l'on a trouvé depuis dans cette branche de la physique, consiste en ce que l'aiguille aimantée est dérangée de sa position naturelle par l'action qu'exerce sur elle le courant électrique d'un fil conducteur. Les diverses circonstances relatives à la position de ce fil et à la direc-

tion du courant, ne seront décrites, dans cette notice, que quand nous nous occuperons de l'influence mutuelle des courans électriques et des aimans, parce que l'ordre naturel des faits dont se compose cette nouvelle branche de la physique, exige évidemment que nous commencions par le plus simple, celui de l'action mutuelle de deux courans électriques.

Attractions et répulsions des courans électriques.

3. Pour observer les phénomènes d'attraction et de répulsion des courans électriques, il est indispensable de rendre mobile le conducteur ou une portion du conducteur qui fait communiquer ensemble les deux extrémités de la pile. Le mode de suspension, représenté fig. 2,

Fig. 2.

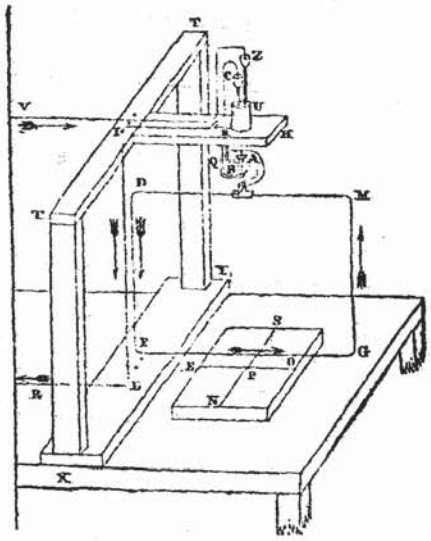


laisse une grande mobilité au fil de métal pour lequel on l'emploie. Aux deux bouts de ce fil sont soudées des pointes verticales d'acier, dont la supérieure, qui, comme un pivot, porte le fil mobile, pose dans une petite coupe ou capsule de métal A, et dont l'inférieure, qui doit être placée verticalement au-dessous de la première, communique, sans y toucher, à une coupe semblable B, par un peu de mercure que l'on met dans cette coupe : de cette manière le courant électrique arrivant, par la capsule métallique Z, en communication avec l'extrémité positive de la pile, le transmet à la capsule A par la tige recourbée ZA, et au fil AaD, en passant d'un côté de la pièce d'ivoire ou de bois verni K, qui sert à maintenir le fil et à isoler ses parties voisines. Après avoir parcouru tout le fil, ce courant revient par M à la capsule B, en passant de l'autre côté de la pièce K, et de là, par la tige BQC, rejoint la coupe C, que l'on fait communiquer

avec l'extrémité négative de la pile. Le support U, que traversent les tiges recourbées qui portent les capsules A et B, doit être d'une substance suffisamment isolante pour l'électricité de la pile, comme de bois, de liége, etc., à moins qu'on ne fasse passer les tiges au travers de tubes de verre fixés dans ce support, qui peut être alors d'une substance quelconque. Pour rendre la communication plus parfaite entre la capsule A et le fil, qui ne la touche que par une pointe d'acier très-fine, il faut aussi mettre du mercure dans cette capsule, et, en général, il est à propos d'en mettre partout où deux portions du circuit voltaïque ne communiquent que par contact. Ainsi dans les coupes C et Z, il y aura un peu de mercure, et la communication de ces coupes avec la pile s'établira très-commodément, en y plongeant des fils, dont les autres extrémités communiquent avec celles de la pile.

On voit, dans la figure 3,

Fig. 3.



un fil plié en forme de rectangle, et suspendu de la manière que nous venons de décrire. Le courant arrivant par la capsule Z, parcourt tout le fil mobile, suivant la direction ZADFGMBQC. Les figures 4, 5 et 6, représentent d'autres fils, pliés de différentes manières, qui ont tous le même mode de suspension. Le support U, figures 2 et 3, qui porte les capsules, où plongent les pointes d'acier des fils, s'adapte, en forme de bouchon, à une ouverture K, faite à la tablette H, qui tient au cadre XTTY, élevé sur le socle XY. Les conducteurs mobiles, tournant sur la pointe qui les porte, pourront décrire une circonférence presque entière; ce qui suffit dans les expériences auxquelles cet appareil est destiné; il faut seulement avoir soin, quand on veut profiter de tout le mouvement dont il est susceptible, de disposer les tiges recourbées qui portent les capsules, de manière à ce qu'elles ne s'opposent point à ce que le conducteur puisse décrire le plus grand arc possible, à partir de sa position initiale.

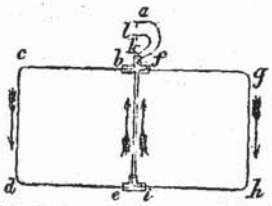
4. Avec cet appareil, il sera très-facile de vérifier ce fait fondamental pour la théorie; savoir, que deux fils métalliques parallèles, parcourus par des courans électriques, s'attirent quand ces courans vont dans le même sens, et se repoussent dans le cas contraire. C'est ce que l'on verra, en faisant arriver de l'extrémité positive de la pile à la coupe Z le courant électrique par le fil VZ, et le faisant revenir à l'extrémité négative par le fil CILR, après qu'il a parcouru tout le conducteur mobile, en sorte que sa direction soit du haut en bas dans le fil vertical IL.

La communication ayant été interrompue, par exemple, en retirant le fil qui plonge dans la capsule Z, si on dispose le conducteur mobile ADFGMB de manière que la partie DF de ce conducteur, où le courant est descendant comme dans le fil IL, soit voisine de ce fil, on verra, en rétablissant le circuit, que la partie DF du conducteur se portera vers le fil IL, et qu'après l'avoir touché, elle y restera attachée; si, au contraire, c'est la partie GM du conducteur, où le courant est ascendant, qui soit voisine du fil IL, où le courant est descendant, dès qu'on établira le circuit, le fil mobile GM sera repoussé, et s'éloignera de IL.

5. Nous verrons, tout à l'heure, que la terre exerce sur les conducteurs mobiles, tels que ADFGMB, une action directrice qui tend à amener le plan DFGM dans une situation où il est perpendiculaire à la direction de l'aiguille aimantée, et où le courant va de l'est à l'ouest, dans la partie inférieure de ces conducteurs. Il faut donc avoir soin, pour que l'action de la terre ne se combine point avec celle du fil IL, de disposer préalablement l'appareil, de manière que le plan du conducteur ait précisément cette direction, et que de plus le point F soit à l'est, et le point G à l'ouest, quand le courant va de F en G, ainsi que nous l'avons supposé dans la figure. On s'assure facilement qu'alors l'action de la terre, pour mouvoir le conducteur, est tout-à-fait nulle, en ne faisant passer le courant électrique que par ce conducteur : pour cela, on amène les fils, qui vont aux deux extrémités de la pile, directement aux deux coupes C et Z, sans faire passer, comme précédemment, le courant par IL : alors le conducteur, mis dans la position indiquée, reste immobile. Lorsqu'on veut ensuite éprouver l'attraction ou la répulsion du fil IL sur le conducteur mobile, il faut, en laissant ce dernier dans la position où il est amené par l'action que la terre exerce sur lui, rendre alternativement IL voisin de DF ou de GM ; on place pour cela le cadre XTTY tantôt à l'est tantôt à l'ouest du conducteur mobile, en ayant soin de tourner, comme nous l'avons dit, le support U chaque fois qu'on déplace le cadre, on amène ainsi IL auprès de DF ou de GM, qui conservent toujours leur même situation.

6. On peut aussi soustraire le conducteur mobile à l'action directrice de la terre, en le formant d'un fil de laiton tellement plié qu'il se compose de deux figures pareilles, dans lesquelles le courant se meut d'une manière contraire, afin que l'action de la terre sur une de ces portions soit contre-balancée par celle que la terre exerce sur l'autre; c'est ce que représentent les fig. 4 et 5.

Fig. 4.



la partie *bcdef* du conducteur mobile fig. 4, forme un circuit rectangulaire presque fermé, où le courant venant de *a* suit l'ordre des lettres, et l'autre partie du même conducteur, savoir *fghik*, forme un autre rectangle égal au premier, dans lequel le courant va en sens contraire; alors, quelle que soit l'action exercée par la terre pour faire tourner l'un des rectangles dans un sens, la même action s'exerçant en sens contraire sur l'autre, ces deux actions se détruisent mutuellement. On voit de même fig. 5.

Fig. 5.

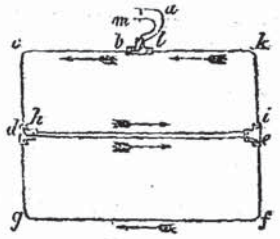


Fig. 6.

un conducteur mobile *abcdefghiklm* plié de manière que sa partie inférieure *defgh* forme un circuit rectangulaire à peu près fermé, et que ses deux branches supérieures *bcd*, *hikl*, composent par leur réunion un circuit semblable au premier, dans lequel le courant se meut en sens contraire. On s'assure facilement par l'expérience, qu'en faisant passer un courant électrique par

un pareil conducteur, il n'éprouve aucune action directrice du globe, et qu'il reste immobile dans toutes les positions qu'on lui donne.

C'est par le conducteur de la fig. 4 qu'il faut remplacer celui qui est représenté fig. 3, lorsqu'on veut répéter l'expérience des attractions et des répulsions de courans parallèles, à l'abri de l'action directrice du globe terrestre; l'effet sera le même alors quelle que soit la direction du plan *cdhg* du conducteur. Le courant étant dirigé dans le conducteur comme le représente la fig. 4, il y a attraction entre le fil IL de l'appareil fig. 3, où le courant est descendant et les côtés *cd*, *gh*, où le courant est pareillement descendant. Le contraire aura lieu si on change les deux fils de capsules, ce qui revient à changer la direction du courant dans le conducteur mobile sans changer celle du courant du fil IL, de cette manière on fera succéder tant de fois qu'on voudra la répulsion à l'attraction entre les deux mêmes fils parallèles.

7. Ces expériences réussissent de la même manière, lorsqu'au lieu de faire agir l'un sur l'autre deux fils qui font partie du circuit d'une même pile, on fait agir deux fils qui conduisent les courans de deux piles différentes. Quand les extrémités de ces fils, qui reçoivent l'électricité de même nom, sont du même côté, il y a attraction, et répulsion dans le cas contraire.

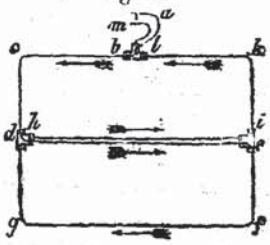
8. Nous avons vu que deux courans parallèles s'attirent quand ils sont dirigés dans le même sens; et que, dès qu'ils sont arrivés au contact, ils restent adhérens tant que le courant électrique continue à être dirigé dans le même sens dans l'un et dans l'autre. Ainsi le fil IL, fig. 3, communiquant en I avec l'extrémité positive de la pile, et en L avec l'extrémité négative, attire le fil DF qui communique en D avec l'extrémité positive de la pile et en F avec l'extrémité négative; d'où il suit que cette action est absolument différente de l'action de l'électricité à l'état de tension; puisque les deux fils qui se portent ici l'un vers l'autre ont celles de leurs extrémités qui arrivent au contact, en communication avec une même extrémité de la pile, et qu'après que ces deux fils se sont touchés, ils restent unis, tandis que s'il s'agis-

sait des attractions et répulsions électriques de tension, il faudrait que les parties du fil, qui s'attirent et viennent se toucher, fussent en communication avec des électricités d'espèces opposées; et de plus dès que les parties qui se seraient attirées arriveraient au contact elles se repousseraient, à moins que par ce contact, elles ne fussent ramenées à l'état naturel, et alors il n'y aurait plus d'action entre elles.

Action mutuelle de deux courans non parallèles.

9. Au moyen du conducteur, fig. 5, on peut voir que deux courans, quelle que soit leur direction, tendent à se mettre dans la position où ils seront parallèles et dirigés dans le même sens. En effet ayant remplacé le conducteur mobile ADFGMB de la fig. 5 par celui de la fig. 5,

Fig. 5.



et faisant arriver le courant directement de l'extrémité positive de la pile à la coupe Z, et retourner directement de la coupe C à l'extrémité négative par un fil métallique assez long pour qu'on puisse en amener une portion dans telle situation qu'on voudra, la partie *fg*, fig. 5, de ce conducteur mobile remplaçant, dans la fig. 5, celle qui est dessinée en FG, et conduisant le courant électrique de *f* en *g*, si l'on fait passer sous cette partie *fg*, fig. 5, dans une direction horizontale quelconque EO, fig. 5, le fil métallique par lequel la coupe C est en communication avec le pôle négatif, on verra le fil mobile *fg*, fig. 5, tourner jusqu'à ce qu'il se trouve parallèle au fil EO, fig. 5, et qu'il ait son courant dirigé dans le même sens que celui de ce fil. Si, à l'instant où l'on établit le circuit électrique, les deux fils sont parallèles, mais ayant leurs courans dirigés en sens contraires, le courant du fil mobile, repoussé des deux côtés par le courant du fil

fixe, tournera jusqu'à ce que les deux courans soient parallèles et dans le même sens, et dans ce mouvement chaque point du fil mobile aura décrit une demi-circonférence.

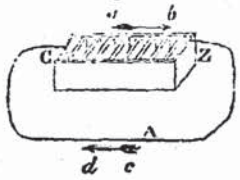
En faisant cette expérience on remarque, comme il était aisé de le prévoir, que jamais le conducteur mobile n'arrive tout de suite en repos dans la situation où il est parallèle au conducteur fixe au-dessus duquel il doit s'arrêter, mais qu'il dépasse d'abord cette situation en vertu de la vitesse acquise, pour y être ramené de nouveau, la dépasser encore et s'y fixer enfin après quelques oscillations.

10. On peut beaucoup augmenter la force directrice que le courant électrique, qui parcourt le fil E, exerce sur le conducteur mobile, en faisant revenir plusieurs fois ce fil suivant la même direction EO; par exemple, en supposant que le fil au point E arrive de dessous la table, et qu'après l'avoir étendu suivant EO, on le fasse repasser au point O sous la table pour le ramener encore au-dessus vers le point E, et l'y étendre de nouveau, suivant une direction parallèle à EO, et très-voisine de ce premier fil, ce qu'on peut faire autant de fois qu'on voudra, on augmentera à volonté l'action exercée sur le conducteur mobile. Remarquons que pour obtenir cet effet il est nécessaire que les parties du fil qui sont sous la table ne se trouvent pas trop près de celles qui sont au-dessus, parce que, sans cette précaution, le courant étant en sens contraire dans les parties inférieures et supérieures du fil, l'action exercée par les premières sur le conducteur mobile nuirait à l'effet produit par les secondes; on obvie à cet inconvénient en faisant descendre presque jusqu'à terre la partie des fils qui est sous la table.

11. Si au lieu de faire agir sur le conducteur mobile, une autre portion du conducteur qui joint les deux extrémités de la pile, on fait agir la pile elle-même, par exemple, en la plaçant au-dessous de ce conducteur, on trouve qu'elle l'amène dans une position telle que le courant de sa portion inférieure est dirigé de la partie de la pile qui est voisine de l'extrémité cuivre à la partie voisine de l'extrémité zinc; ce qui indique dans la pile un courant dirigé de la première de ces extrémités à la

seconde, c'est-à-dire dans la direction CAZ, fig. 1, comme nous l'avons expliqué (art. 1.)

Fig. 1.

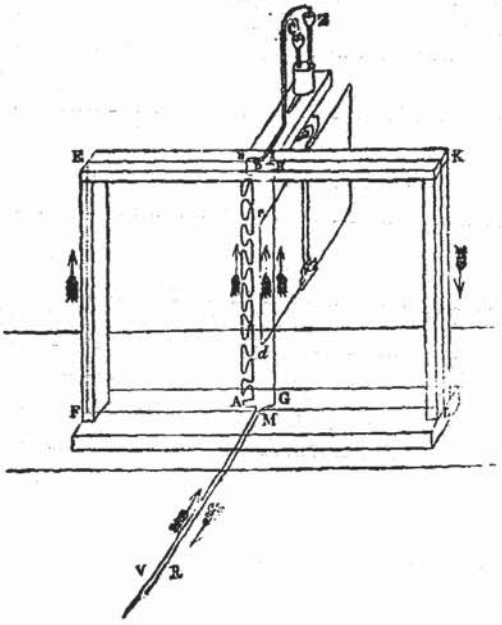


tandis que le même essai fait sur le fil conducteur ZAC indique un courant dirigé de la partie du fil en contact avec l'extrémité zinc de la pile à celle qui communique à l'extrémité cuivre, conformément à ce que nous avions déjà établi (art. 1er.)

12. L'action d'un conducteur AB, fig. 7,

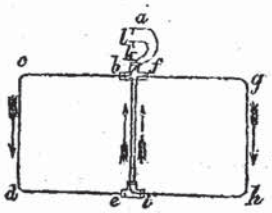
Action d'un courant qui parcourt une ligne sinueuse.

Fig. 7.



plié en ligne sinueuse, qui s'écarte très-peu d'une ligne droite, est la même que celle d'un conducteur rectiligne GH, lorsqu'on les fait agir à la même distance sur un conducteur mobile; c'est ce qu'il est facile de vérifier en établissant le circuit par le conducteur VABZ venant de l'extrémité positive de la pile, et par le fil CDEFGHIKLMR allant à l'extrémité négative; alors la partie *cd* du conducteur mobile de la fig. 4,

Fig. 4.



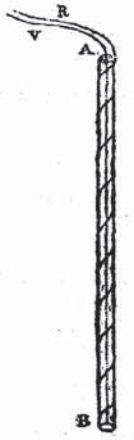
où le courant est descendant, se trouve repoussée des deux côtés par les courans AB, GH, fig. 7, qui sont ascendans; et comme le fil mobile se fixe au milieu de l'intervalle qui sépare les deux courans, leur action est évidemment la même sur lui. On voit de plus que dans cette position intermédiaire, le fil mobile est en équilibre stable, car si on le déplaçait, la répulsion du conducteur vers lequel il aurait marché, serait augmentée, tandis que celle du conducteur opposé serait diminuée. Il tendrait donc à revenir à la position qu'il occupait d'abord. Il n'en serait pas de même si les communications étaient établies de manière que le courant fût ascendant dans le conducteur *cd*, fig. 4, comme dans AB et GH, fig. 7, (ce qu'on obtiendrait facilement en changeant de coupes les fils qui plongent dans les coupes C et Z), auquel cas il serait attiré des deux côtés; car, pour peu qu'il s'écartât de la position intermédiaire où l'équilibre a lieu, l'action du conducteur dont il se rapprocherait, devenant la plus grande, il se porterait vers lui, et y demeurerait attaché; c'est, au reste, ce que l'expérience vérifie.

On peut remarquer que dans l'appareil, fig. 7, pour

éviter l'action des portions de conducteur autre que AB et GH qui pourraient troubler l'effet de celles-ci, on a disposé toutes ces portions, étrangères à l'expérience, de manière que leur effet fût neutralisé ou compensé, 1° par une grande distance au fil mobile, et par une position symétrique de part et d'autre des diverses portions de ce fil, telles que EF,KL; 2° par l'opposition d'action de deux courans qui, étant très-voisins, neutralisent leur action en agissant d'une manière contraire, comme le courant de B en Z avec celui de C en D, ou bien ceux de V en A et de M en R; 3° parce que les courans des fils DE,IK, par exemple, (indépendamment de ce qu'ils tendraient à produire sur le conducteur mobile des effets qui se détruiraient mutuellement), se trouvent placés perpendiculairement au plan du conducteur mobile.

13. On fait une expérience analogue au moyen d'un seul conducteur VABR, fig. 8,

Fig. 8.



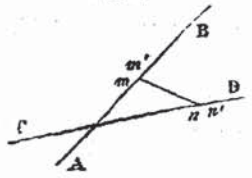
que l'on fait agir sur le fil *cd* du conducteur mobile, fig. 4. Dans le fil VBAR, le courant arrive en V de l'extrémité positive de la pile, parcourt intérieurement et en

ligne droite le tube de verre AB, de A en B, et revient extérieurement de B en A par l'hélice BAR, qui communique avec le pôle négatif. Cette hélice fait ici précisément le même effet que le conducteur sinueux de l'épaisseur précédente. Quand on place ce conducteur VABR auprès de *cd*, fig. 4, dans une direction parallèle à ce dernier, il n'y a aucun effet sensible par la compensation d'action des deux courans opposés de la partie rectiligne, et de la partie ployée en hélice du conducteur VABR.

Ceci fournit une disposition très-commode pour faire aller et venir le courant électrique, sans que l'on ait à craindre l'effet que pourraient produire les courans des fils qui l'amènent et le ramènent. On se sert aussi très-bien dans le même but de fils de cuivre recouverts de soie. Deux de ces fils tortillés ensemble sont suffisamment isolés l'un de l'autre par la soie qui les recouvre, et leur grande proximité fait que leurs effets contraires se neutralisent complétement.

14. Soient AB, CD, fig. 9,

Fig. 9.



deux courans électriques agissant l'un sur l'autre, il est évident que toutes les parties du courant AB attirent ou repoussent celles du courant CD, suivant des lois qui dépendent du sens des courans, de leur direction relative et de la distance des parties qui agissent l'une sur l'autre.

Lois des attractions et des répulsions entre deux courans électriques dirigés d'une manière quelconque.

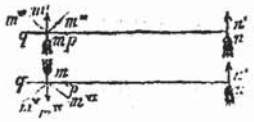
La loi de ces attractions entre deux très-petites parties de courans électriques étant une fois connue, le calcul déterminerait l'effet que doit produire l'action mutuelle de toutes les parties de l'un des conducteurs sur toutes les parties de l'autre. La question étant ainsi ramenée à connaître l'action qu'exercent l'une sur l'autre deux

petites portions des deux courans, en raison de leur direction, du sens où ils vont, et de la distance qui les sépare, voici la loi qui résulte de l'ensemble des expériences.

15. Soit mm' une petite portion du courant AB, agissant sur la petite portion nn' du courant CD, et mn la distance qui les sépare; d'abord, quant au sens de la direction des courans dans ces parties, il est aisé de constater que, tout restant le même, si l'on change le sens de la direction de l'un des courans, de celui du conducteur AB, par exemple, sans rien changer d'ailleurs à la situation de ce conducteur, l'action de la portion mm' deviendra contraire à ce qu'elle était d'abord. Quant à la manière dont la distance mn influe sur l'action mutuelle de mm' et nn', elle consiste en ce que cette action est en raison inverse du carré de mn, ainsi que nous en aurons plus loin la preuve d'après les expériences très-précises que M. Biot a faites sur ce sujet : reste à considérer comment l'action dépend des directions mm', nn' des courans.

16. Voyons d'abord ce qui aura lieu pour deux petites portions de courans situés dans le même plan : soient mm', nn', fig. 10,

Fig. 10.



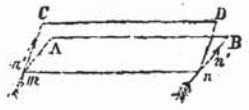
ces deux petites portions dont nous considérons l'action mutuelle : dans le cas où elles sont l'une et l'autre perpendiculaires à la ligne mn qui joint leurs milieux, on sait qu'il y a attraction quand les courans, dont elles font partie, sont dirigés dans le même sens, comme mm', nn', et répulsion quand ils sont dirigés en sens contraires, comme mm^{iv} et nn'; dans les positions intermédiaires, il y a attraction tant que la direction nouvelle mn'' ou mn''' est du même côté de mn que la direction nn'; c'est-à-dire tant que l'angle $n''mn$ est au-dessus de zéro, ou l'angle $n'''mn$ au-dessous de deux angles droits. Seulement à mesure que l'angle $n''mn$ diminue

ou que $m'''mn$ augmente, ou, en d'autres termes, à mesure que la nouvelle direction mm'' ou mm''' s'écarte davantage de mm' qui donne le maximum d'attraction, pour se rapprocher de la ligne mn, l'action de cette portion du courant sur la portion nn' s'affaiblit; en sorte que si mm'' ou mm''' prennent la position mp ou mq, dont la direction va passer par le point n, l'action devient tout-à-fait nulle.

Quand le courant mm' est dirigé de l'autre côté de la ligne mn, comme suivant mm^{IV}, mm^{V}, mm^{VI}, les actions sont égales et contraires à ce qu'elles étaient quand le courant était dirigé au-dessus de la ligne mn, puisque mm^{V}, par exemple, est dans un sens directement opposé à mm'' et doit produire un effet contraire. Il en est de même de mm^{VI}, à l'égard de mm'''; en sorte qu'à partir de la position mm^{IV}, qui donne le maximum de répulsion, l'action répulsive va en diminuant à mesure que l'on considère des directions, mm^{V}, mm^{VI}, qui s'écartent davantage de mm^{IV}, et l'action est tout-à-fait nulle quand on arrive aux directions mq, mp, qui coïncident avec la ligne mn. Lorsque au lieu de changer seulement la direction de la portion de courant mm', on fait varier en même temps la direction nn' de manière à l'incliner aussi sur la ligne mn, l'action mutuelle de ces deux portions est affaiblie par ces deux causes à la fois, et l'on voit qu'en général deux petites portions de courans électriques situées dans un même plan, s'attirent, si leurs directions tendent vers le même côté de la ligne qui les joint; qu'elles se repoussent dans le cas contraire; et que l'action de chacune d'elles dépend de l'angle que sa direction fait avec la ligne qui les joint, cette action atteignant son maximum quand l'angle en question est droit, et devenant nulle quand la direction de cette portion de courant coïncide avec la ligne qui joint les deux portions que l'on considère.

17. Supposons maintenant que mm', nn', (fig. 11)

Fig. 11.



soient dirigées d'une manière quelconque dans l'espace. Menons par nn' et par la ligne mn le plan $AmnB$, que j'appellerai plan du courant nn', et par mm' et la même ligne mm' un autre plan $CmnD$, qui sera le plan du courant mm'. Si l'on conçoit le plan $CmnD$ d'abord couché sur le plan $AmnB$, il y aura entre mm' et nn' une attraction dont l'intensité dépendra de l'inclinaison plus ou moins grande de chacune de ces directions sur mn. Le plan $CmnD$ de la portion de courant mm' se relevant ensuite, il y aura toujours attraction tant que l'angle des deux plans sera moindre qu'un angle droit. A cette limite l'action sera nulle; au delà il y aura répulsion, et répulsion croissante, jusqu'à ce que l'angle des deux plans soit égal à deux angles droits, ce qui ramène de nouveau mm' dans le même plan que nn', mais de l'autre côté en mm'', et nous donne le maximum de répulsion que comportent mm', nn', d'après leur inclinaison sur la ligne mn, comme nous avions leur maximum d'attraction, quand l'angle des deux plans était zéro.

En continuant le mouvement du plan $CmnD$, on amènerait la direction mm' au-dessous du plan $AmnB$; comme les positions que prendrait alors mm' se trouveraient toujours opposées à des positions semblables, occupées auparavant par mm', au-dessus du plan $AmnB$, et que dans cette direction contraire cette portion de courant doit produire des effets contraires, il est évident qu'à partir de la position où le plan $CmnD$ est venu coïncider avec $AmnB$, après avoir tourné de deux angles droits, cas où l'on observe le maximum de répulsion, si l'on suppose que le plan $CmnD$ continue de tourner, il y a encore répulsion depuis la position dont nous parlons, jusqu'à celle où le plan est abaissé d'un angle droit au-dessous, de manière à se trouver encore rectangulaire avec $AmnB$; dans cette dernière position, l'action devient nulle une seconde fois, et se change en attraction depuis cette limite jusqu'à celle où le plan $CmnD$ revient de nouveau coïncider avec $AmnB$, après avoir décrit une circonférence entière, et reproduit ainsi entre mm' et nn' le maximum d'attraction.

La nature de l'action qui a lieu entre deux portions mm', nn' de courans électriques, dépend donc de l'angle

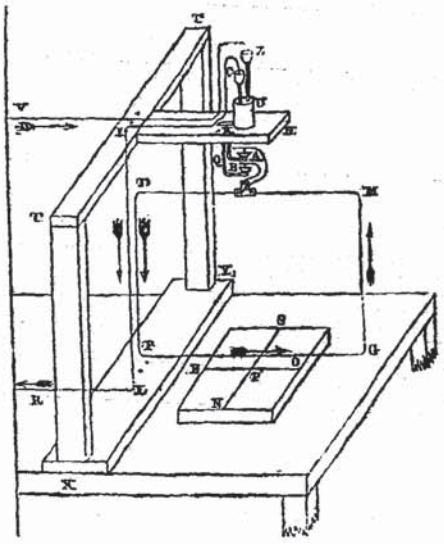
que font leurs plans, de manière qu'en prenant, pour toutes les deux, ces plans du côté de la ligne *mn* vers lequel tendent les courans, et l'angle qu'ils forment du côté où il est moindre que deux angles droits, il y a attraction, tant que l'angle de ces plans est plus petit qu'un angle droit, action nulle quand cet angle est droit, et répulsion quand il surpasse cette valeur; lorsque cet angle est zéro ou égal à deux angles droits, on obtient le maximum d'attraction ou de répulsion.

Effets produits par l'action du globe terrestre sur les courans électriques.

Effet analogue à la direction de l'aiguille aimantée.

18. Le globe terrestre agit pour diriger les courans mobiles, comme nous l'avons déjà dit. Si l'on suspend toujours de la même manière, à l'appareil représenté fig. 3, un conducteur mobile simple, comme celui de la figure 3,

Fig. 3.



plié en rectangle, ou celui de la figure 6,

Fig. 6.

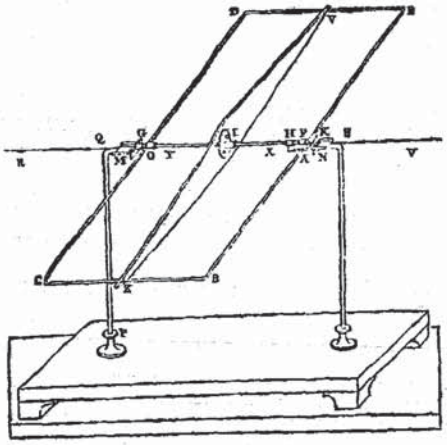
plié en cercle, qu'il n'y ait près de ce conducteur aucune autre portion du circuit, et qu'on y établisse ensuite le courant électrique par le moyen des deux coupes Z et C, fig. 3, on voit ce conducteur tourner jusqu'à ce que son plan soit perpendiculaire au méridien magnétique. Pour s'en assurer, on place au dessous du centre de mouvement du conducteur, un carton sur lequel sont tracées deux lignes rectangulaires EO, NS, dont le point d'intersection P est verticalement au-dessous de la pointe A, qui sert de pivot; si l'on a d'avance, au moyen d'une aiguille aimantée, disposé ces lignes de manière que NS soit la direction de cette aiguille, N étant l'extrémité qui se dirige vers le nord, on verra le fil mobile tourner jusqu'à ce que la ligne FG soit parallèle à la ligne EO, et que la direction FG du courant dans la partie inférieure du conducteur soit de l'est à l'ouest. Le conducteur mobile se fixera constamment à cette position, après quelques oscillations, et si on le met dans cette direction, mais avec le courant en sens contraire, il se retournera et décrira une demi-circonférence, pour reprendre après plusieurs oscillations la position que nous venons d'indiquer.

En rapprochant ce résultat de l'expérience décrite (art. 9), on voit que le conducteur mobile est dirigé dans ce cas, comme il le serait par des courans électriques, qui auraient lieu dans le globe terrestre, et qui seraient dirigés de l'est à l'ouest perpendiculairement au méridien magnétique.

Effet analogue à l'inclinaison de l'aiguille aimantée.

19. On observe aussi un effet analogue à l'inclinaison de l'aiguille aimantée ; pour cela on dispose un conducteur ABCDEF, *fig.* 12,

Fig. 12.



dans lequel le courant arrivant par VS et par le tourillon d'acier K, posé sur une plaque métallique N, parcourt le rectangle ABCDEF pour revenir au travers du tube XY, qui sert d'axe à l'appareil, à un autre tourillon G, qui pose sur la plaque M en communication, avec le pole négatif de la pile par le fil QR. Un lozange ZIV en bois, très-léger, fixé sur l'axe XY, soutient le rectangle mobile et sert à empêcher la flexion. Cet appareil se met en mouvement pour s'incliner dès que l'on établit le circuit ; pourvu qu'on ait eu soin d'abord de placer l'axe XY dans une direction horizontale et perpendiculaire au méridien magnétique, afin que l'action de la terre subsiste tout entière pour faire tourner le plan du conducteur autour de cet axe, et ensuite que les différentes parties de ce conducteur, de part et d'autre de l'axe, soient bien en équilibre pour que la pesanteur n'ait au-

cune action sur lui, dans toutes les positions qu'on voudra lui donner. Avec ces précautions et celle de mettre un peu de mercure sur les plaques qui servent de support, pour mieux établir la communication par les tourillons d'acier, on observe que, quelle que soit la position qu'on donne au conducteur, il ne reste en repos que dans la situation où son plan est perpendiculaire à la direction connue de l'aiguille d'inclinaison, et que de plus le courant est dirigé de l'est à l'ouest, dans la partie BC, où nous supposons que le courant va de B en C, qui se trouve, quand l'appareil s'arrête en équilibre, au midi de l'axe FO et au-dessous du plan horizontal, qui passe par cet axe. Dans toute autre position le conducteur se met en mouvement pour se rapprocher de cette situation, et venir enfin s'y fixer après quelques oscillations.

En se rappelant la manière d'agir des courans électriques parallèles, on voit que cet effet se trouve expliqué par la même supposition des courans électriques dirigés de l'est à l'ouest dans le globe de la terre, perpendiculairement au méridien magnétique, en admettant de plus que ces courans sont en général situés vers le midi du lieu où se fait l'expérience, car alors ils doivent attirer vers eux la partie BC, dans laquelle le courant est aussi de l'est à l'ouest, repousser DE, où il a une direction contraire, et par conséquent incliner le conducteur comme nous venons de dire qu'il s'incline réellement.

On peut graver facilement dans sa mémoire ces deux effets de l'action du globe terrestre sur les courans électriques, en remarquant que le plan du conducteur mobile est dirigé dans les deux cas, de manière à prendre la même position qu'un plan perpendiculaire à la ligne qui joint les deux pôles de l'aiguille aimantée.

Action mutuelle des courans électriques et des aimans.

Action d'un conducteur voltaïque sur l'aiguille aimantée.

20. Si l'on dispose un fil conducteur parallèlement à une aiguille aimantée ordinaire, c'est-à-dire horizontalement et dans la direction du méridien magnétique; le courant allant du sud au nord on observe les phénomènes suivans :

1°. Quand le fil est au-dessus de l'aiguille, le pôle aus-

tral de celle-ci [1] est dérangé de la position que lui donnait le globe et jeté vers l'ouest ; 2° si le fil est au-dessous de l'aiguille ce même pôle est jeté vers l'est ; 3° si le fil est à la même hauteur que l'aiguille et à l'est, la déclinaison ne change pas, mais l'aiguille s'incline dans un plan vertical, le pôle austral étant alors relevé ; 4° le fil étant à la même hauteur que l'aiguille, mais à l'ouest, l'aiguille s'incline encore, mais le pôle austral est abaissé.

Lorsque le courant est dirigé du nord au sud, toutes les déviations de l'aiguille ont lieu en sens contraire de celles que nous venons d'indiquer.

On doit la découverte de ces faits à M. OErsted qui les a publiés en 1820. Son mémoire, imprimé dans les Annales de chimie et de physique (tome XIV, pag. 417), contient aussi quelques autres observations, dont nous parlerons dans la suite. Nous devons faire connaître auparavant les résultats du travail de M. Ampère sur ce genre d'action ; parce que ce travail fait immédiatement après la découverte de M. OErsted, dégage les faits observés par ce dernier des circonstances qui en compliquaient les lois, qu'il les généralise et les ramène à la théorie que nous venons d'exposer.

Le courant qui a lieu dans la pile agit comme celui du fil conducteur.

21. Dans l'expérience de M. OErsted on peut remplacer le courant du fil conducteur par celui qui a lieu dans la pile même, en ayant soin de la disposer de telle sorte que le courant y ait la même direction qu'il avait précédemment dans le fil, et si l'on place deux aiguilles l'une sur la pile CZ, fig. 1, l'autre sur le fil ZAC, au-dessus de la partie A parallèle à la pile (la pile et cette partie du fil étant dirigées suivant le méridien magnétique) on voit les deux aiguilles éprouver des déviations opposées, quand on établit le circuit, parce que le courant est dirigé en sens contraire au-dessous des deux aiguilles. Cette expérience est analogue à celle que nous avons décrite (art. 11), où pour agir sur un conducteur mobile on a pareillement remplacé le courant d'un fil conducteur par celui de la pile.

Galvanomètre proposé par M. Ampère.

22. Lorsqu'une aiguille est ainsi déviée par l'action du

[1] C'est, comme on sait, l'extrémité de l'aiguille qui se dirige vers le nord du globe.

courant électrique de la direction qu'elle prend naturellement, il faut concevoir que la force directrice du globe se compose avec la force qui résulte de l'action du courant électrique, en sorte que dans la position où elle se fixe sous l'influence du fil conducteur, il y a équilibre entre l'action du globe pour ramener l'aiguille au méridien magnétique et celle qu'exerce ce fil pour l'en écarter; à mesure que la pile s'affaiblit cette déviation diminue. Une aiguille aimantée placée sur la pile, que l'on aurait soin de mettre dans la direction du méridien magnétique, deviendrait donc un moyen de connaître à chaque instant la force du courant dans cette pile, ce serait par conséquent un galvanomètre dont les indications se rapporteraient au courant lui-même, et d'autant plus utile que c'est dans cet état de la pile, quand le circuit est fermé, et que les électroscopes ordinaires ne peuvent donner aucune indication, que se manifestent les phénomènes chimiques et physiologiques, ainsi que les phénomènes de lumière et de chaleur.

25. Remarquons maintenant que, dans les expériences de M. OErsted, les différens effets que produit le courant électrique quand il est au-dessus ou au-dessous, à l'est ou à l'ouest de l'aiguille, peuvent être ramenés à un seul fait si on les rapporte à la cause dont ils dépendent, c'est-à-dire à la position du courant par rapport à l'aiguille. Pour se faire une idée nette de cette position et définir la direction du courant relativement à l'aiguille, concevons un observateur placé dans le courant de manière que la direction de ses pieds à sa tête soit celle du courant, et que sa face soit tournée vers l'aiguille; on voit alors que dans toutes les expériences rapportées ci-dessus le pôle austral de l'aiguille aimantée est porté à la gauche de l'observateur ainsi placé. En effet, dans la première le courant étant au-dessus de l'aiguille, l'observateur, les pieds au sud, la tête au nord, et regardant l'aiguille, a sa gauche à l'ouest, côté vers lequel est jeté le pôle austral; dans la seconde le fil étant au-dessous, le même observateur, la face toujours tournée vers l'aiguille, a sa gauche vers l'est, et c'est en effet vers l'est que marche le même pôle; dans la troisième le courant étant à l'est de l'aiguille, l'observateur regardant l'aiguille qui est à la même hau-

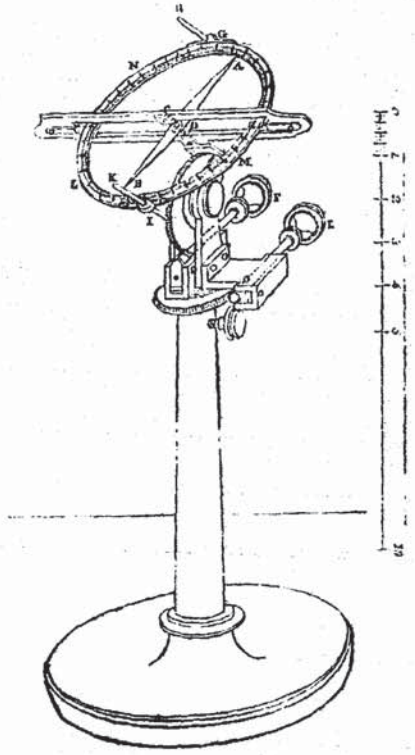
teur que lui, a la droite en bas, la gauche en haut, et le pôle austral est relevé ; dans la 4e expérience c'est la gauche de l'observateur qui est en bas, et le pôle austral de l'aiguille est abaissé ; enfin, si l'on change le sens du courant on changera la situation de l'observateur, et la direction de ses pieds à sa tête etant contraire, la position de sa gauche sera contraire aussi, et on obtiendra, en suivant la même règle que tout à l'heure, des déviations en sens contraire, ainsi que les donne l'expérience.

La position de l'observateur dans le courant, la face tournée vers l'aiguille et la direction de ses pieds à sa tête la même que celle du courant, étant ainsi complétement déterminée, et servant à définir exactement toutes les circonstances de la situation d'un courant électrique par rapport à un aimant, indépendamment de leur position absolue dans l'espace, on peut, pour abréger, quand il s'agit de cette situation relative, appeler la gauche et la droite du courant, la gauche et la droite de l'observateur placé comme nous venons de le dire; et d'après cette convention nous énoncerons la règle à laquelle se ramènent les expériences de M. OErsted, en disant que le pôle austral de l'aiguille soumise à l'action du courant électrique est toujours jeté vers la gauche de ce courant. Nous trouverons bientôt la raison de ce fait en le ramenant au fait très-simple de la direction que deux courans électriques tendent mutuellement à se donner quand ils agissent l'un sur l'autre.

Moyens de déterminer la direction que le courant électrique donne à une aiguille aimantée soustraite à l'action de la terre.

24. Il serait impossible de déterminer exactement dans quelle situation un courant électrique tend à amener l'aiguille aimantée sur laquelle il agit, si l'on n'isolait pas cette action de celle qu'exerce le globe, pour observer les effets du conducteur seul. C'est à quoi l'on parvient en suspendant une aiguille semblable à l'aiguille d'inclinaison, de manière que le globe n'ait aucune action pour la diriger. Telle est, par exemple, l'aiguille de l'instrument représenté fig. 15,

Fig. 13.



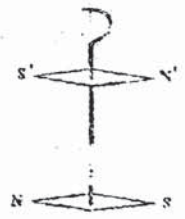
qui permet de donner à l'axe CD qui porte l'aiguille AB toutes les directions possibles, au moyen des deux vis de rappel E,F, dont l'une sert à le faire tourner autour d'un axe vertical, et l'autre à l'incliner à volonté; un cercle LMN attaché aux deux règles de cuivre qui portent cet axe, et divisé en degrés, sert à mesurer la déviation qu'éprouve l'aiguille par l'action du fil conduc-

teur; les supports GH et IK, d'une substance isolante, telle que l'ivoire, sont destinés à fixer ce fil au-dessus de l'aiguille à la distance qu'on veut, en le faisant passer dans des trous qui y sont pratiqués de distance en distance. Lorsqu'on met l'axe CD dans la direction que prend l'aiguille d'inclinaison dans le lieu où l'on se trouve, l'aiguille de l'instrument ne peut se mouvoir que dans un plan perpendiculaire à la direction que le globe tend à lui donner, et par conséquent il n'a plus aucune action pour la diriger. Il est d'ailleurs aisé de s'assurer que l'on a rempli cette condition, en voyant si l'aiguille reste immobile quelle que soit la position qu'on lui donne.

Avec cet appareil on reconnaît facilement que le courant électrique, quand il agit seul, amène l'aiguille aimantée dans la position où la ligne qui joint les pôles de cette aiguille est perpendiculaire à la direction du courant, et où son pôle austral est à la gauche du courant. C'est la position où l'on voit constamment se fixer l'aiguille. Elle la dépasse d'abord en vertu de la vitesse acquise, puis y revient, la dépasse encore et s'y arrête enfin après un nombre d'oscillations d'autant plus grand que l'aiguille est plus mobile; cette loi s'observe toujours, quelle que soit au commencement de l'expérience sa direction et celle du courant. Le pôle austral de l'aiguille fait d'autant plus de chemin pour arriver à la position indiquée qu'il en est primitivement plus éloigné, en sorte même que si l'on dispose le conducteur de manière qu'il soit perpendiculaire à la direction de l'aiguille, mais que le pôle austral soit à droite du courant, ce pôle parcourra une demi-circonférence pour venir se placer à gauche du courant, l'aiguille étant comme dans sa position primitive à angles droits avec la direction du conducteur.

25. On peut faire la même expérience au moyen d'un appareil plus simple, fig. 14,

Fig. 14.

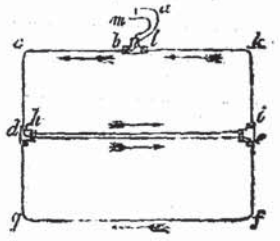


dans lequel les deux aiguilles SN, S'N' sont attachées au même pivot, et ont leurs pôles en sens contraires, de manière que la force directrice du globe sur l'une est détruite par l'action contraire qu'il exerce sur l'autre. On s'assure au commencement de l'expérience qu'elles restent immobiles dans toutes les directions qu'on leur donne. Le pivot qui les porte peut se placer dans l'une des coupes de l'appareil fig. 3, qui sert alors seulement de support. Lorsque le fil conducteur est au-dessous de l'aiguille SN ou au-dessus de l'aiguille S'N', il est nécessaire que les deux aiguilles soient suffisamment éloignées l'une de l'autre, pour que les fils conducteurs que l'on fait agir sur l'une n'agissent pas trop fortement en sens contraire sur l'autre. Le courant étant disposé horizontalement, on voit, dans cette expérience comme dans la précédente, l'aiguille la plus voisine du fil conducteur se fixer dans la direction perpendiculaire à ce fil, son pôle austral se plaçant toujours à gauche du courant. Lorsqu'au contraire le conducteur est placé entre les deux aiguilles, il agit dans le même sens sur toutes les deux, et son action est d'autant plus énergique qu'elles sont plus rapprochées l'une de l'autre.

Action d'un aimant sur un conducteur mobile.

26. Réciproquement, si l'on fait agir un aimant sur un conducteur mobile, on trouve que la position où ce conducteur se fixe, après avoir oscillé autour d'elle, est telle que sa direction fait un angle droit avec la ligne des pôles de l'aimant, et que le pôle austral se trouve toujours à gauche du courant. Il est évident d'ailleurs qu'il faut employer ici un conducteur, sur lequel le globe n'ait aucune action directrice comme celui que nous avons décrit (art. 9.) On placera l'aimant de manière que son milieu soit au-dessous du milieu de la partie *fg*, fig. 5,

Fig. 5.



du conducteur mobile, et quand le conducteur se sera fixé, on observera toujours que la ligne *fg* fait un angle droit avec la ligne des pôles de l'aimant, et que le pôle austral de ce dernier est à gauche du courant.

Recherches sur la cause de ces phénomènes.

27. Pour remonter à la cause de ces phénomènes, dont nous avons maintenant la loi, remarquons que l'aiguille aimantée est dirigée par le globe, comme elle le serait par des courans électriques, situés dans la terre et dirigés de l'est à l'ouest perpendiculairement au méridien magnétique; car ces courans, étant sous l'aiguille, dirigeraient, d'après ce que nous venons de dire, son pôle austral vers le nord, comme la terre le dirige en effet. Nous avons déjà été conduits (art. 18 et 19) à assimiler l'action du globe sur les conducteurs mobiles à celle des pareils courans. Ainsi quelle que soit la nature de cette dernière action, on ne peut douter qu'elle ne soit identique à celle qui dirige les aimans; et nous allons faire voir, par tout ce qui suit, qu'elle ne diffère point de l'action que deux courans électriques exercent l'un sur l'autre, et dont nous avons précédemment étudié les effets. On aurait pu évidemment déterminer *à priori*, comment le globe doit diriger les aimans, si l'on eût connu seulement l'action du globe sur les conducteurs mobiles et celle des conducteurs sur les aimans. Car sachant que l'effet produit par le globe sur un conducteur mobile, est le même que celui d'un courant de l'est à l'ouest situé dans la terre, on aurait vu de suite qu'un pareil courant doit diriger, du nord au sud, l'aiguille qui est au-dessus de lui, et que le pôle de l'aiguille qui, dans toutes les expériences, se met à gauche du courant, est précisément celui qui doit être tourné vers le nord par l'action du globe.

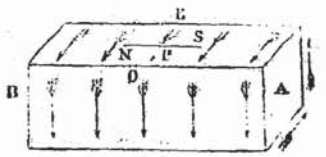
Remarquons aussi que les aimans dirigent un courant mobile exactement comme le fait le globe lui-même. En effet nous avons vu (art. 18) que dans la position où se fixe le courant mobile sur lequel agit le globe terrestre, le pôle austral de la terre est à gauche d'un observateur placé dans la direction de ce courant, et qui regarderait la terre, puisque cette position est celle où le courant est perpendiculaire au méridien magnétique, et dirigé de l'est à l'ouest. La position qu'il prend alors

est donc précisément celle que lui donnerait un aimant dont les pôles de même nom seraient situés comme ceux de la terre.

28. D'après l'analogie incontestable des pôles de même nom, soit de la terre, soit des aimans, et puisque nous avons vu que nous pouvions assimiler l'effet produit par le globe, soit sur un conducteur mobile, soit sur un aimant, à celui d'un courant électrique dirigé de l'est à l'ouest, nous devons pouvoir rendre raison de tous les phénomènes que présentent les aimans, en imaginant dans ceux-ci une disposition analogue à celle que, dans le globe, nous avons reconnu pouvoir produire les phénomènes observés; en un mot, si nous mettons, par la pensée, le pôle austral d'un aimant à la place du pôle austral du globe, et son pôle boréal à la place du pôle boréal du globe, nous devons reconnaître autour de l'axe de cet aimant un courant électrique dirigé de l'est à l'ouest.

Nous nous représenterons donc, figure 15,

Fig. 15.

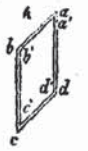


sur la surface de l'aimant AB, une infinité de courans électriques situés tout autour dans des plans perpendiculaires à l'axe, et dans la direction que marquent les flèches; en effet, en concevant le pôle boréal B de cet aimant à la place du pôle boréal de la terre, et le pôle austral A à la place du pôle de même nom de la terre, on voit que, pour un point P quelconque pris sur l'aimant, N serait le nord, S le sud, E l'est et O l'ouest, la direction des courans à la surface serait donc EO, comme le représentent toutes les flèches.

Mais ce n'est pas seulement sur la surface de l'aimant, c'est aussi dans son intérieur qu'on doit, pour rendre

raison de tous les phénomènes, admettre des courans électriques. En isolant par la pensée une tranche *abcd* fig. 16,

Fig. 16.



infiniment mince et comprise entre deux plans perpendiculaires à l'axe l'aimant AB, on comprendra plus facilement la disposition des courans dans l'intérieur de l'aimant. Supposons donc qu'il existe, dans le contour *abcd* de cette tranche, le même état électrique qui a lieu dans une pile dont les deux pôles sont en communication, comme, par exemple, si toutes les molécules de *a* en *b*, de *b* en *c*, etc., s'enlevaient l'une à l'autre l'électricité positive de manière à la transporter suivant *abcda*, et l'électricité négative en sens contraire, exactement comme la chose a lieu dans une pile circulaire, dont les deux pôles se rejoignent, ou dans une pile ordinaire dont les deux pôles sont en communication par un fil métallique; cette disposition produirait un des courans qui se trouvent sur la surface de l'aimant. On concevra immédiatement au-dessous et entre les mêmes plans une autre série de molécules *a'b'c'd'* formant un circuit fermé comme les précédentes, et dans cette série un courant dirigé dans le même sens que le premier, et ainsi de suite jusqu'au centre de la section de l'aimant. Tous ces courans dirigés dans le même sens uniront leurs actions, et l'aimant entier AB sera composé d'une infinité de tranches pareilles qui en seront pour ainsi dire les élémens.

29. Les courans électriques d'un aimant étant disposés autour de son axe dans des courbes fermées, lorsqu'ils agissent sur d'autres courans situés à côté de cet aimant, ce n'est jamais qu'en vertu de la différence des actions de la partie de l'aimant voisine des points sur lesquels

il agit et de la partie opposée où les courans vont en sens contraire; comme, par exemple, l'action de la tranche *abcd*, sur un point *k* d'un courant électrique, serait la différence entre l'action des courans *ab*, *a'b'*, etc., voisins de *k*, et l'action opposée des courans *cd*, *c'd'*, etc., qui sont dirigés en sens contraire. Mais ceux-ci agissant toujours de plus loin, il suffira ordinairemet pour avoir la nature de l'action de considérer celle des courans dans la partie de l'aimant la plus voisine des points sur lesquels on veut connaître son action.

30. D'après cette manière de considérer tous les phénomènes qu'offrent les aimans comme des phénomènes purement électriques, le pôle boréal et le pôle austral ne sont distingués l'un de l'autre que par leur différente situation, relativement aux courans qui entourent l'axe de l'aimant. Cette situation est la même que celle des pôles de même nom de la terre par rapport aux courans du globe. Or, dans celui-ci les courans vont de l'est à l'ouest, et par conséquent en y plaçant un observateur, comme nous l'avons supposé placé dans le fil conducteur, cet observateur a les pieds à l'est, la tête à l'ouest, et la face tournée vers les points extérieurs au globe sur lesquels le courant doit agir. Il tourne donc le dos à l'axe du globe, et a le pôle austral à sa droite et le pôle boréal à sa gauche. Il en est de même pour les aimans, et concevant toujours que l'observateur, qui est placé dans leurs courans, tourne le dos à l'axe, pour faire face aux points extérieurs sur lesquels ces aimans agissent.

Nous dirons donc que dans les aimans, comme dans le globe, le pôle austral est à droite des courans que nous y admettons.

Ainsi, dans l'aimant AB, fig. 15, en supposant connue la direction des courans, on verrait de suite que le pôle austral est le pôle A, situé à droite des courans, en prenant ce mot *à droite* dans l'acception que nous avons définie.

Cette seule différence de situation suffit pour rendre raison des effets contraires que produisent les deux pôles de l'aimant, dans tous les cas où ils n'agissent pas de la même manière.

31. Nous n'examinerons pas ici les causes que l'on

peut supposer naturellement devoir produire dans le globe et dans les aimans, les courans auxquels nous venons d'être conduits; quelles qu'elles soient, les considérations qui nous ont fait admettre l'existence de ces courans prouvent qu'ils agissent précisément comme ceux des fils conducteurs, dont nous avons déjà reconnu par l'expérience la manière d'agir les uns sur les autres : nous allons montrer maintenant comment on en peut déduire l'explication de tous les faits précédemment connus, et de ceux que ces mêmes considérations ont conduit à découvrir.

32. Observons d'abord qu'on peut en tirer de suite la raison de ce fait établi (art. 25), que les aimans non dirigés par le globe, se mettent à angles droits avec les courans électriques, de manière que leur pôle austral soit à gauche du courant; car nous avons vu (art. 9), que quand on fait agir un courant fixe sur un autre courant libre de tourner autour d'un de ses points, ce dernier est amené, par leur action mutuelle, dans la situation où il est parallèle au second, et dirigé dans le même sens.

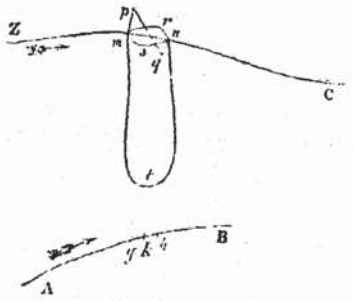
Or, si nous faisons agir un fil conducteur sur un aimant, considéré comme l'assemblage des courans en courbes fermées qui entourent son axe; ces courans, dans leur partie la plus voisine du fil conducteur, devront tendre à se mettre dans une direction parallèle à celle de ce fil, de manière que le sens des courans soit le même dans le fil et dans la partie de l'aimant qui en est voisine; et comme les courans de l'aimant sont dans des plans perpendiculaires à son axe; cet axe lui-même sera à angles droits avec le fil conducteur. Mais de plus nous venons de voir que pour un observateur, situé dans la direction des courans d'un aimant, c'est-à-dire de manière que le courant aille de ses pieds à sa tête, et que sa face soit tournée vers le fil conducteur, le pôle austral est à sa droite; ce même pôle sera donc à gauche de l'observateur placé dans la direction du courant du fil et regardant l'aimant comme le donne l'expérience.

Conséquences de l'égalité d'action observée entre deux conducteurs l'un rectiligne et l'autre plié

33. Avant d'aller plus loin, il est indispensable de déduire quelques conséquences nécessaires à l'intelligence de ce qui nous reste à dire sur ce sujet, du fait énoncé plus haut, relativement à l'égalité de l'action d'un con-

ducteur sinueux et d'un conducteur rectiligne, quand la distance à laquelle ils agissent est la même. On en peut conclure que, si au conducteur quelconque *Zmrn*C, fig. 20, en ligne sinueuse.

Fig. 20.

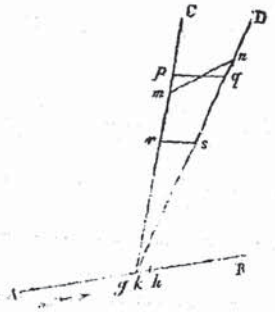


on en substitue un autre *Zmsn*C, qui n'en diffère que dans la très-petite partie qui va du point *m* au point *n*, les deux actions exercées par ces deux conducteurs, sur un point *k* d'un courant quelconque AB, ou plutôt sur la petite portion *gh* de ce courant, dont le milieu est en *k*, seront égales; d'où il suit que les actions des deux petites portions *mrn*, *msn*, par lesquelles seules ils diffèrent, le seront aussi, et qu'on peut toujours supposer qu'à une petite portion d'un courant électrique, comprise entre deux points infiniment voisins, on substitue une autre portion brisée ou contournée d'une manière quelconque, sans que l'action soit changée, du moins tant que la nouvelle portion ne s'éloigne pas à une distance finie de la première; car si cela arrivait, comme dans le cas où l'on remplacerait la portion *mrn* par *mtn*, par exemple, qui s'en éloigne à une distance finie, l'action serait changée, à cause du changement de la distance au point *k* de cette partie *mtn* du conducteur.

34. On voit par-là qu'à la place d'une portion *mn*, infiniment petite, rectiligne, ou considérée comme telle, on peut substituer l'assemblage de trois petites portions

rectilignes mp, pq, qn, dans des directions prises à volonté : cette transformation est très-commode pour le calcul de l'action d'un courant curviligne, parce qu'elle sert à remplacer l'action de la différentielle de l'arc qu'il décrit par celle de la réunion des trois différentielles des coordonnées ; mais comme nous ne nous proposons pas de donner ici ce calcul, nous en conclurons seulement que les deux petites portions de courans mn, pq, fig. 21,

Fig. 21.



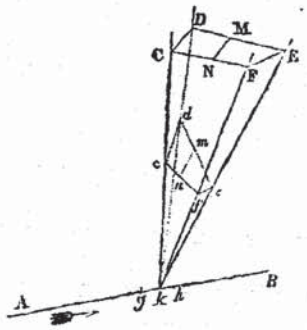
comprises entre les lignes kC, kD, passant par le milieu k de la petite portion gh d'un troisième courant, exercent sur gh des actions égales, quand ces deux portions mn, pq, sont à la même distance du point k. En effet, d'après ce qu'on vient de voir, l'action de mn est égale à celle de la ligne brisée $mpqn$, dont les deux parties mp, qn, n'exercent aucune action sur gh, d'après ce que nous avons vu (art. 16), puisqu'elles sont dirigées suivant des droites qui passent par le point k ; il ne reste donc que l'action de pq, égale à celle de mn.

35. Il suit de là que deux portions de courans électriques de même intensité, telles que rs et mn, situées dans le plan CkD, et terminées par les droites kC, kD, exercent sur gh des actions qui sont en raison inverse des distances kr, km ; car à la place de mn, on peut substituer pq, parallèle à rs, dont l'action sera la même que celle de mn ; or l'action de rs est à celle de pq :: $\frac{rs}{kr^2}$: $\frac{pq}{kp^2}$,

à cause que $rs : pq :: kr : kp$, ce rapport se réduit à celui de $\frac{1}{kr} : \frac{1}{kp}$, et comme kp et hm ne diffèrent que d'une quantité infiniment petite, on a l'action de rs est à celle de $mn :: km : kr$.

36. Considérons maintenant deux portions infiniment petites, CDEF, *cdef*, fig. 22,

Fig. 22.



de deux surfaces terminées par des plans passant par le milieu k de gh, ou par une surface conique dont le sommet soit en k; et supposons ces surfaces couvertes de courans électriques de même intensité, et à la même distance les uns des autres, de manière que les directions des courans d'une des deux portions de surfaces soient les projections des directions de ceux de l'autre sur la première surface lorsqu'on met le centre de projection en k, nous reconnaîtrons aisément que chaque courant d'une des surfaces infiniment petites CDEF, *cdef*, exerçant une action qui est à celle du courant correspondant de l'autre surface, en raison inverse des distances de ces surfaces au point k : et le nombre des courans de chaque surface étant en raison directe des mêmes distances, l'action totale doit être la même; en sorte que si les courans des deux petites surfaces sont dans le même sens, l'effet qu'elles produiront sur gh sera aussi

le même ; que s'ils sont en sens contraire, les effets seront encore égaux, mais opposés; et que si, dans ce dernier cas, ils ont lieu en même temps, ils se détruiront mutuellement. La même égalité d'action sur *gh* a lieu lors même que les deux surfaces ont une grandeur finie, en les supposant toujours terminées par une surface pyramidale ou conique, dont le sommet soit en *k*; puisque chaque élément de l'une exerçant la même action que l'élément correspondant de l'autre, et dans la même direction, on aura, pour chacune de ces deux surfaces, la même résultante.

Analogie entre les surfaces couvertes de courans électriques, et celles qui rayonnent de la chaleur ou de la lumière.

37. Cette propriété des surfaces, couvertes de courans électriques de même intensité, est analogue aux propriétés connues des surfaces également échauffées ou éclairées dans tous leurs points, qui, comme on sait, produisent le même effet sur un point donné, quelle que soit leur étendue et leur forme, lorsqu'elles sont comprises entre les génératrices d'une même surface conique, dont le sommet est à ce point, ou, en d'autres termes lorsque vues de ce point elles ont l'une et l'autre la même projection sur une surface sphérique infinie dont le point donné est le centre. Mais il y a pour les courans électriques une condition de plus, c'est qu'il faut que la disposition des courans qui couvrent les surfaces soit telle que MN étant la direction du courant dans la surface CDEF, *mn* contenue dans le plan MN*k*, soit la direction du courant dans la surface *cdef*, autrement l'action des courans de *cdef* sur *gn* serait autre que dans l'hypothèse où leur direction était *mn* et il n'y aurait plus égalité d'action entre les deux surfaces.

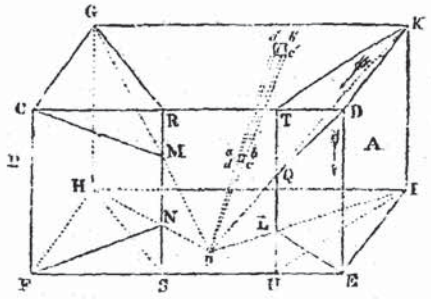
Application de ces considérations aux propriétés générales des aimans.

38. L'application que l'on peut faire de cette analogie aux propriétés générales des aimans, mérite d'être examinée parce qu'elle jette un grand jour sur les diverses circonstances de leur action, quand on considère les courans des surfaces opposées d'un aimant, comme nous venons de considérer ceux des surfaces CDEF, *cdef*: mais cette application n'est pas rigoureuse, parce que les courans des surfaces opposées d'un aimant ne satisfont pas exactement à la condition que MN soit la projection de *mn* relativement au point *k*; c'est pourquoi nous n'emploirons ce genre de considération que pour en tirer

des inductions générales sur les effets des aimans. Dans l'examen des faits particuliers nous ferons usage d'une méthode de démonstration tout-à-fait rigoureuse.

59. Représentons-nous donc, conformément à ce qui a été dit (art. 28), l'aimant AB, fig. 17.

Fig. 17.



comme composé de plusieurs enveloppes prismatiques rectangulaires semblables, qui se recouvrent depuis l'axe jusqu'à la surface de l'aimant, et qui soient couvertes en tous leurs points de courans d'égale intensité, dont la direction soit telle que le représente la figure, et soit P le point sur lequel nous considérons l'action de ces enveloppes, en nous bornant même, pour abréger, à l'enveloppe extérieure formée des quatre rectangles CDEF, CDKG, HIKG, HIEF; toutes les autres qui agissent de même ne faisant qu'augmenter l'action de celle-ci.

A chaque petite surface *abcd* prise sur la face antérieure de l'enveloppe et entre les plans GHSR et KTUI menés par le point P et les lignes HG et IK, il répond toujours une autre petite surface $a'b'c'd'$ dont l'action est égale et contraire à celle de la première en sorte que toute la surface GRTKIUSH qui est celle d'un prisme tronqué, sera sans action sur le point P de plus, si l'on mène par CG et par le point P le plan CMG qui coupe GRSF suivant CM les actions des deux surfaces CRM, CRG, comprises entre trois plans menés par le point P et par CR, CG, GH se détruiront mutuellement

et on peut en dire autant des surfaces FSN, FSH comprises aussi entre trois plans passant par le point P, il ne restera donc en définitive pour agir sur le point P que la portion en trapèze FCMN de la surface de l'aimant, et une autre portion DQLE de la même surface, située à l'autre extrémité et déterminée de la même manière.

On peut donner au point P sur lequel agissent ainsi les extrémités de la surface de l'aimant, une position telle qu'il éprouve de l'une des extrémités une action contraire à celle que l'autre exerce sur lui. C'est ce qui a lieu si ce point est situé hors des plans CGHF, DKIE, qui terminent l'aimant, du côté du pôle B, par exemple; car on reconnaît facilement alors que vers l'extrémité A de l'aimant il reste, compensation faite, une portion de la surface CDEF pour agir sur P (portion déterminée comme tout à l'heure nous avons déterminé DQLE), tandis que vers l'extrémité B, après des compensations analogues ce sera une portion de la surface GKIH qui restera agissante, et dont l'action sera contraire à celle de la portion qui agit dans la surface CDEF. Quand le point P est dans le plan CGHF l'action de l'extrémité B de l'enveloppe est nulle, et il ne reste plus que l'action de l'extrémité A. Lorsque le même point est hors des plans qui terminent l'aimant, les deux actions contraires des extrémités A et B se composent entre elles, en sorte qu'il y a une certaine position du point P où ces deux actions se détruisent complétement, enfin passé cette limite l'action de la portion non compensée de la surface postérieure vers l'extrémité B, l'emporte sur l'action de la portion non compensée de la surface extérieure vers l'extrémité A, et l'effet sur le point P devient contraire.

Ce que nous venons de dire pour la surface extérieure de l'aimant, doit être dit pour toutes les surfaces semblables, ou pour mieux dire pour toutes les enveloppes semblables, d'une épaisseur infiniment mince, dont l'assemblage pris depuis la surface de l'aimant jusqu'à son axe, forme l'aimant entier. D'après la manière dont nous avons considéré les courans intérieurs dans l'aimant, chacune de ces enveloppes pourra être considérée comme couverte en tous les points de portions de courans aux-

quelles on pourra appliquer tout ce que nous venons de dire.

Enfin il est évident que les compensations dont il a été question, ayant lieu pour les parties infiniment petites des surfaces opposées qui sont comprises entre les mêmes lignes, les mêmes raisonnemens peuvent s'appliquer à tous les aimans quelle que soit leur forme, et que ce n'est que vers leurs pôles, c'est-à-dire vers les points où les compensations en question n'ont plus lieu, que l'action des courans doit être efficace.

Raison pour laquelle l'action d'un aimant semble concentrée vers ses extrémités.

40. L'action d'un aimant sur un point P du courant d'un fil conducteur ou sur un point des courans d'un autre aimant, vient donc des parties des enveloppes telles que FCMN, DQLE, dont l'action n'est compensée par celle d'aucune autre portion de surface, et qui sont situées vers ses extrémités. Les courans qui sont sur les faces CFHG et DEIK font partie de ceux des enveloppes successives, dans lesquelles nous avons conçu l'aimant divisé et on en tient compte ainsi sans avoir besoin de considérer ces faces en particulier.

41. La règle exposée (art. 29), d'après laquelle on jugerait de l'action de l'aimant par celle des courans de la surface la plus voisine du point sur lequel on le fait agir, doit être restreinte au cas où le point est compris entre les plans CFHG et DEIK qui terminent l'aimant, puisque d'après ce que nous avons vu (art. 39), quand le point P est hors de l'espace compris entre ces deux plans, il peut arriver que la nature de l'action exercée sur le point P soit au contraire déterminée par celle de la partie de la surface de l'aimant, qui en est le plus éloignée.

42. Il faut aussi prévenir une difficulté qui pourrait se présenter pour les aimans, qui, n'étant point terminés par des plans perpendiculaires à l'axe, sembleraient ne pas se prêter à la décomposition en enveloppes superposées depuis l'axe jusqu'à la surface. Tel serait, par exemple, le cas d'un aimant de forme très-irrégulière qui présenterait des parties plus grosses contiguës à d'autres plus minces. Sans vouloir résoudre en général la question de l'influence de la forme de l'aimant sur les effets qu'il produit, influence qui ne peut être

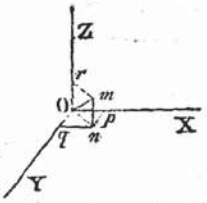
révoquée en doute, nous examinerons seulement le cas d'un aimant terminé en pointe à ses deux extrémités, forme à laquelle se rapporte celle des aiguilles aimantées ordinaires. Il semble d'abord que dans une pareille aiguille, sa surface se continuant jusqu'aux pointes, la surface visible du point P et celle qui ne l'est pas étant séparées par une ligne continue sur laquelle se trouvent les deux extrémités de l'aimant, les actions de ces deux surfaces devraient se détruire complétement. Mais si nous adoptons le même mode de decomposition dont nous avons fait usage pour l'aimant AB, fig. 17, nous verrons que les différentes enveloppes prismatiques qui se recouvrent l'une l'autre sont disposées comme en retraite; que celle qui enveloppe l'aiguille à son milieu agit, sans compensation, par ceux de ses courans qui la terminent vers l'endroit où l'aiguille commence à diminuer de grosseur, et qu'il en est de même pour toutes les autres enveloppes plus intérieures et plus longues jusqu'à l'axe. La résultante de toutes les actions de ces enveloppes d'inégale longueur donnera l'action de l'aimant, et le point de l'axe vers lequel elle sera dirigée sera le pôle de l'aimant.

43. Nous n'insisterons pas davantage sur ces considérations qui, comme nous l'avons dit (art. 38), ne peuvent résoudre que par approximation les questions relatives au sujet qui nous occupe. La solution rigoureuse de ces questions exigerait des calculs trop compliqués pour trouver place ici, calculs qui sont fondés sur l'expression mathématique de l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courans électriques déduite de ce que nous avons dit (art. 16 et 33.)

Composition et décomposition des petites portions de courans électriques.

44. L'action d'une petite portion de courant électrique comprise entre deux points très-rapprochés étant la même (art. 33) quelle que soit la ligne droite, courbe ou brisée, suivant laquelle on dirige le courant entre ces deux points, on peut en tirer pour la composition et la décomposition des petites portions de courans électriques, les mêmes règles que pour la composition et la décomposition des forces dans la statique. Ainsi, fig. 24,

Fig. 24.



l'action d'une portion très-petite Om d'un courant pourra être remplacée par l'action de trois autres courans Op, Oq, Or, dirigés suivant OX, OY, OZ, parallèles à trois axes rectangulaires donnés, et égaux en longueur à Op, Oq, Or, qui sont les trois côtés d'un parallélipipède, dont Om est la diagonale. Pour le démontrer, remplaçons le fil droit Om par un autre fil en ligne brisée suivant $Opnm$, qui d'après l'expérience fait le même effet. On voit que l'on a substitué au courant Om trois autres courans aussi très-petits et égaux en longueur aux côtés du parallélipipède indiqué. A la vérité les trois courans Op, pn, nm ne sont pas tous trois dirigés suivant les parallèles mêmes menés aux trois axes par le point O, mais la distance de nm à Or, par exemple, est infiniment petite, et sera toujours nulle par rapport à la distance finie des points sur lesquels le courant agit. On aurait pu aussi bien pour la démonstration imaginer ce fil plié suivant $Oqnm$ pour aller de O en m, ou suivant les quatre autres constructions analogues qu'on peut faire dans les plans pOr, qOr.

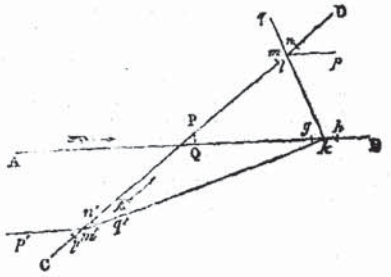
On effectuera d'après le même principe la décomposition d'un nombre quelconque de portions infiniment petites de courans électriques, suivant trois directions déterminées, ce qui donne ensuite le moyen de les composer et d'y appliquer l'analyse, comme on le fait relativement aux forces que l'on considère dans la mécanique.

Explication de l'action directrice d'un courant sur un autre courant.

45. On peut au moyen de ce qui précède rendre aisément raison de ce que nous avons dit (art. 9), savoir que si l'on fait agir un courant fixe sur un conducteur mobile, ce dernier tend à se mettre dans la position

où il est parallèle au premier, et où son courant est dirigé dans le même sens. En effet, soit AB, fig. 25,

Fig. 25.



le conducteur mobile, CD le conducteur fixe, PQ leur perpendiculaire commune ou la ligne qui mesure leur plus courte distance. Nous supposons d'abord que les deux courans AB, CD, soient dans deux plans rectangulaires entre eux, dont PQ serait la commune intersection; en sorte que l'angle des deux droites AB, CD, mesuré par celui de deux autres droites menées par un même point de l'espace parallèlement à chacune d'elles, fût un angle droit. Tous les points de chaque partie d'un des courans agiront sur tous les points de chaque partie de l'autre. Pour avoir l'action des points de la partie PD sur ceux de la partie QB, cherchons d'abord celle d'un point quelconque m du courant CD pris sur PD, sur un point k du courant AB pris sur QB. En disant que nous cherchons l'action mutuelle des points m et k, nous entendons l'action mutuelle de deux parties infiniment petites ln, gh, des courans AB, CD, dont m et k sont les milieux. Cela posé, il est évident que l'on peut remplacer le courant ln par deux autres qui auraient le même milieu m, et qui seraient dirigés l'un dans le plan mkB, qui contient les lignes mk et gh, l'autre perpendiculairement à ce plan. L'action de ce dernier sur gh sera nulle (art. 17), puisque le plan qui contient mk et la direction de ce courant est perpendiculaire au plan qui contient mk et la direction gh, il ne restera donc que l'action du courant qui est dans le plan mkB; remplaçant encore celui-ci par deux

autres dirigés l'un suivant *mp* parallèle à *gh*, l'autre suivant *mq* prolongement de *km*. l'action de ce dernier sur *gh* sera encore nulle (art. 16), à cause que la direction *mq* passe par le point *k* milieu de *gh*, et il ne restera donc que l'action du courant dirigé suivant *mp*, qui étant parallèle à *gh* et dans le même sens, produira une attraction, quoique cette attraction soit moins forte (art. 16) que si les deux courans *gh*, *mp* étaient perpendiculaires à la ligne *mk*, qui joint leurs milieux. On peut en dire autant de l'action de tous les courans infiniment petits, dans lesquels on peut décomposer PD, agissant sur toutes les portions très-petites de QB; en sorte que tous ces effets conspireront à rapprocher le point B du point D, ou à diminuer l'angle des lignes PD, QB, en faisant tourner la ligne AB autour du point Q. La même décomposition ferait voir aussi qu'il résulte des actions mutuelles des points des deux portions AQ, CP, une attraction qui tend à rapprocher le point A du point C, et à faire tourner AB dans le même sens que l'action de PD sur QB. Les actions mutuelles de toutes les parties des lignes PC et QB, ainsi que celles des lignes AQ et PD sont au contraire toutes répulsives et tendent à éloigner le point A du point D et le point B du point C, comme il est facile de le voir en remplaçant la petite portion *l'n'* du courant CP, par deux autres portions de courant dirigées suivant le plan *m'k*B et la perpendiculaire à ce plan, ce qui réduit l'action exercée par *l'n'* à celle d'un petit courant situé dans ce même plan, et qu'on peut remplacer à son tour par deux autres courans dirigés l'un suivant *m'q'*, l'autre suivant *m'p'*, dont le dernier seul agit sur *gh*, et produit une action répulsive, puisque le courant *m'p'* va en sens contraire de *gh*. Les quatre actions mutuelles de PD, PC, QA, QB, conspirent donc toutes à faire tourner dans le même sens la ligne AB comme nous l'avons dit (art. 9.)

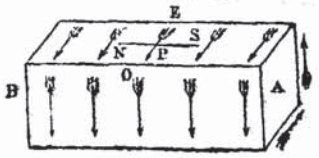
Quand les deux droites AB, CD ne sont pas à angles droits, il y a, entre les quatre parties PD, PC, QA, QB, que nous venons de considérer, deux angles aigus et deux angles obtus: dans les angles aigus, toutes les actions mutuelles des parties infiniment petites des courans tendent encore à faire tourner AB dans le même

sens que précédemment; mais, dans les angles obtus, quoique le plus grand nombre de ces actions s'exerce encore comme dans le cas où les angles sont droits; cependant il y a un certain nombre d'actions mutuelles qui tendent à produire un effet contraire, ainsi qu'on peut le voir par le mode de décomposition dont nous venons de faire usage; mais on reconnaît en même temps que cet effet opposé est très-petit par rapport à la totalité des actions qui tendent à faire tourner AB dans le même sens que quand les lignes AB, CD, sont à angles droits. Ce mouvement sera donc le même quel que soit l'angle des deux conducteurs, ce qu'il est aisé de vérifier par l'expérience en se servant du conducteur mobile représenté fig. 5. Tant qu'on suppose que les deux parties QA, QB, du conducteur mobile sont égales, il n'y a évidemment d'action que pour le faire tourner autour du point Q; mais si elles étaient inégales, ou qu'une seule fût parcourue par le courant électrique, la somme des composantes parallèles à CD ne serait plus nulle, et elles tendraient à transporter la partie QA dans le sens PC, et la partie QB dans le sens PD, parallèlement au conducteur fixe CD. On n'a point encore fait d'expérience sur ce genre d'action que les courans électriques doivent exercer d'après la théorie.

Explication des faits observés par M. Oersted.

46. M. Oersted a observé que si l'on dispose près d'une aiguille aimantée ordinaire, un fil conducteur vertical, dont le courant soit ascendant, et qu'on le mette près d'un point de l'aiguille situé entre un des pôles et le milieu de l'aiguille, ce pôle est jeté constamment à l'ouest quel que soit le pôle et le côté de l'aiguille auquel on présente le conducteur vertical. La raison en est que dans l'aiguille aimantée horizontale et dirigée par le globe, le courant est ascendant à l'ouest et descendant à l'est, comme on peut le voir sur l'aimant AB, fig. 15,

Fig. 15.



par les flèches qui indiquent la direction du courant sur sa surface, et en faisant attention que quand cet aimant est dirigé par le globe, il a son pôle A au nord, son pôle B au sud et par conséquent les courans comme nous venons de le dire. Maintenant, le fil étant à l'ouest de l'aiguille avec son courant ascendant, attire les courans de l'ouest de l'aiguille qui sont aussi ascendans, et fait marcher vers l'ouest le pôle voisin. Si on met le courant de l'autre côté, c'est-à-dire à l'est de l'aiguille où les courans sont descendans, il les repousse parce qu'il est en sens contraire, et le pôle voisin marche encore vers l'ouest. Le même courant étant placé perpendiculairement au méridien magnétique dans une direction horizontale, et mis à la même distance du milieu de l'aiguille que précédemment, produira pour incliner l'aiguille un effet qui sera le même, que le courant soit au-dessus ou au-dessous, comme l'a aussi observé M. Oersted. En effet le courant du fil étant dirigé de l'est à l'ouest par exemple, si on le met au-dessous de l'aiguille, il est voisin des courans de la face inférieure de l'aiguille, qui vont aussi de l'est à l'ouest, il les attire et abaisse ainsi le pôle voisin; le même courant placé au-dessus de l'aiguille repousse les courans de la face supérieure, qui vont de l'ouest à l'est, et abaisse encore le pôle près duquel il se trouve. La disposition et le sens des courans autour de l'aimant étant les mêmes dans toute sa longueur, on voit de suite la raison de cette circonstance très-remarquable que le courant agit de même dans cette expérience sur les deux pôles de l'aiguille.

Si, dans toutes les expériences que nous venons de rapporter, au lieu de placer le fil conducteur vis-à-vis d'une partie de l'aiguille située entre un pôle et le milieu, on le place au delà du pôle par rapport au milieu de l'aiguille, on obtient des effets contraires. Cela vient de ce que le fil est alors situé de manière que son action sur les courans de la face opposée de l'aiguille est plus forte que l'action qu'il exerce sur les courans de la partie voisine de lui (art. 41), en sorte que l'effet qui en résulte, est de même nature que l'action du fil sur les courans de la face opposée de l'aiguille, et par conséquent contraire à l'action qui a lieu entre le courant du fil

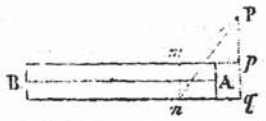
et les courans de la face de l'aiguille qui en est voisine, dans le cas où l'on place le fil vis-à-vis d'une partie de l'aiguille, comprise entre le pôle et le milieu. Au reste cet effet va être examiné avec détail dans l'article suivant.

Attraction et répulsion d'un aimant par un fil conducteur.

47. Ayant suspendu à un fil délié le petit barreau aimanté ON fig. 18, que l'on peut faire d'une aiguille à coudre ordinaire, on fait passer auprès le courant électrique LK. Si, du côté de l'aimant qui est voisin du fil conducteur les courans vont dans le même sens que celui de ce fil, l'aimant est attiré tout entier vers lui et le barreau après être arrivé au contact avec le fil y demeure attaché. En mettant le fil conducteur de l'autre côté de l'aimant où les courans vont en sens contraire, il le repousse : ces effets ont également lieu pour les différentes hauteurs où l'on place le courant LK, soit qu'on le mette vis-à-vis du milieu de l'aimant, ou dans l'intervalle de ce milieu à l'un ou à l'autre de ses pôles, mais seulement tant qu'on n'élève pas LK au-dessus du point M ou qu'on ne l'abaisse pas au-dessous du point N. Car si on l'abaisse, par exemple, de plus en plus en le conservant dans le même plan vertical, l'action qu'il exerçait, quand il était vis-à-vis du milieu de l'aimant, s'affaiblit de plus en plus jusqu'à une certaine limite où elle devient nulle. Passé ce terme si on continue d'abaisser le courant, son action devient contraire à celle qu'il exerçait d'abord, et ne change plus ensuite de nature à quelque distance de l'aimant que l'on abaisse LK.

48. Pour rendre raison de ces faits, soit AB, fig. 26,

Fig. 26.



un aimant en prisme rectangulaire que la figure représente horizontal, quoiqu'il soit vertical dans l'expérience due à M. Ampère, dont nous venons de parler, en sorte que *mn* est son épaisseur ; soit P la projection sur le plan

vertical qui passe par l'axe de l'aimant, d'un courant électrique supposé indéfini et perpendiculaire à ce plan : en nous bornant à dire des courans qui sont à la surface de l'aimant, ce qu'il sera facile d'étendre aux courans intérieurs, nous remarquerons d'abord que le fil conducteur exerce des actions contraires sur les courans des deux faces dont les plans sont perpendiculaires à sa direction, puisque dans la face qui se trouverait à l'ouest si l'aimant était dirigé par le globe, les courans sont ascendans et qu'ils sont descendans dans la face opposée; ces deux faces d'ailleurs ont chacun de leurs points correspondans à la même distance du fil conducteur, les actions exercées par celui-ci sur ces deux faces, sont donc exactement égales et contraires, et il n'en résulte aucune force qui tende à transporter l'aimant. Il ne reste donc plus qu'à considérer l'action exercée par le courant sur les deux faces de l'aimant qui lui sont parallèles.

Soient *m* et *n* les projections de deux portions infiniment petites des courans électriques de la face la plus voisine du conducteur et de la face opposées, situées dans un même plan horizontal quand l'aimant est vertical. La direction du courant sera contraire en ces deux points en sorte que si le courant en *m* parallèle au courant projeté en P va dans le même sens que celui-ci et en est attiré, le courant en *n*, qui est aussi parallèle au courant P, mais dirigé en sens contraire, en sera repoussé. Il est facile de voir que le courant P, agissant de plus près sur le point *m* l'attirera davantage suivant *m*P qu'il ne repousse le point *n* suivant P*n*. L'action du conducteur sur chaque courant infiniment petit tel que *m* ou *n* est en raison inverse de la simple distance de ce petit courant au fil, comme nous le verrons bientôt. Si le courant P est dans la direction *nm* prolongée, l'ensemble de ces deux petits courans tend à se porter vers lui avec une force qui est la différence entre les deux actions qu'il exerce sur *m* et sur *n*, l'action sur *m* étant prépondérante à cause de sa plus petite distance au courant P. Si, comme le représente la figure, le courant P n'est point directement au-dessus de *mn*, il faudra décomposer les deux forces *m*P et P*n* suivant la direction *mn* perpendiculaire à l'axe de l'aimant, et prendre la

différence de leurs composantes dans cette direction, pour avoir la force avec laquelle l'ensemble des actions exercées sur les deux points m et n, tend à rapprocher l'aimant du conducteur. Tant que les angles des forces mP, Pn avec mn seront tous deux fort petits, la force attractive mP décomposée suivant mn conservera sur la force répulsive Pn décomposée suivant la même direction, l'avantage qui résulte de la plus grande proximité des points P et m, mais comme l'angle de Pn avec le prolongement de nm est plus grand que l'angle Pnm, la force mP perdra plus que Pn à être décomposée suivant mn. Avec des angles plus grands, cette force mP perdra toujours proportionnellement davantage que Pn, en sorte que pour une certaine position du courant P les deux actions seront égales et contraires et se détruiront mutuellement. Passé cette limite ce sera la force Pn qui l'emportera, et l'action du courant P sur l'ensemble des deux points m et n deviendra répulsive. Pour faire voir clairement sans l'aide du calcul comment l'attraction doit nécessairement se changer en répulsion, imaginons le courant P amené fort près du point p situé sur le prolongement de la face de l'aimant qui en est la plus voisine, la force mP dirigée presque suivant mp ne donnera suivant nm qu'une composante extrêmement petite, tandis que la force Pn décomposée suivant nm avec laquelle elle fait un angle bien plus petit mnp, sera beaucoup plus grande.

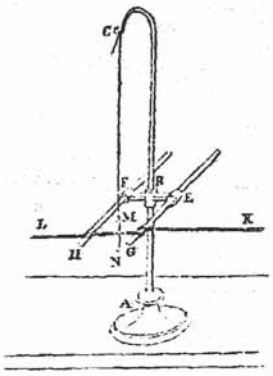
Ce qui vient d'être dit pour les deux courans infiniment petits m et n, situés en deux points opposés des faces de l'aimant parallèles au courant P, peut être dit de tout autre ensemble de deux points choisis de la même manière, et la résultante de l'action du courant P sur tous ces petits courans pris deux à deux donnera l'action du conducteur sur l'aimant, qui sera par conséquent répulsive dans ce dernier cas, tandis qu'elle était attractive dans le premier.

Il n'est pas nécessaire de supposer à l'aimant AB la forme d'un prisme rectangulaire, pour que l'on puisse y appliquer les mêmes considérations. Seulement, s'il n'a pas cette forme, on remplacera par la pensée toutes les portions infiniment petites des courans qui entourent

son axe, par deux autres petits courans, l'un dirigé parallèlement au courant P et l'autre perpendiculaire à sa direction. On dira de l'ensemble de tous les petits courans qui sont dans ce dernier cas d'un côté et de l'autre de l'aimant, ce que nous avons dit tout à l'heure des courans des faces perpendiculaires à la direction du fil; l'effet produit sur eux sera nul pour mouvoir l'aimant. Quant aux petits courans parallèles à cette direction, on les considérera deux à deux, comme nous venons de faire pour les petits courans m et n, et on en tirera les mêmes conclusions.

49. Avec ces données, il nous sera facile d'expliquer les effets du conducteur LK, fig. 18,

Fig. 18.



sur le petit barreau aimanté MN. Lorsque le courant est, par exemple, à la hauteur du milieu de l'aimant et dans le même sens que les courans de la partie de l'aimant dont il est voisin, son action, d'après ce que nous venons de voir, est attractive sur la tranche qui est à la même hauteur que lui. On peut en dire autant pour les autres tranches horizontales, prises jusqu'à une certaine distance au-dessus et au-dessous de LK. A la vérité, ce courant exercera des actions contraires sur les tranches de l'ai-

mant plus éloignées; mais ces actions seront bien plus faibles; 1° parce que le courant agira de plus loin; 2° parce que les lignes, suivant lesquelles agiront ces actions, feront de plus petits angles avec l'axe de l'aimant, et donneront par conséquent des composantes plus petites quand on les décomposera suivant une direction perpendiculaire à cet axe. L'attraction qui a lieu sur les tranches les plus voisines du conducteur sera donc prépondérante, et comme les courans ont la même disposition autour de l'aimant MN à toutes les hauteurs, le même effet se produira toujours tant que le fil LK ne sortira point des limites M et N, quelle que soit la hauteur à laquelle on le place.

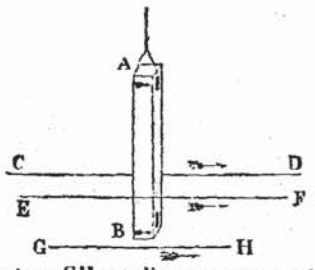
Le courant LK restant toujours dans le même plan vertical, si on l'abaisse au-dessous de N, le nombre des tranches voisines de lui sur lesquelles il exerce une action attractive, aura tellement diminué, tandis que le nombre des tranches sur lesquelles il exerce une action répulsive, aura été en augmentant, que bientôt l'attraction qu'il exerçait sur l'aimant, quand il était vis-à-vis de son milieu, après s'être affaiblie de plus en plus, et être devenue nulle pour un certain abaissement du conducteur LK, se changera en répulsion lorsqu'en continuant d'abaisser ce conducteur, les actions répulsives l'emporteront, et alors l'aimant, au lieu d'être attiré par le courant, en sera repoussé, comme l'indique l'expérience. Pour s'assurer que l'attraction se change toujours en répulsion dans ce cas, pourvu que l'abaissement du courant soit suffisant, considérons le cas très-simple où l'on aurait assez abaissé le fil conducteur pour que l'action qu'il exerce sur la tranche inférieure de MN, fût répulsive. Cette tranche étant la plus voisine de lui, son action sur toutes les autres encore plus éloignées sera à plus forte raison répulsive, et l'aimant sera repoussé. L'attraction se change de même en répulsion, quand on élève LK au-dessus de M; et les deux pôles agissent ici, et doivent, d'après la théorie, agir exactement de la même manière.

Il n'est pas besoin de dire que si le fil, étant vis-à-vis du milieu de l'aimant, avait produit une répulsion, il aurait au contraire produit une attraction, quand on

l'aurait élevé ou abaissé, comme nous venons de le faire.

Examinons maintenant ce qui arrive dans le cas représenté fig. 19,

Fig. 19.



où le conducteur GH est directement sous l'aimant suspendu AB, représenté en MN dans la fig. 18. Il produit alors un effet contraire à celui qu'il produisait, soit lorsqu'il était en EF, en avant de l'aimant, soit lorsqu'il était en arrière, en CD. En effet abstraction faite des forces qui agissent sur les faces de l'aimant perpendiculaires à la direction du courant, et qui se détruisent mutuellement comme on vient de le voir, EF attire l'aimant, et l'amène en avant. Le courant étant mis en CD près des courans de la face postérieure, qui sont en sens opposés, repousse l'aimant et l'amène encore en avant. Au contraire, quand on met le courant en GH, sous l'aimant, il attire vers lui les courans de la face antérieure de l'aimant, et tend à le porter en arrière, tandis qu'il repousse les courans de la face postérieure, et tend encore ainsi à le porter du même côté, par un mouvement contraire à celui qu'il tendait à lui donner quand il était dirigé suivant CD, ou suivant EF; le tout conformément à l'expérience.

Action attractive et repulsive d'un aimant sur un conducteur mobile.

5o. D'après la loi générale de la réciprocité d'action, on peut faire les mêmes expériences avec un aimant que l'on présente à un conducteur mobile; comme, par exemple, à l'une des branches verticales du conducteur mobile, fig. 4. Cette branche, avant son courant descendant, comme le représente la figure, est attirée par le côté d'un aimant, où le courant est descendant; repous-

sée par la face opposée, où le courant est ascendant ; et, comme dans l'expérience précédente, quand le fil conducteur se trouve hors de l'intervalle des plans, menés par les deux extrémités de l'aimant, perpendiculairement à son axe, l'effet devient contraire à celui qui avait lieu quand ce fil se trouvait dans l'intervalle compris entre les mêmes plans.

Expérience de M. Erman.

51. Avec le même conducteur mobile, fig. 4, on peut répéter une expérience curieuse de M. Erman, qui consiste à présenter à un fil conducteur mobile un aimant en fer-à-cheval, de manière que ce fil soit entre les deux pôles. Alors on remarque que ces deux pôles agissent tous les deux de la même manière sur ce fil. S'ils l'attirent tous deux, le fil se porte vers le pôle dont il se trouve le plus près ; et s'ils le repoussent tous deux, le fil prend une position d'équilibre stable, et s'arrête, après quelques oscillations, au milieu de l'espace qui les sépare ; exactement comme dans l'expérience de l'art. 12, où le fil mobile est entre deux autres conducteurs, qui le repoussent avec la même force.

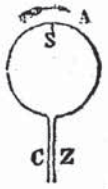
Il suffit, pour se rendre raison de cette expérience, de remarquer que tous les courans qui sont sur un même côté d'un aimant, supposé d'abord rectiligne, ayant tous la même direction, si on conçoit qu'on plie ensuite l'aimant de manière à rapprocher ses pôles, les courans intérieurs à la courbe suivant laquelle on a plié le barreau aimanté ont encore la même direction, ce qui doit produire, pour les deux pôles, la même manière d'agir. Pour fixer les idées, supposons que le plan de la courbe qui forme l'axe de l'aimant soit horizontal, et que le courant soit ascendant dans le côté de l'aimant qui en forme la partie intérieure ; si l'on place ensuite un fil mobile, dont le courant vertical soit aussi ascendant, il sera attiré par les deux pôles, et se portera vers celui dont il se trouve le plus près ; si le courant du fil mobile, au contraire, est descendant, il sera repoussé également des deux côtés par les courans ascendans de l'aimant, et il se fixera entre les deux pôles, au milieu de l'intervalle qui les sépare.

52. L'expérience de M. Erman est encore remarquable par l'appareil qu'il y emploie : c'est une pile à un seul

élément, assez légère pour être suspendue à un long fil, qui lui laisse une mobilité suffisante, comme les fils dont on fait usage dans la balance de torsion. Cet élément est formé d'une coupe en cuivre contenant un acide affaibli, dans lequel plonge un morceau de zinc qui, par un fil métallique, différant de celui qui sert de support à l'appareil, va rejoindre la coupe de cuivre. Il est évident, dans cette pile à un couple, que le zinc enlève l'électricité positive au cuivre, auquel il communique par le fil métallique, et que cette électricité revient au cuivre par le liquide conducteur. L'électricité négative suit la route opposée; et, d'après ce que nous avons établi pour indiquer le sens du transport des deux électricités, le courant va du cuivre au zinc, dans toute la partie du circuit que n'occupe pas le liquide. Il est évident que la terre agit pour diriger un pareil circuit mobile; et quoique M. Erman n'ait point observé que l'action du globe donnât une direction déterminée à cet appareil, tout-à-fait semblable à celui de la fig. 6, qui se dirige très-facilement, même avec une pile d'une force médiocre, on ne peut douter que, si le fil de suspension eût été encore plus susceptible de céder à la torsion, et surtout si le courant eût été plus énergique, la direction par le globe aurait eu lieu.

53. M. Babinet avait réalisé la même idée dès les premiers temps que M. Ampère s'occupait des phénomènes électro-magnétiques. Un fil de cuivre CA, fig. 27,

Fig. 27.



est soudé en A à un fil de zinc AZ; le fil entier ZAC est porté sur une pointe ou pivot S; et pour mettre le courant en activité, on plonge les deux extrémités Z et C dans un verre rempli d'eau acide. Cet appareil ne s'est

point dirigé d'abord par l'action de la terre, non plus que celui de M. Erman; mais en prenant pour fil de suspension un simple fil de cocon de ver à soie un peu long, M. Babinet a obtenu depuis la direction de ce même appareil par le globe.[1] Quand le bout du fil de zinc, qui plonge dans l'acide, a été dissous, il suffit d'en remettre un autre à sa place, en l'attachant à ce qui reste du même fil.

Expérience de M. Boisgiraud.

54. On est tellement habitué à voir les deux pôles d'un aimant exercer des effets contraires, que tous les phénomènes qui, conformément à la théorie que nous avons développée, nous montrent les deux pôles agissant de la même manière, méritent une attention particulière. Tels sont les faits que M. Boisgiraud (*Annales de chimie et de physique*, *t.* 15, *p.* 279), a observés, en faisant agir le courant électrique sur une petite aiguille aimantée, flottant sur l'eau au moyen d'un peu de cire ou de matière grasse dont elle était enduite. L'aiguille étant dirigée par le globe, suivant le méridien magnétique, on place un fil conducteur perpendiculairement à ce méridien et à l'aiguille. Soit AB, fig. 26, l'aiguille flottante, P la projection du courant, que l'on fait agir sur l'aiguille, considérons, comme nous l'avons fait (art. 48), son action sur les deux points m et n, situés dans la même verticale : on voit que l'action attractive du courant P, que nous supposons dirigé de l'ouest à l'est, pour fixer les idées, sera plus forte sur le point m, que son action répulsive sur le point n. Pour avoir la force avec laquelle l'ensemble des deux petites portions de courant m et n tendra à marcher vers le conducteur, il faut décomposer les forces mP, Pn, parallèlement à la direction de l'axe AB, suivant mp, qn, puisqu'en vertu de sa pesanteur et de la direction que lui donne le globe, l'aiguille ne peut se mouvoir que dans cette direction. Cette décomposition étant faite, on doit prendre la différence des actions exercées suivant mp et qn. Or, on voit que, pour toutes les positions du courant P, l'action suivant mp est toujours plus grande que l'action contraire qu'il

[1] M. de la Rive a obtenu le même effet par un moyen semblable, comme nous le dirons lorsqu'il sera question de ses expériences.

exerce suivant qn : cela tient à ce que l'angle Pmp est plus petit que l'angle Pnq ; en sorte que la force mP, déjà plus grande que la force Pn, l'emportera encore plus sur cette dernière, quand elle aura été décomposée suivant une direction mp, moins éloignée de mP que nq ne l'est de nP. Ainsi l'action du courant sur la face supérieure de l'aiguille, sera toujours plus forte que l'action contraire qu'il exerce sur la surface inférieure, et il y aura toujours attraction quand le courant du conducteur ira, comme nous le supposons ici, de l'ouest à l'est : il y aurait pour la même raison répulsion s'il allait de l'est à l'ouest.

Cette circonstance met une grande différence entre cette expérience et celle de l'art. 47, où les actions du courant étaient décomposées suivant des perpendiculaires à l'axe. En effet, ici les résultantes des actions du courant P sur toutes les tranches de l'aimant perpendiculaires à l'axe étant toujours dirigées dans le même sens, ce courant allant de l'ouest à l'est, l'attirera dans toutes les positions. De plus il y aura équilibre stable quand le milieu de l'aiguille sera verticalement au-dessous du conducteur; car dans tout autre cas, le point qui est au-dessous du conducteur ne partageant pas le petit aimant flottant en deux parties égales, la partie la plus longue sera la plus attirée vers le fil, et le milieu de l'aiguille sera ramené sous le conducteur. Le contraire a lieu quand le courant P va de l'est à l'ouest : alors il y a répulsion sur toutes les tranches, et pour peu que le milieu de l'aiguille s'écarte de dessous le fil la partie la plus longue est la plus repoussée, et l'aimant marche en s'éloignant indéfiniment du fil conducteur, ainsi que l'a observé M. Boisgiraud.

Expérience de sir Humphrey Davy.

55. Lorsque l'on dispose dans un récipient où l'air est raréfié, deux pointes de charbon qui communiquent par des fils métalliques aux deux extrémités de la pile, si celle-ci est suffisamment énergique, on obtient entre les deux pointes un courant continu d'électricité qui subsiste ensuite, lors même que l'on écarte les pointes à plusieurs centimètres de distance. Il se développe en même temps une chaleur et une lumière extrêmement intenses. Le circuit n'étant point alors interrompu,

M. Arago pensa que l'espèce de flamme électrique, qui se montre alors, devait agir sur l'aiguille aimantée, et réciproquement être attirée ou repoussée par les pôles des aimans. Or, c'est cet effet que, d'après le témoignage de M. le docteur Ure, sir H. Davy vient d'obtenir : il a placé les extrémités des pointes de charbon l'une au-dessus de l'autre, de manière à donner au courant une direction verticale. Ensuite, en rapprochant un aimant dont l'axe était horizontal, il a vu que la flamme était attirée, et se courbait en arc vers l'aimant quand les courans de celui-ci, près de la flamme, avaient la même direction que le courant qui la produisait. Ce courant étant supposé ascendant, et l'aimant dirigé par le globe, cet effet doit avoir lieu quand la flamme est à l'ouest ; dans le cas contraire, la flamme doit être repoussée, et former un arc dont la concavité soit du côté de l'aimant.

Expériences de MM. Biot et Savart.

56. M. Biot, conjointement avec M. Savart, a étudié l'action d'un fil conducteur sur une aiguille aimantée, par des expériences très-précises qui vont nous fournir la preuve de ce que nous avons avancé plus haut, que l'action mutuelle de deux petites portions de courans électriques, est en raison inverse du carré de leur distance. Pour mettre l'aiguille aimantée hors de l'influence magnétique du globe, il place à une assez grande distance un aimant dont l'action balance celle du globe, par une disposition analogue à celle que M. Haüy emploie pour reconnaître dans les minéraux les plus faibles traces de magnétisme. L'aimant étant convenablement placé, l'aiguille reste indifférente, ou à peu près, dans toutes les positions qu'on lui donne. Cette aiguille étant ensuite soumise à l'action d'un fil conducteur, on compte le nombre des oscillations qu'elle fait dans un temps donné pour une position déterminée du fil, et le carré de ce nombre est, comme on sait, proportionnel à la force qui fait alors osciller l'aiguille. Celle-ci étant suspendue par des fils de soie non tordus, la torsion n'influe en rien sur sa direction, et en comptant le temps avec un chronomètre à double arrêt de M. Breguet, M. Biot a pu atteindre, pour ainsi dire, la dernière limite de l'exactitude.

57. Si l'on tend un fil conducteur vertical d'une longueur suffisante pour que son action soit sensible-

ment la même que si cette longueur était infinie, auprès d'une l'aiguille ainsi suspendue; elle se dirige, conformément à la théorie que nous exposons, transversalement au fil, en sorte que sa direction est perpendiculaire au plan vertical, passant par le conducteur et le milieu de l'aiguille. Si on l'écarte ensuite de cette position de repos, elle oscille de part et d'autre avec une force qui, déterminée par le carré du nombre d'oscillations faites dans un temps donné, s'est trouvée inversement proportionnelle à la distance du fil à l'aiguille. Ainsi, par exemple, à une distance double de l'axe du fil conducteur au milieu de l'aiguille, le carré du nombre d'oscillations que celle-ci fait sous l'influence du fil, est la moitié de celui qu'elle fait à une distance simple. Remarquons qu'ici tous les points du courant agissent à la fois sur l'aiguille. Pour avoir l'action d'une des parties du courant considérée isolément, il faut chercher suivant quelle loi les élémens du fil conducteur doivent agir pour que l'effet produit par leur réunion soit en raison inverse de la simple distance. M. de La Place a cherché cette loi par le calcul, et il a trouvé que si toutes les parties d'un fil rectiligne indéfini agissent en raison inverse du carré de leur distance à un point, leur action totale sera en raison inverse de la simple distance de ce point au fil conducteur. Cette belle expérience nous fournit donc la démonstration de l'hypothèse adoptée par M. Ampère dès le commencement de ses recherches, que chaque partie très-petite d'un courant agit sur une autre partie aussi très-petite en raison inverse du carré de la distance qui les sépare.

M. Biot a aussi comparé l'action d'un fil droit sur une aiguille aimantée avec l'action d'un fil conducteur plié de manière à former un angle dont le sommet est placé aussi près de l'aiguille que l'était d'abord la partie la plus voisine du fil vertical. En analysant par le calcul les résultats de l'expérience, il a retrouvé la loi que M. Ampère avait annoncée, d'après l'action d'un fil sinueux sur un conducteur mobile, savoir que l'action d'une petite portion du fil est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle au sinus de l'angle que forme la direction de cette petite portion avec la ligne qui joint son

milieu et le point sur lequel elle agit. De plus, comme pour le fil droit, l'action est en raison inverse de la distance de l'aiguille au sommet de l'angle, ce qui résulte aussi de ce que l'action de chaque petite portion du fil est en raison inverse du carré de la distance.

58. M. Oersted avait observé que le courant transmis par des corps d'un volume plus grand que les fils agissait comme quand il était conduit par les fils eux-mêmes. M. Biot a remarqué de plus que si l'on met, au lieu d'un fil simple, un fil double ou triple ou un tuyau métallique plus gros qu'un fil simple, pour conduire le courant d'une même pile, l'action de ce courant augmente avec le nombre des fils, ou en général avec la grosseur du conducteur, jusqu'à une certaine limite, passé laquelle on n'obtient pas un plus grand effet en multipliant le nombre des fils; car dès que le conducteur est suffisamment gros pour transmettre facilement tout le courant que peut produire la pile, le transport des deux électricités se fait tout aussi bien par ce conducteur que par un autre dont le volume serait plus considérable.

Soustraction des effets de l'aimant par des fils conducteurs.

59. Les auteurs du travail dont nous citons les résultats, ont aussi observé que quand on fait agir sur une aiguille maintenue dans un plan horizontal, un fil conducteur situé dans le même plan et perpendiculaire à l'axe de l'aiguille, ce fil n'exerce aucune action directrice sur elle, ce qu'on reconnaît à ce que cette aiguille n'oscille plus vers ce fil quand l'action du globe est balancée par celle d'un aimant comme nous l'avons vu plus haut, ou bien, en laissant l'aiguille soumise comme à l'ordinaire à l'action du globe, à ce que le nombre des oscillations qu'elle fait n'est ni augmenté ni diminué par l'action du fil. Mais si l'on élève ou si l'on abaisse le fil conducteur, il se produit une attraction ou une répulsion suivant la direction du courant. Quand on se sert de l'aiguille soustraite à l'action du globe, l'attraction se manifeste par les oscillations qu'elle fait alors, et la répulsion par une demi-révolution de cette aiguille qui en amène l'autre extrémité du côté du conducteur; quand l'aiguille n'est pas soustraite à l'action du globe, la diminution ou l'augmentation du carré du nombre des oscillations en temps égaux, indique l'énergie de la ré-

pulsion ou de l'attraction que le fil conducteur exerce.

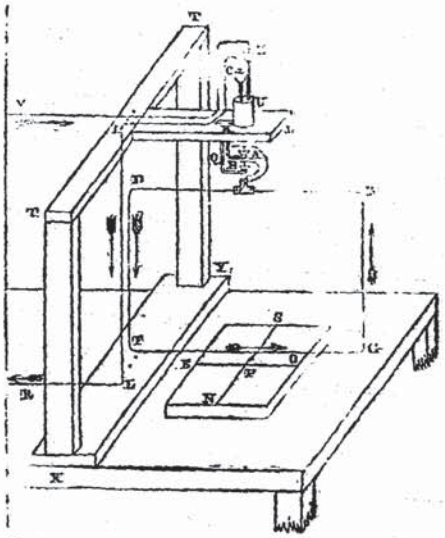
Ces faits sont une suite de la théorie que nous exposons. Le fil conducteur étant d'abord dans un plan horizontal à la même hauteur que l'aiguille, les courans contraires, qui ont lieu au-dessus et au-dessous de l'axe de l'aimant, sont situés symétriquement et à des distances égales du fil; leurs actions contraires se détruisent donc mutuellement, et le fil n'exerce dans le plan horizontal aucune action directrice sur l'aiguille. Il tend seulement à l'incliner, et l'incline en effet, quand elle est libre de se mouvoir dans un plan vertical; car il est évident que le courant du fil placé à la hauteur de l'axe étant, par exemple, dans le même sens que les courans inférieurs du pôle qui en est voisin, il attire vers le haut ces courans inférieurs, repousse aussi vers le haut les courans supérieurs qui lui sont contraires, et ce pôle doit s'élever en vertu de cette double action. La force directrice horizontale qui se manifeste ensuite, quand on élève le fil au-dessus de l'aiguille, dépend de l'inégalité des actions opposées qu'exerce le fil conducteur sur les courans de l'aimant qui sont au-dessus et au-dessous de l'axe de cette aiguille, et dirigés en sens contraires.

Pour obtenir cette force directrice, on décompose, comme on l'a fait (art. 54), l'action du courant en deux forces, l'une verticale qui ne produit aucun effet sur l'aiguille maintenue dans un plan horizontal, et l'autre située dans ce dernier plan, qui agit seule pour faire osciller l'aiguille. Or, nous avons vu, dans l'art. cité, que la composante horizontale est toujours de même nature que l'action exercée par le conducteur sur les courans de la partie supérieure de l'aiguille dont il est le plus voisin; la nature de cette composante ne change donc point avec les différentes positions qu'on peut donner au conducteur au-dessus de l'aiguille. Quant à la force verticale qui tend à incliner l'aiguille, elle changerait au contraire avec la position du fil, et serait tantôt attractive, tantôt répulsive, suivant que le courant du fil, toujours au-dessus de l'aiguille, serait placé dans l'intervalle que comprennent deux plans menés par les pôles de l'aimant perpendiculairement à son axe, ou serait hors de cet intervalle, comme nous l'avons vu (art. 49).

Conducteurs pliés en spirales.

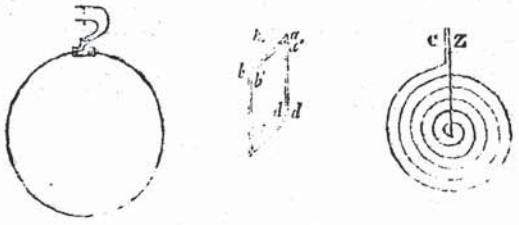
60. La disposition des courans de l'aimant en courbes fermées dans des plans perpendiculaires à l'axe comme les représentent les fig. 15 et 16, est analogue à la disposition du courant dans le fil conducteur circulaire de la fig. 6, ou dans le fil rectangulaire mobile DFGM de la fig. 3.

Fig. 3.



L'analogie serait complète si, dans ce dernier cas, le circuit du fil était fermé comme il l'est dans la pile mobile à un élément, de M. Erman. Aussi nous avons vu que le globe dirige ces conducteurs, fig. 3 et 6, et dispose leur plan perpendiculairement au méridien magnétique comme un plan qui serait perpendiculaire à l'axe de l'aiguille aimantée ordinaire. Un tel conducteur doit donc être assimilé à l'un des courans *abcd*, *a'b'c'd'* de la tranche de l'aimant représentée fig. 16. M. Ampère a d'abord imité la disposition des courans d'un aimant en repliant plusieurs fois le fil autour du même centre de manière à en former une spirale, fig. 28.

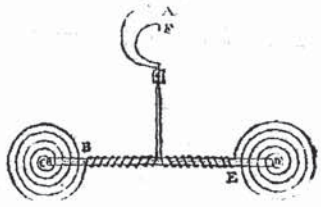
Fig. 6. Fig. 16. Fig. 28.



Cette spirale suspendue convenablement est dirigée par le globe et inclinée comme l'équateur d'une aiguille aimantée, par une action semblable à celle qui dirige et incline les fils simples des conducteurs, fig. 6 et 12. Mais l'effet le plus remarquable de cette disposition du fil, consiste dans l'action très-énergique de l'aimant sur ces spirales dont les fils redoublés sont analogues aux courans qui ont lieu dans une même tranche de l'aimant.

Pour observer ces effets à l'abri de l'influence du globe, il faut suspendre le conducteur, fig. 29,

Fig. 29.



aux coupes de l'appareil de la fig. 3, d'après la méthode dont nous avons jusqu'ici fait usage. Les deux spirales dont ce conducteur ABCDEF est composé sont disposées de manière que l'action du globe tende à les faire tourner en sens contraire et ne puisse par conséquent leur imprimer aucun mouvement. On présente le bout de l'aimant vis-à-vis du centre de l'une des spirales; si dans cette spirale le courant tourne autour du centre dans le même sens que les courans de l'aimant autour de son axe

il y a attraction, et répulsion dans le cas contraire. D'après les principes ci-dessus posés sur la direction des courans dans l'aimant, et en faisant attention à la manière dont les communications sont établies pour produire un courant électrique dans la spirale, on peut prévoir d'avance l'effet qui doit avoir lieu, et cette action se manifeste à plusieurs décimètres de distance.

Un même bout de l'aimant présenté successivement aux deux faces d'une spirale l'attire d'un côté et la repousse de l'autre. En effet, si dans le premier cas les courans de l'aimant et de la spirale tournent dans le même sens et s'attirent, dans le second, quand on aura placé le même bout de l'aimant de l'autre côté de la spirale, ils se trouveront en sens contraire, et il y aura répulsion.

Réciproquement une spirale fixe attire ou repousse un aimant mobile quand on présente son centre vis-à-vis du bout de l'aimant; et en faisant agir sur une spirale mobile une autre spirale fixe, la spirale mobile est attirée ou repoussée suivant que leurs courans sont dans le même sens ou en sens contraire.

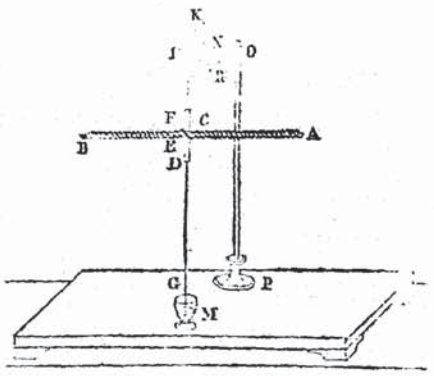
Conducteurs plies en hélices.

61. Le même physicien a encore plus complétement imité les courans de l'aimant par ceux des différentes spires d'un fil que l'on plie autour d'un tube de verre, par exemple, de manière à en former une hélice à pas très-peu élevés. La surface du tube se trouve alors recouverte d'un grand nombre de courans dirigés dans des spires peu différentes de circonférences dont les plans seraient perpendiculaires à l'axe du tube. On peut (art. 44) décomposer le courant de l'hélice, et considérer qu'en même temps qu'il tourne autour du tube dans un sens perpendiculaire à l'axe, il s'avance d'un bout à l'autre parallèlement à cet axe. Pour isoler l'effet qu'il produit en tournant autour du tube, de celui qui résulte de son mouvement suivant des parallèles à cet axe, il faut neutraliser ce dernier effet en faisant revenir par l'axe le même courant en ligne droite. Alors il ne reste plus que l'effet des courans circulaires, et l'analogie d'un appareil de ce genre avec un aimant se soutient dans les plus petits détails; le bout de l'hélice, qui est à droite des courans circulaires pour un observateur placé dans ces courans et regardant

hors de l'hélice, agit sur l'aiguille aimantée et sur les fils conducteurs comme nous avons vu que le fait le pôle austral de l'aimant, qui est placé de la même manière par rapport aux courans de l'aimant.

62. Un appareil construit d'après ces principes est représenté fig. 23.

Fig. 23.



La double hélice AB est portée par un pivot NK qui lui laisse la liberté de tourner comme une aiguille aimantée ordinaire. Le courant arrive par la coupe N qui sert de support à l'hélice. De là, en suivant le fil NKHF, il entre dans le tube FEB d'où il sort en B, pour parcourir l'hélice qui entoure le tube BE, et l'hélice qui entoure le tube CA, toutes deux pliées dans le même sens. Arrivé en A le fil rentre dans le tube AC, et sort par l'extrémité D pour aller plonger dans une coupe M, que l'on fait communiquer avec le pôle négatif de la pile quand la coupe N communique avec le pôle positif.

Dans les hélices BE, CA, le mouvement du courant suivant l'axe, étant compensé par les mouvemens opposés du même courant dans les fils intérieurs EB, AC, il ne reste que l'effet circulaire transversal des courans. Pour un observateur situé dans ces courans, et regardant hors de l'hélice, l'extrémité A serait à droite ; c'est aussi cette

extrémité qui offre tous les phénomènes connus du pôle austral des aimans. Les pôles A et B de cette aiguille sont attirés et repoussés par les aimans, comme les pôles d'une aiguille ordinaire : ils font le même effet sur les fils conducteurs; et si cette aiguille elle-même ne se dirige pas par l'action du globe, il faut l'attribuer au petit diamètre des spires des hélices, et au défaut d'une suspension assez mobile. En la construisant sur de plus grandes dimensions, on obtiendrait indubitablement cet effet, puisqu'on l'obtient, comme nous l'avons vu, avec un cercle mobile, fig. 6, de trois décimètres de diamètre, et avec des spirales plus petites encore.

On peut substituer au mode de suspension que représente la fig. 23, celui que nous avons employé pour tous les conducteurs mobiles; il suffit pour cela de faire poser la pointe N dans la coupe supérieure A de l'appareil, fig. 3, et de faire revenir l'autre extrémité G, fig. 23, dans le mercure de la coupe inférieure R du même appareil, sans que cette extrémité en touche le fond, comme la fig. 29 le représente pour la double spirale : l'un et l'autre appareil ont été employés avec le même succès.

63. Pour mieux concevoir la manière d'agir du conducteur, plié en hélice autour d'un tube, il faut considérer, conformément à ce qui a été dit (art. 44), que l'on peut remplacer le courant d'une portion très-petite d'une spire de l'hélice, par deux autres petits courans à angles droits; l'un dirigé parallèlement à l'axe de l'hélice, et égal en longueur à la quantité dont le petit arc d'hélice s'élève, suivant cet axe, depuis son origine jusqu'à son extrémité; et l'autre, dirigé dans un plan perpendiculaire à celui-ci, et suivant la circonférence du cercle déterminé par un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre, sur lequel l'hélice est pliée, ce second courant ayant pour longueur la projection de l'arc de l'hélice sur la circonférence en question. En réunissant ensuite les actions semblables, exercées par toutes les petites portions d'une spire entière, on voit que l'ensemble des actions exercées par les petits courans parallèles à l'axe, équivaut à un courant égal en longueur au pas de l'hélice, et parallèle à son axe, tandis que l'ensemble de toutes les actions des petits courans transversaux se réduit à celle

d'un courant circulaire égal en longueur à la circonférence de la section du cylindre, par un plan perpendiculaire à son axe; d'où il suit que l'effet produit par la réunion de toutes les spires se compose de ceux que produiraient, 1° un courant suivant l'axe de l'hélice, et de la même longueur que cet axe; 2° autant de courans dans des circonférences de cercles perpendiculaires à l'axe, qu'il y a de spires dans l'hélice.

Pour observer l'effet du premier de ces courans, on fait agir l'hélice sur une branche rectiligne d'un conducteur mobile, qui soit parallèle à l'axe de l'hélice; celle-ci agit alors sensiblement comme un courant rectiligne, égal en longueur à son axe. Au contraire, pour isoler l'action des courans circulaires de l'hélice, on neutralise le courant parallèle à l'axe, au moyen d'un fil intérieur qui revient par l'axe du tube, et on imite ainsi tous les effets des courans qui ont lieu dans des courbes fermées autour de l'axe de l'aimant.

Expériences de M. Arago.

64. Dès que les expériences de M. Oersted furent connues en France, M. Arago, qui les avait répétées devant l'Académie des sciences, chercha si l'action des fils conducteurs s'exercerait comme celle des aimans sur des corps susceptibles de prendre la vertu magnétique, mais qui ne l'auraient point encore reçue. Il essaya donc l'action d'un fil conducteur sur de la limaille de fer, et il vit que le fil se chargeait abondamment de cette limaille et l'attirait à distance comme un aimant. La limaille se détachait et tombait quand on supprimait le courant en détruisant la communication des deux pôles de la pile avec le fil. Ces actions n'étaient point de la même nature que les actions électriques ordinaires, puisque la limaille de cuivre et de laiton et la sciure de bois n'étaient point attirées par le fil conducteur. En remplaçant la limaille de fer par de petites parcelles d'acier, on peut leur donner une aimantation permanente, et M. Arago aimanta ainsi complétement une aiguille à coudre.

Aimantation de l'acier par le fil conducteur plié en hélice.

65. M. Arago communiqua ces expériences à M. Ampère, et d'après les considérations que ce dernier avait faites sur l'existence et sur le sens des courans électriques dans les aimans, ils pensèrent que si l'on entourait

un barreau d'acier des spires d'un fil conducteur plié en hélice, il se produirait, dans ce barreau, des courans qui seraient dans le même sens que ceux de l'hélice enveloppante ; en sorte que des deux extrémités du barreau, celle-là deviendrait un pôle austral, qui serait à gauche des courans transversaux de l'hélice pour l'observateur situé dans ces courans et regardant le barreau, parce que c'est cette extrémité qui se trouve à droite de l'observateur placé dans les courans qui se développent dans le barreau, la face tournée vers l'hélice. Or, c'est ce que l'expérience a confirmé complétement, et l'aimantation produite par ce moyen sur un fil d'acier est complète.

M. Arago, en pliant deux hélices en sens contraire autour d'un même tube et mettant dans chaque hélice un fil d'acier, reconnut de même, conformément à ce que la théorie indique, qu'ils étaient aimantés en sens contraire, en sorte qu'il suffit de changer la direction transversale du courant pour changer les pôles du barreau que l'on veut aimanter. Avec un seul fil d'acier, engagé dans deux hélices différentes pliées autour d'un même tube en sens contraire, on obtient dans la partie du fil d'acier qui répond à la jonction des deux hélices, un des pôles intermédiaires que l'on nomme points conséquens; en sorte que les deux extrémités du barreau ont, par exemple, l'une et l'autre un pôle boréal; le milieu montrant toutes les propriétés d'un pôle austral. En effet, en partant de l'extrémité du barreau où le courant de l'hélice produit un pôle boréal, si on arrête le fil de l'hélice vers le milieu du barreau, il y a là un pôle austral, et comme dans l'autre partie du barreau le courant tourne en sens contraire, il y a d'abord, dans cette seconde partie du barreau, un second pôle austral contigu au premier, et enfin, à l'extrémité de cette partie, un pôle boréal. Avec le même procédé, et seulement en changeant plusieurs fois la direction transversale qu'ont les spires des différentes hélices qui enveloppent le fil, on peut développer autant de points conséquens que l'on veut sur le même barreau.

M. Arago s'est aussi assuré qu'un fil conducteur droit n'agit point pour aimanter une aiguille que l'on dispose parallèlement à sa longueur. On voit en effet qu'alors

le fil ne peut point y produire de courant transversal. Depuis, sir H. Davy a aimanté avec le fil droit de petites aiguilles d'acier en les frottant transversalement et d'une extrémité à l'autre, toujours dans le même sens, sur un fil conducteur auquel la longueur de l'aiguille était perpendiculaire; ce qui est aussi une suite de la théorie.

Aimantation de l'acier par l'électricité due au frottement.

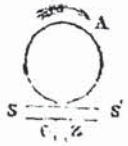
66. M. Arago a complété les résultats qu'il avait obtenus avec la pile, en produisant les mêmes effets au moyen de l'électricité ordinaire. Il suffit pour cela de faire passer au travers des spires d'une hélice une série d'étincelles tirées du conducteur de la machine électrique. Si on les tire d'un conducteur positif, l'effet est le même pour l'aimantation du fil renfermé dans l'hélice que si le bout de cette hélice qui reçoit les étincelles était mis en communication avec le pôle positif de la pile. En tirant les étincelles d'un conducteur négatif, l'effet est en sens contraire. Plusieurs physiciens avaient essayé déjà d'aimanter l'acier par des décharges électriques qu'ils faisaient passer au travers. Par ce moyen, on n'obtenait jamais une aimantation dont le sens fût déterminé, et sans doute l'effet produit alors tenait à quelque mouvement giratoire de l'électricité. M. Arago dans ses expériences a eu soin d'empêcher l'électricité de passer au travers du fil d'acier, et même il a plusieurs fois renfermé ce fil dans un tube de verre scellé à la lampe.

La foudre en tombant sur des vaisseaux a quelquefois renversé les pôles des bousseles. On peut expliquer cet effet d'après les expériences précédentes, en admettant que dans sa marche, l'électricité atmosphérique a agi en tournoyant sur les aiguilles aimantées; lors même que la foudre n'aurait décrit autour d'elles qu'une petite portion de circonférence, l'effet produit par une cause si énergique aurait pu être très-grand.

Appareils de M. de la Rive.

67. Une manière très-simple de se procurer un courant mobile est celle qu'emploie M. de la Rive. Son appareil consiste en deux petites lames C, Z, fig. 32,

Fig. 32.



l'une de cuivre et l'autre de zinc, qu'on fixe dans un morceau de liége SS', de manière à ce qu'elles puissent flotter sur de l'eau acidulée servant de conducteur au courant électrique que l'on établit en joignant par un fil délié la petite lame de cuivre à celle de zinc ; on peut ensuite donner au fil qui joint ces deux plaques telle forme que l'on veut, en cercle, en spirale, en double hélice, etc., et répéter ainsi une partie des expériences sur l'action mutuelle d'un aimant et d'un conducteur voltaïque dont nous avons parlé plus haut. Si on présente au centre du cercle flottant CAZ, le pôle d'un aimant dont les courans soient dans le même sens que le courant établi dans ce cercle, on trouve que celui-ci est attiré et marche vers l'aimant ; et si on maintient l'axe de ce dernier perpendiculaire au plan du cercle et passant par son centre, on voit ce cercle s'arrêter en équilibre stable quand il est vis-à-vis le milieu de l'aimant, ce qui provient de ce qu'il est attiré par toutes les tranches de l'aimant à la fois. Avec une direction contraire des courans le cercle est repoussé par toutes les tranches, et sa position vis-à-vis le milieu de l'aimant produit un équilibre instable, en sorte que quand il a commencé à marcher d'un côté, il s'éloigne continuellement du milieu, finit par dépasser l'extrémité de l'aimant, et s'éloigne ensuite indéfiniment.

Télégraphe électro-magnétique.

68. On pourrait se servir dans certains cas de l'action de la pile sur l'aiguille aimantée pour transmettre des indications au loin. Il faut alors employer un fil conducteur assez gros, parce que le courant électrique s'affaiblit très-sensiblement dans les fils fins quand la longueur du circuit est considérable ; cet inconvénient n'a pas lieu avec un fil d'un diamètre suffisant, alors l'aiguille se met en mouvement dès que l'on établit la communication. Nous ne nous arrêterons pas à développer les cas où ce genre de télégraphe présenterait quelque utilité, et pourrait être substitué aux porte-voix et aux autres moyens de transmettre des signaux. Il nous suffira de remarquer que cette transmission est pour ainsi dire instantanée. M. Sœmmering avait imaginé un télégraphe du même genre, mais au lieu d'employer l'action d'un faisceau de fils sur autant d'aiguilles aimantées qu'il y a

de lettres, il proposait d'observer la décomposition de l'eau dans autant de vases séparés.

Action d'une pile formée d'un seul couple.

69. Il n'est pas besoin d'avoir une pile à plusieurs couples pour produire les effets des courans électriques. M. Oersted a montré qu'on peut faire dévier l'aiguille aimantée en disposant au-dessus d'elle un fil de laiton ordinaire terminé à l'une de ses extrémités par un fil de cuivre que l'on a soudé ou tortillé avec lui, et à l'autre extrémité par un fil de zinc qui lui est uni de la même manière. L'aiguille se met en mouvement au moment où l'on plonge le fil de cuivre et le fil de zinc dans un même vase plein d'eau acidulée. Le même conducteur agit à plusieurs millimètres de distance sur l'aiguille flottante (art. 54), et au moyen de l'appareil (art. 55), avec la suspension par un fil de soie, on obtient les attractions et répulsions mutuelles des courans électriques ainsi que leur direction par l'action du globe. Mais par ce moyen, plus simple que ceux qu'a employés M. Ampère quand il a découvert ces phénomènes, on n'obtient que des actions infiniment plus faibles; cependant il a suffi à M. de la Rive pour produire le phénomène si remarquable de la direction du circuit voltaïque par la terre. M. Babinet a aussi obtenu le même résultat après M. de la Rive, mais à une époque où il n'avait aucune connaissance du travail de ce dernier. Le procédé employé par M. Babinet a été décrit (art. 55).

Expériences de M. Schweiger.

70. M. Schweiger est parvenu à obtenir des actions très-énergiques avec une pile voltaïque d'un seul couple, en en joignant les deux extrémités par un fil recouvert de soie, qui revient plusieurs fois sur lui-même, de manière à faire parcourir au courant un nombre aussi grand que l'on veut de circonférences entre le cuivre et le zinc qui plongent dans l'eau acidulée; on obtient ainsi une force directrice d'autant plus énergique que ce fil forme plus de circonvolutions. Ces appareils ont été variés de diverses manières par leur auteur, et lui ont servi pour des expériences très-curieuses; ils sont surtout remarquables par la grande force avec laquelle les aimans agissent sur eux, et en ce qu'ils fournissent le moyen le plus simple de constater les propriétés des fils conducteurs, et de vérifier dans quelles positions respectives des courans de

l'aimant et du courant du circuit voltaïque, il y a attraction ou répulsion entre eux.

Actions mutuelles des aimans.

71. Le problème général à résoudre pour suivre, dans tous ses détails, l'action de deux aimans l'un sur l'autre, consiste à trouver les forces qui résultent de toutes les actions des courans qui ont lieu en chaque point de la masse des deux aimans, entre les molécules desquels nous avons admis la même disposition électrique qu'entre les élémens de la pile de Volta. L'aimant agit par l'ensemble des actions de toutes les parties des courans, dont il est pour ainsi dire l'assemblage, du moins quand on ne le considère que sous le point de vue des effets qu'il produit. Il faudra faire entrer dans le calcul de chaque action réciproque entre deux petites portions de courans, 1° l'énergie du courant dans chacune des deux petites parties en question; énergie qui, par l'attraction mutuelle des courans d'un même aimant, doit être, comme M. Ampère l'a dit dans le temps de ses recherches sur ce sujet, d'autant plus grande, que les courans sont plus près du milieu, de même que dans le globe terrestre (art. 19); 2° la loi suivant laquelle (art. 16) diminue l'action mutuelle de deux petites portions de courans, situées dans le même plan, quand elles ne sont pas l'une et l'autre perpendiculaires à la ligne qui joint leurs milieux; 3° la loi relative à l'affaiblissement de cette action, quand les deux petites portions ne sont pas dans le même plan, l'action variant alors (art. 17) avec l'angle que font les deux plans menés par les directions de ces petites portions, et par la ligne qui en joint les milieux; 4° enfin cette autre loi, que la même action, toutes choses égales d'ailleurs, est en raison inverse du carré de la distance.

Le calcul appliqué à ces lois détermine tous les effets qui doivent avoir lieu entre les aimans, ou, plus généralement, entre deux assemblages de courans électriques, dont on connaît l'énergie et la direction en chaque point de l'espace dans lequel ils sont distribués; et réciproquement, d'après les données de l'expérience, on peut re-

monter à la constitution qu'il faut supposer aux courans, dans les divers points de l'aimant, pour reproduire les faits observés. L'exposition que nous faisons ici de la théorie, ne comporte point que nous donnions les développemens algébriques et les formules qu'on en déduit. Nous allons seulement faire voir comment on peut tirer des principes posés jusqu'ici, l'explication des différentes circonstances que présente l'action mutuelle de deux barreaux déjà aimantés, et celle qu'exerce un barreau aimanté sur un autre barreau, pour lui communiquer la vertu magnétique.

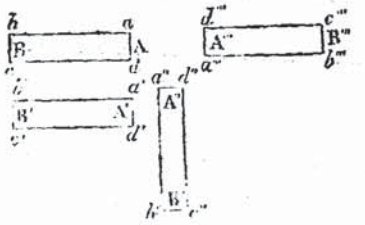
72. Pour nous faire une idée nette de l'action mutuelle de deux aimans, rappelons-nous ce qui a été dit (art. 18 et 19) de celle du globe sur un aimant. Nous avons vu que les courans électriques qui ont lieu dans la terre, vont de l'est à l'ouest, perpendiculairement au méridien magnétique, comme l'indique la direction que prend la partie inférieure d'un conducteur mobile, fig. 6 et fig. 12, dans laquelle le courant va toujours de l'est à l'ouest, quand le conducteur s'est fixé dans la direction que le globe tend à lui donner. Il faut en conclure, comme nous l'avons fait, que, dans un aimant dirigé par le globe, les courans qui environnent son axe dans des courbes fermées, vont aussi de l'est à l'ouest dans la partie inférieure de l'aimant la plus voisine de la terre, qu'ils vont de l'ouest à l'est dans la partie supérieure, et enfin qu'ils sont ascendans à l'ouest de l'aimant et descendans à l'est.

Dans le globe, les courans allant de l'est à l'ouest, le pôle austral se trouve à leur droite, pour l'observateur situé dans ces courans et regardant l'aiguille aimantée qu'ils dirigent. D'après ce que nous avons vu, celle-ci doit se placer de manière que les courans de sa partie inférieure, qui est la plus voisine du globe, soient aussi dirigés de l'est à l'ouest, alors l'observateur placé dans ces courans, et regardant la terre, aura à sa droite le pôle de l'aiguille qui est tourné vers le nord. Ainsi d'après la théorie, la position où se fixe un aimant est, comme l'observation le donne, celle où les pôles de nature différente du globe et de cet aimant sont tournés vers les mêmes côtés de l'espace. Nous entendons, comme dans

l'art. 30, par pôles de nature différente, deux pôles dont l'un est à droite et l'autre à gauche des courans, en définissant la droite et la gauche comme nous l'avons fait dans cet article. Il est évident maintenant que les mêmes raisonnemens s'appliquent immédiatement à la direction d'un aimant par un autre. Quand celui qui est mobile s'est fixé, les courans voisins dans les deux aimans doivent être dirigés dans le même sens. Les observateurs qui, placés dans ces courans, se regardent l'un l'autre, ayant chacun le dos tourné à l'axe de son aimant, ont tous deux le pôle austral à leur droite, et comme la droite de l'un correspond à la gauche de l'autre, les deux aimans tournent vers les mêmes points de l'espace leurs pôles de nom différent. Il n'est pas besoin de rappeler que c'est en effet ce qui a lieu.

73. Si deux aimans sont dirigés par le globe, leurs pôles de même nom seront tournés vers le même côté de l'espace. Supposons les tels que *abcd*, *a'b'c'd'*, fig. 33,

Fig. 33.

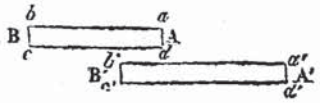


de même longueur et placés à côté l'un de l'autre. Les pôles de même nom étant voisins, ils se repousseront. En effet, dans la partie voisine des deux aimans les courans vont en sens contraire. Pour le voir plus clairement imaginons ces deux aimans horizontaux, à la même hauteur, et dans la situation que leur donne l'action de la terre, le premier étant à l'ouest, le second à l'est. Leurs courans voisins seront les courans de l'est pour l'aimant occidental, et les courans de l'ouest pour l'aimant oriental. Or, les courans de l'est d'un aimant horizontal dirigé par le globe sont descendans, ceux de l'ouest au

contraire sont ascendans; il y aura donc entre les courans de ces aimans la répulsion que donne l'expérience; en faisant tourner de deux angles droits l'un des aimans autour de son milieu sans qu'il sorte du plan vertical où il était primitivement, on le changera bout pour bout; les courans de sa partie la plus proche de l'autre aimant auront alors une direction contraire à celle qu'ils avaient d'abord, et par conséquent, les courans des deux faces voisines étant dirigés dans le même sens, il y aura attraction dans cette nouvelle situation, où l'on voit d'ailleurs que les pôles de nom contraire se trouvent du même côté.

74. Lorsque les deux aimans *abcd*, *a'b'c'd'*, fig. 33, dont les pôles de même nom A et A', B et B' sont voisins, se repoussent, cette répulsion provient de ce que les courans ascendans de la face de l'aimant A'B' projetée en *a'b'* sont ascendans et repoussent les courans descendans de la face voisine *cd* de l'aimant AB. L'action réciproque des courans de ces deux faces, ou plus généralement de toutes les faces semblables des enveloppes dont on peut concevoir l'aimant composé, détermine (art. 29) la nature de l'action mutuelle des deux aimans. Mais il n'en est plus de même quand les deux aimans, sans cesser d'être parallèles, ne sont pas vis-à-vis l'un de l'autre comme dans la fig. 34.

Fig. 34.

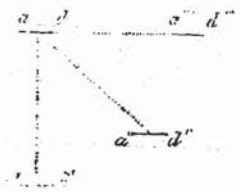


En effet on voit que les courans de la face *cd* n'ont plus autant l'avantage de la proximité et de l'action directe pour repousser ceux de la face *a'b'*, et s'il était permis de se borner aux actions mutuelles des quatre faces verticales projetées en *ab*, *cd*, *a'b'*, *c'd'*, on verrait facilement qu'il y a répulsion entre *cd* et *a'b'* et entre *ab* et *c'd'*, tandis qu'il y a attraction entre *ab* et *a'b'*, et entre *cd* et *c'd'*; si l'on fait attention que la répulsion des faces voisines *cd* et *a'b'* est plus affaiblie par l'obliquité que ne

l'est l'attraction des faces ab, $a'b'$ et cd, $c'd'$, on concevra facilement qu'il y a une certaine position des deux aimans où la répulsion cesse pour faire place à l'attraction, comme le montre l'expérience.

75. Pour ne rien laisser à désirer sur ce sujet il faudrait qu'il nous fût permis ici d'avoir recours au calcul, et d'y soumettre l'action mutuelle de deux des courans en courbes fermées, dont nous admettons que les aimans sont composés. Supposons, par exemple, que les deux courans parcourent des circonférences de cercles dont les plans soient verticaux, et qu'on les présente l'un à l'autre dans différentes positions, en maintenant toujours les centres des deux circonférences à la même distance, à la même hauteur, et leurs plans parallèles. Soit ad fig. 31,

Fig. 31.



la projection horizontale de la circonférence que suit un de ces courans. Soient de même $a'd'$, $a''d''$, $a'''d'''$, les projections de l'autre courant dans les diverses positions que nous lui donnons successivement. Il est aisé de voir que dans la situation $a'd'$ du second courant, où il est vis-à-vis du premier, il y a attraction entre eux. Cette attraction va en diminuant à mesure que le second courant s'éloigne de la situation $a'd'$, en sorte qu'elle devient nulle quand il est, par exemple en $a''d''$, pour une obliquité déterminée des plans des deux circonférences sur la ligne qui en joint les centres; qu'enfin passé ce terme, il y a une action répulsive qui va toujours en augmentant jusqu'à ce que le second courant arrive en $a'''d'''$ dans le plan du premier.

76. Cela posé on voit que, quand les deux aimans

AB, A′B′, ne sont pas vis à-vis l'un de l'autre, mais placés comme dans la figure 34, il y a répulsion entre tous les courans voisins dont les plans ont avec la ligne qui en joint les centres une obliquité plus grande que celle où la répulsion se change en attraction, tandis qu'il y a attraction entre tous les autres pour lesquels l'obliquité est moindre, et l'on conçoit ainsi qu'en faisant mouvoir l'un des aimans de manière à rapprocher de plus en plus deux pôles de nom contraire, tels que A et B′, il y a un instant où la répulsion se change en attraction. Car le nombre des courans dont la situation est analogue à celle de ad et $a'''d'''$, fig. 31, et donne lieu à la répulsion, va en diminuant, et au contraire le nombre de ceux qui s'attirent parce que leur situation respective se rapproche de celle $a'd'$ à l'égard de ad, va en augmentant. C'est pour cette raison que deux aimans s'attirent dans la situation représentée fig. 34, quand le pôle B′ de l'aimant A′B′ répond à un point de l'autre aimant suffisamment rapproché de A. Alors deux pôles de nom différens A et B′ sont voisins.

De même en partant de la position de deux aimans où leurs axes sont situés dans la même droite et s'attirent, ce qui a lieu quand les pôles de même nom sont voisins et les courans des deux aimans dans le même sens, on verrait, en les faisant passer de cette position à celle de la fig. 34, que l'attraction s'affaiblit de plus en plus, et qu'en continuant de les déplacer dans le même sens, elle devient nulle et fait enfin place à la répulsion : alors deux pôles de même nom se trouvent voisins.

77. Pour examiner un des cas où les aimans agissent sans avoir leurs axes parralleles, partons de la position qu'occupent les deux aimans AB, A′B′, fig. 33, où les deux pôles voisins A et A′ se repoussent, et plaçons l'aimant A′B′ en A″B″ pour le faire agir sur l'aimant AB ; il devra y avoir encore la répulsion que l'on observe dans ce cas. En effet, les courans des faces cd, $a''b''$, se repoussent encore comme dans la position précédente, quoique plus faiblement, à cause de l'augmentation de distance; mais de plus le courant ascendant en a, par exemple, repousse le courant descendant en d''. En passant de suite au cas extrême où les deux aimans AB,

$A'''B'''$ ont leurs axes sur la même ligne, et leurs pôles de même nom voisins, on voit que les courans projetés en *ad*, par exemple, tournent en sens contraire de ceux qui sont projetés en $a'''d'''$, et qu'il y a répulsion en général, entre deux tranches quelconques des deux aimans.

Quand on applique le calcul à ces phénomènes, le cas que nous venons d'examiner ici, où les axes des aimans ne sont plus parallèles, se rapporte à l'action des deux courans, que nous avons considérée (art. 75), avec la seule différence que les plans de ces courans au lieu d'être parallèles, font un angle quelconque entre eux; circonstance qui doit être introduite dans les formules. Nous avons encore supposé que les deux axes des aimans étaient dans le même plan; dans le cas contraire, le calcul doit être appliqué à la détermination générale de l'action mutuelle de deux courans en courbes fermées situés dans des plans quelconques.

Aimantation d'un barreau par l'action d'un courant, en considérant l'aimant comme un assemblage de courans électriques.

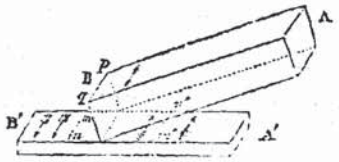
78. Nous avons vu qu'un aimant agissait, quant à sa longueur, comme un fil conducteur plié en hélice, et quant aux surfaces perpendiculaires à son axe qui en termine les deux bouts comme un conducteur plié en une spirale plane. Cette identité d'action se soutient dans celle qu'un aimant exerce sur un barreau d'acier pour lui communiquer la vertu magnétique, précisément comme le fait le fil métallique qui joint les deux extrémités de la pile, dans les expériences où l'on emploie ce fil pour aimanter un barreau.

Supposons d'abord qu'on place sur ce barreau une spirale dont le centre réponde à un point quelconque de sa longueur, on verra à ce point se former un point conséquent, et les deux parties du barreau de chaque côté de ce point s'aimanter de manière que les courans électriques qu'admet, dans les aimans, la théorie que nous exposons, se trouvent dirigés comme ceux de la spirale dans les points où elle touche le barreau, et que les deux extrémités de celui-ci soient par conséquent des pôles de même nom, de l'espèce des pôles magnétiques que représente la spirale vue du côté où elle agit sur le barreau. Cette expérience, facile à répéter ne diffère point de l'aimantation d'un barreau par un fil transversal, d'a-

près le procédé de sir H. Davy. Substituons maintenant à la spirale le pôle d'un aimant où les courans tournent dans le même sens que dans cette spirale, de manière que son axe soit comme celui de la spirale perpendiculaire au barreau, celui-ci sera aimanté précisément de la même manière, il se formera de même un point conséquent au milieu de la partie du barreau touchée par le pôle de l'aimant, et ses deux extrémités présenteront, comme dans le cas de la spirale, un pôle de même nom que celui de l'aimant qui aura touché ce barreau.

79. En faisant glisser, soit la spirale, soit l'aimant, d'une extrémité à l'autre du barreau toujours dans le même sens, la partie de ce barreau qui se trouvera à chaque instant du côté par où commence le mouvement conservera les courans qui y auront été produits ; mais les courans produits dans l'autre partie seront détruits et changés en courans dans la direction opposée, à mesure que le mouvement de la spirale ou de l'aimant les fera trouver de l'autre côté de cette spirale ou de cet aimant, en sorte que l'extrémité du barreau par laquelle aura commencé le mouvement devra présenter un pôle de même nom que celui de l'aimant, et l'extrémité par laquelle il aura fini offrira un pôle de nom contraire, ce qui est conforme à l'expérience. On voit, par exemple, dans la figure 30,

Fig. 30.



où B′ A′ représente le barreau, que quand on le frotte avec le pôle boréal d'un aimant élevé à angle droit au-dessus de lui, en allant de B′ en A′, cet aimant doit, en supposant que ses courans agissent comme ceux d'un fil conducteur dans les expériences de sir H. Davy, produire, depuis l'extrémité B′ jusqu'au point de contact,

des courans *mn*, dans la direction des flèches marquées de ce côté dans la figure, tandis qu'il doit produire, depuis le même point de contact jusqu'à l'autre extrémité A′ du barreau B′A′ des courans *m′n′*, dirigés en sens contraire, comme les flèches qu'on voit de ce côté. Mais quand l'aimant, en parcourant le barreau, sera arrivé en A′, tous les courans produits dans ce dernier sens auront été détruits et produits en sens contraire à mesure que l'aimant se sera porté entre eux et le point A′; ils se trouveront donc tous dirigés comme les premiers courans *m n*; le pôle B′ sera à gauche d'un observateur placé dans ces courans et le dos tourné à l'axe de l'aimant B′ A′; ce sera donc un pôle boréal, et le pôle A′ un pôle austral, comme on l'observe en effet.

Mais si le barreau est d'un acier très-dur, les courans *m′n′* produits d'abord en sens contraire entre le point de contact et le point A′, pourront subsister malgré l'aimantation en sens contraire que tendent à recevoir ensuite les points du barreau où ils existent, et alors ce barreau offrira des points conséquens, comme il arrive en effet souvent quand on emploie ce procédé d'aimantation.

80. Si l'on suppose qu'on incline l'aimant dont on se sert pour aimanter le barreau en lui donnant la situation où il est représenté en A B dans la figure, on rendra l'aimantation plus facile et on tendra à diminuer le nombre des points conséquens, pourvu que l'inclinaison ne soit pas trop grande. Pour bien concevoir cette circonstance, il faut faire attention que si elle tend à diminuer l'action d'une partie des courans de l'aimant situés vers *p q*, parce qu'on les éloigne par-là du barreau; cette action est augmentée pour les courans *m n* qui se trouvent entre B′ et le point où l'aimant touche le barreau, parce que les courans de l'aimant AB, au lieu d'agir pour produire dans le barreau des courans situés dans des plans perpendiculaires aux leurs, agissent pour en produire dans des plans avec lesquels ils forment un angle aigu, égal à l'angle des axes de l'aimant et du barreau, ce qui ne peut manquer de favoriser leur action; c'est précisément le contraire pour les courans *m′n′*, à la production desquels l'obliquité de l'aimant A B ne peut être

que défavorable, comme le montre la grande faiblesse de l'action qu'à exercée, dans les expériences de M. Arago, un fil conducteur plié en hélice pour aimanter une aiguille placée en dehors de cette hélice. Les courans *mn* qui subsistent seuls après l'aimantation, devront donc être plus énergiques quand l'aimant est incliné que dans le cas où on le tient dans une direction perpendiculaire à celle du barreau, malgré l'inconvénient d'une distance plus grande entre quelques-uns des courans de l'aimant et les points du barreau qu'ils tendent à aimanter, tandis que les courans *m'n'*, qui doivent être détruits, ne peuvent que perdre de leur intensité à mesure que l'axe de l'aimant s'incline sur celui du barreau, de moins tant que l'angle de ces axes ne devient pas trop petit, parce que dans ce dernier cas le changement de distance prenant une plus grande influence, l'action de l'aimant pour produire les courans *mn*, irait à son tour en diminuant, et le barreau s'aimanterait moins bien que quand l'aimant est médiocrement incliné sur le barreau. Il est inutile de rappeler que ces divers résultats sont tous conformes à l'expérience.

81. Si au lieu de promener le long du barreau un seul aimant dont l'axe fasse un angle droit avec le sien, on en emploie deux, à une petite distance l'un de l'autre, qui le touche par des pôles de noms contraires, il est évident que d'après la manière dont les courans électriques tendent à en établir dans un barreau d'acier, les actions des courans que nous admettons dans ces deux aimans, se contrarieront pour tous les points du barreau situés hors de l'intervalle des deux aimans, tandis qu'elles se réuniront pour produire des courans dans le même sens pour tous les points du même barreau situés dans cet intervalle. Ces derniers courans acquérant ainsi une énergie bien supérieure à celle des premiers, subsisteront seuls lorsque les aimans ayant parcouru toute la longueur du barreau, l'intervalle qui les sépare aura occupé successivement toutes les parties de cette longueur. C'est ce moyen d'aimantation qui est connu sous le nom de *double touche*, et il est aisé de voir que toutes les circonstances qu'il présente sont une suite nécessaire de notre théorie et de l'aimantation d'un barreau

d'acier par un conducteur voltaïque. L'analogie de l'explication déduite de cette théorie et de celle qu'on donne de la double touche dans l'hypothèse de deux fluides magnétiques agissant d'après les mêmes lois que les deux fluides électriques, nous dispense d'entrer à ce sujet dans de plus grands détails.

82. M. Arago a montré par une expérience très-simple que quand un barreau est aimanté sur une partie de sa longueur, cette partie tend, par son action sur le reste du barreau, à en continuer l'aimantation dans le même sens, pourvu qu'il ne soit pas d'une trempe trop dure, afin que cet effet ne soit pas empêché par la difficulté d'aimanter un acier très-fortement trempé, et même dans ce cas l'aimantation a encore lieu dans le même sens dans les parties voisines de la partie déjà aimantée; on s'en assure aisément en enveloppant d'un conducteur plié en hélice une partie seulement d'un fil d'acier pendant quelque temps, et en examinant ensuite ce fil d'acier avec une petite aiguille aimantée, on trouve qu'il est aimanté dans le même sens sur une étendue qui est ordinairement à peu près double de celle qui était enveloppée par le conducteur; seulement l'intensité va en diminuant graduellement à mesure qu'on s'éloigne de la partie enveloppée. Ce fait qui est une conséquence nécessaire et immédiate de la théorie où l'on considère les phénomènes magnétiques comme produits par des courans électriques, s'explique également dans la théorie ordinaire de l'aimant, puisque dans un barreau aimanté en partie, chaque particule de la portion aimantée tend à décomposer le fluide de la particule suivante, de manière à lui donner des pôles situés dans le même sens que les siens, afin que les pôles voisins dans ces deux particules soient d'espèces opposées, comme cela doit être dès qu'on admet que les deux fluides magnétiques s'attirent mutuellement et que chacun d'eux repousse les molécules magnétiques de même espèce que les siennes.

83. Lorsqu'à l'extrémité d'un barreau d'acier ou de fer, on applique le pôle d'un aimant en ligne droite avec le barreau, celui-ci s'aimante dans la partie qui est voisine du point de contact, dans le même sens que l'est cet

aimant, ce qui s'explique également bien dans les deux hypothèses, puisque si l'on admet dans l'aimant des courans électriques, ils doivent, d'après l'expérience de M. Arago, que nous venons de citer, en produire dans le barreau, qui tournent autour de son axe dans la même direction, et en font par conséquent un nouvel aimant dont les pôles sont situés, l'un par rapport à l'autre, dans le sens que ceux du premier aimant; et que si l'on attribue au contraire les phénomènes magnétiques à la séparation, dans chacune de ses particules, des deux fluides qui s'y neutralisaient auparavant par leur réunion, l'effet de l'aimant, quand il touche par exemple le barreau par son pôle austral, est d'attirer le fluide boréal de chaque particule et d'en repousser le fluide austral, en sorte que toutes les particules deviennent des aimans dont le pôle boréal est du côté de l'aimant, et le pôle austral du côté opposé, en sorte qu'elles se trouvent toutes aimantées dans le même sens que lui. Quelle que soit celle de ces deux hypothèses qu'on adopte, on en doit conclure également que la partie déjà aimantée ne peut agir sur celle qui ne le serait pas encore que comme le fait l'aimant lui-même, puisque les pôles de cette partie sont situés dans le même sens que ceux de l'aimant; elle ne peut donc que tendre à propager successivement l'aimantation toujours dans le même sens jusqu'à l'autre extrémité du barreau, c'est ce qui arrive en effet quand il est de fer doux, et la propagation des propriétés magnétiques le long du barreau est en général très-rapide dans ce cas, parce que cette substance n'oppose qu'une très-faible résistance, soit dans l'une des hypothèses à la production des courans électriques, soit dans l'autre à la séparation des deux fluides magnétiques.

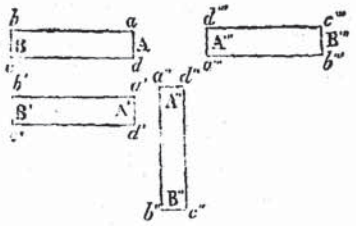
84. Mais quand le barreau est d'acier, surtout quand il est trempé de manière à ce qu'il n'acquière qu'avec difficulté les propriétés de l'aimant, on observe un phénomène très-remarquable dont l'explication mérite une attention particulière. Ce phénomène consiste en ce qu'alors il se forme un point conséquent sur le barreau, et que ce barreau présente, au delà de ce point, des pôles situés en sens opposé à celui des pôles de la partie qui est en contact par son extrémité avec l'aimant, et en

a reçu une aimantation semblable à celle de cet aimant.

Il est bien démontré par l'espèce des pôles qui se développent aux extrémités des deux fragmens d'un aimant que l'on casse, par lesquelles ces fragmens adhéraient avant la rupture, que l'hypothèse des deux fluides magnétiques ne peut subsister qu'en admettant, comme l'a établi le célèbre Coulomb, que ces deux fluides ne passent jamais, ainsi que le fait l'électricité, d'une particule à l'autre, et que tous les phénomènes magnétiques sont dus à leur séparation dans une même particule, en sorte qu'un aimant n'est qu'un assemblage d'autant de petits aimans qu'il contient de particules, dont chacun a un pôle austral et un pôle boréal. Il est évident alors que quand un barreau a été aimanté sur une partie de sa longueur par le contact d'une de ses extrémités avec un aimant, la partie aimantée l'étant dans le même sens que cet aimant, elle ne peut agir que comme lui, et qu'elle joint nécessairement son action à la sienne pour propager l'aimantation le long du barreau, toujours dans le même sens; à quoi peut-on donc attribuer dans cette supposition la production d'un point conséquent, et l'aimantation en sens contraire de la partie du barreau située au delà de ce point?

85. Il paraît d'abord qu'on tombe dans le même inconvénient lorsqu'on attribue les phénomènes magnétiques aux courans électriques qui s'établissent dans le barreau, car lorsqu'il n'y a encore des courans que dans une partie du barreau, ils doivent tendre à en produire de proche en proche, dans le même sens, dans toute la partie où il n'y en a point encore. Pour voir comment il peut arriver, par la difficulté que ces courans éprouvent à se produire dans l'acier fortement trempé, qu'il se forme un point conséquent, et au delà de ce point des courans qui tournent dans le sens opposé, considérons les trois barreaux AB, A″B″, A‴B‴ (fig. 33).

Fig. 33.



et supposons que le premier seul soit aimanté, et qu'en les laissant dans les directions où ils sont représentés dans cette figure, on les rapproche les uns des autres de manière que l'angle *a* du premier touche l'angle *a''* du second, et l'angle *d''* de celui-ci l'angle *a'''* du troisième, il est clair qu'en regardant A comme le pôle austral de l'aimant AB, ses courans dans sa face antérieure suivront la direction *ad*, puisque c'est en plaçant l'observateur dans cette direction, le dos tourné à l'axe de l'aimant, que l'extrémité A se trouve à sa droite ; le courant qui s'établira dans le barreau A''B'' devra, d'après tout ce que nous avons dit, avoir la même direction au point où l'angle *d* est supposé en contact avec l'angle *a''*; il passera donc par la face postérieure de ce barreau de *a''* en *d''*, et reviendra par la face antérieure dans la direction *d''a''*, d'où il suit que A''B'' s'aimantera de manière que son pôle boréal sera en A'' à gauche de l'observateur placé dans ce courant et tournant le dos à l'axe du barreau A''B'' ; ainsi aimanté ce barreau communiquera les propriétés magnétiques à A'''B''', de manière que leurs courans aient la même direction aux angles *d''* et *a''* par lesquels ils se touchent; les courans produits dans le barreau A'''B''' iront donc sur sa face antérieure dans la direction *a'''d'''*, et comme l'extrémité A''' est à la droite de l'observateur placé toujours de la même manière dans ces courans, A''' sera le pôle austral de A'''B'''.

L'aimant AB qui aurait aimanté A'''B''' de manière que le pôle boréal de celui-ci fût en A''', s'il l'avait tou-

ché immédiatement, l'aimantera donc au contraire de manière que A''' soit un pôle austral de même nom que A, quand ils ne communiqueront que par l'intermède du barreau A''B'', dont l'axe est perpendiculaire aux leurs : or, c'est précisément ce qui arrive quand il se forme un point conséquent dans un barreau fortement trempé qui touche le pôle austral d'un aimant par une de ses extrémités. La partie voisine du barreau s'aimante d'abord de manière que cette extrémité est un pôle boréal, comme l'extrémité B de l'aimant AB que nous prendrons pour la représenter, en représentant l'autre partie du barreau par A'''B'''; tant que l'électricité de cette dernière partie pourra obéir librement à l'action des courans de AB, on aura le cas où AB étant déjà aimanté et A'''B''' ne l'étant point encore, ils se touchent immédiatement, c'est-à-dire que l'aimantation se propagera toujours dans le même sens; mais si la dureté de la trempe s'oppose à cet effet, il arrivera dans le barreau, quoique continu, ce qui arrive à AB et à A'''B''' quand ils ne communiquent qu'à l'aide du barreau A''B'', dont l'axe est perpendiculaire à la direction des leurs; il se formera dans le barreau continu des courans tournant autour d'une normale à sa surface, semblables à ceux qui se produisent dans A''B''. Ces courans tendront donc à aimanter le reste du barreau dont nous parlons en sens contraire, comme ceux de A''B'' aimantent A'''B''', de manière que ses pôles soient situés en sens inverse de ceux de AB, et il se produira ainsi un point conséquent, conformément à l'expérience que nous nous étions proposé d'expliquer.

86. C'est par cette tendance des courans électriques établis autour de l'axe d'un aimant à en produire, dans le sens que nous venons d'indiquer, autour de l'axe d'un barreau dont la direction est perpendiculaire à la sienne, qu'on explique, lorsqu'on considère les phénomènes magnétiques comme dus à des courans électriques, toutes les circonstances des effets produits par les armures. Les bornes dans lesquelles cet exposé devait être renfermé, et que nous n'avons déjà que trop dépassées, ne nous permettent pas d'entrer à cet égard dans des détails que le lecteur pourra aisément suppléer d'après

tout ce qui précède. Le même motif nous empêche de discuter toutes les circonstances que présente l'aimantation d'un barreau à l'aide d'un ou de plusieurs aimans dans les diverses situations qu'on peut leur donner l'un à l'égard de l'autre, et suivant les divers mouvemens qu'on peut leur imprimer. Ces circonstances peuvent être facilement prévues dans chaque cas, en partant de la théorie que nous avons adoptée, et dont nous venons d'expliquer les principes; elles en deviennent ainsi une confirmation très-propre à en compléter les preuves.

Causes auxquelles on peut attribuer les courans électriques de la terre et des aimans.

87. L'existence des courans dans le globe terrestre et dans les aimans se rattache naturellement à la propriété connue de deux corps en contact dont chacun enlève à l'autre une des deux espèces d'électricité. Lorsqu'ils communiquent en même temps, dans un autre point de leur surface, par des conducteurs liquides dont l'action ne détruit pas la leur, il se produit nécessairement ce que nous avons nommé courant électrique. Il suffit, comme nous l'avons dit plus haut, de supposer que dans l'acier aimanté les molécules sont rangées de manière à former transversalement à son axe la même disposition qui a lieu dans une pile dont les deux extrémités se rejoignent; chaque molécule avec l'espace qui la sépare de la suivante, faisant le même effet que dans la pile un élément cuivre, zinc et liquide. Nous ferons remarquer à ce sujet qu'il n'est pas nécessaire pour produire une action électromotrice que deux corps de nature différente agissent l'un sur l'autre, puisque l'on sait qu'au moyen d'une simple différence de température ou même de forme entre les deux parties d'un même métal, ce métal peut être employé à former une pile dans laquelle il fera un effet analogue à celui que le cuivre et le zinc à la fois font dans la pile ordinaire.

La direction des courans du globe terrestre de l'est à l'ouest est remarquable par sa direction à peu près opposée à celle du mouvement de la terre avec lequel cette direction a sans doute un rapport qu'on ne peut encore établir d'une manière incontestable. Dans l'hypothèse où l'espace serait rempli d'une matière très-élastique, le mouvement apparent de cette matière rapporté au globe coïnciderait aussi à peu près avec la direction des cou-

rans électriques, qui doit, peut-être, être attribuée à cette cause,

D'après les expériences connues où deux corps de même nature, mais à des températures différentes, agissent galvaniquement l'un sur l'autre, il est d'ailleurs probable que les courans du globe sont dus en partie à l'action calorifique du soleil qui, traversant dans son mouvement diurne tous les méridiens, en allant de l'est à l'ouest, échauffe successivement toutes les parties du globe qui sont sous ces divers méridiens, et établit ainsi des courans dans un sens déterminé. Au reste, indépendamment de cette considération, il n'est guère possible que dans un assemblage de matériaux hétérogènes, tel que le globe, les actions galvaniques ne fassent naître des courans qui, même en supposant leur intensité très faible, ne laisseraient pas de produire un effet sensible à cause de leur grand nombre. Mais, quelle que soit la cause de la disposition électrique du globe, c'est dans l'action du soleil sur les courans de sa surface, dont il doit [1] faire varier l'intensité, qu'il faudra chercher la cause des variations diurnes et annuelles de l'aiguille aimantée, tandis que les changemens de l'inclinaison et de la déclinaison, qui embrassent une période beaucoup plus longue, semblent devoir dépendre des variations bien plus générales qu'éprouverait la disposition de l'électricité en mouvement dans toutes les parties du globe à la fois.

88. La déclinaison de l'aiguille aimantée dans l'hypothèse que nous adoptons sur la cause des effets de l'aimant, est due à la différence qu'il y a entre l'est et l'ouest géographiques et la direction des courans terrestres auxquels l'aiguille est toujours perpendiculaire.

[1] L'action de la température sur l'intensité des courans électriques prouvée par divers phénomènes offerts par les piles voltaïques exposées à différentes températures, vient de recevoir une nouvelle confirmation par ceux que sir H. Davy a observés en chauffant ou refroidissant des parties d'un fil conducteur élevé par l'action voltaïque à la température où ce fil commence à rougir; dès qu'une partie est un peu moins chaude que l'autre, cet effet disparaît, et la partie qui l'est un peu plus passe à l'état d'incandescence. Comme nous ne connaissons point les détails des expériences de ce grand physicien, nous ne pouvons ici que les indiquer.

L'inclinaison se rapporte de la même manière à la direction d'un aimant par un conducteur, et elle est produite, pour les aimans comme pour les conducteurs électriques (art. 19), par la tendance générale des courans à se disposer parallèlement et dans le même sens.

89. Nous avons considéré, dans cet exposé, les courans électriques des aimans comme tournant autour de leur axe; on peut aussi les considérer comme tournant autour de chacune de leurs particules, ainsi que M. Ampère l'a expliqué dans un mémoire lu à l'Académie royale des Sciences le 8 et le 15 janvier 1821. Dans cette seconde manière de concevoir les courans dans les plans perpendiculaires à l'axe, toutes les explications restent les mêmes; seulement ce que nous avons dit jusqu'à présent de l'aimant entier doit alors se dire de chaque particule, et toutes étant dirigées, attirées et repoussées comme nous l'avons expliqué, l'aimant formé de leur réunion est dirigé, attiré et repoussé de la même manière. Au reste, quand on admet que les courans ont lieu autour de chaque particule, il faut toujours, pour se faire une idée juste des effets qu'ils doivent produire, considérer une particule comme nous avons considéré l'aimant entier; et dans ce cas même il serait plus commode d'appliquer d'abord directement à celui-ci ce qu'il y aurait à dire de chaque particule, et d'ajouter ensuite cette simple observation que l'on peut toujours substituer à l'aimant total autant de petits aimans qu'il contient de particules. C'est ainsi que dans l'hypothèse des deux fluides magnétiques on supposa d'abord que lorsque ces deux fluides se séparaient dans un barreau d'acier, ils étaient chacun transporté à une des extrémités du barreau, et qu'on admit ensuite que la décomposition n'avait lieu que dans leurs plus petites parties, et qu'il n'y entrait ni n'en sortait jamais aucune molécule de l'un des deux fluides. Quoique ces deux manières de considérer la séparation des deux fluides magnétiques conduisent en général aux mêmes résultats, la nature des pôles qui se développent aux extrémités des deux fragmens d'un aimant que l'on casse, par lesquelles ils adhéraient avant la rupture, eut bientôt décidé entre elles, parce que cette circonstance ne pouvait s'expliquer que dans la

seconde hypothèse; mais le même moyen ne peut servir à décider entre les deux manières d'expliquer les phénomènes magnétiques par des courans électriques situés dans des plans perpendiculaires à l'axe de l'aimant, parce que, soit qu'on suppose qu'ils tournent autour de l'axe ou autour de chaque particule, ces courans restant dans le même sens après la rupture du barreau aimanté, doivent donner les mêmes pôles aux deux fragmens, et les donner tels que l'expérience montre qu'ils sont en effet, en sorte que la question reste jusqu'à présent indécise. Plusieurs raisons que M. Ampère se borna à indiquer rapidement dans le mémoire cité, le portent à croire que les courans ont réellement lieu autour de chaque particule de l'acier aimanté, et il regarde comme probable qu'ils y existent avant l'aimantation comme après; mais qu'étant alors dirigés les uns dans un sens, les autres dans un autre, il ne peut résulter aucune action de leur réunion, jusqu'à ce que l'aimantation leur donne à tous la même direction dans les particules auxquelles cette opération communique les propriétés magnétiques.