ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

Par MM. GAY-LUSSAC et ARAGO.

TOME TRENTE-DEUXIÈME.



A PARIS,

Chez CROCHARD, Libraire, cloître Saint-Benoît, n° 16, près la rue des Mathurins.

1826.

Note sur quelques Phénomènes électromagnétiques.

Plusiturs faits ont été présentés à différentes époques comme nouveaux et inconciliables avec la manière dont M. Ampère conçoit et représente les actions électromagnétiques. L'objet de cette Note est de montrer que ces faits, loin de la détruire, sont parsaitement d'accord avec sa théorie.

On doit à M. Faraday l'expérience du mouvement de révolution continu d'un aimant autour d'un fil ou d'un fil autour d'un aimant.

Ce monvement pouvait se déduire de ce que M. Ampère avait fait voir long-temps avant : 1°. que l'action mutuelle de deux portions quelconques de courans électriques se change en une action égale et directement opposée, si, toutes choses restant d'ailleurs semblables, on vient à changer le sens d'un seul des deux courans; 2°. que tout se passe comme si deux portions très-petites, deux élémens de courans agissaient l'un sur l'autre suivant la droite qui joint les milieux de ces élémens.

En effet, soit aba'b' (fig. 1) un courant circulaire allant de a vers b', et formant un circuit fermé dans un plan que je suppose horizontal, pour fixer les idées: soit MmN une portion de conducteur de forme quelconque, située dans un plan vertical et qui puisse se mouvoir en tournant librement autour d'un axe vertical OM, passant par le centre O du courant circulaire: je considère deux élémens asb, a's'b' sembla-

blement situés des deux côtés du plan MON; leurs actions sur un point m du courant MN sont, d'après ce qu'on vient de voir, deux forces dirigées suivant les droites ms, ms' d'intensités égales, mais de signes contraires, puisque tout est symétrique de part et d'autre, excepté le sens du courant, qui, dans l'élément asb va de a vers b, s'approchant ainsi du point m, tandis que dans l'élément a's'b' il va de a' en b', et s'éloigne du même point. Si donc la première force, attractive, agit suivant ms, la seconde, répulsive, agira suivant ms" prolongement de ms; leur résultante aura donc sour direction la perpendiculaire élevée au point m sur le plan MON; car cette ligne, à cause de la symétrie de la figure, fait avec les droites ms, ms" des angles égaux. En réunissant ainsi deux à deux les élémens du courant circulaire, on voit que l'action de toute la circonférence sur le point m se réduit à une force perpendiculaire au plan vertical MON. Il en serait de même pour chaque point du circuit MN. Si done ce circuit ne peut se mouvoir qu'autour d'un axe vertical passant par le centre O, il devra tourner autour de cet axe d'un mouvement continu.

Si le fil mobile formait au-dessus et au-dessous du courant circulaire deux contours semblables, la partie inférieure et la partie supérieure tendraient, comme il est facile de le voir, à tourner dans des sens opposés avec des vitesses égales, le système entier ne prendrait aucun mouvement.

M. Ampère a constaté par des expériences précises que quand le conducteur mobile MmN a ses deux extrémités dans l'axe OM, ou quand il forme un circuit

fermé de forme invariable, le mouvement dont il est ici question devient également impossible. En appliquant sa formule à ce résultat, il est arrivé à une conséquence que rien n'avait encore fait soupconner; savoir, que les différentes partics d'un même courant rectiligne se repoussent mutuellement, et cette conséquence a été vérifiée bientôt après par les expériences qu'il a faîtes à ce sujet. Une autre conséquence qu'il a aussi vérifiée de la même manière, consiste en ce que la force avec laquelle le conducteur mobile MmN tend en général à tourner autour de l'aimant, ne dépend en rien de sa forme, mais seulement des distances de ses deux extrémités à l'axe et aux pôles de l'aimant.

Si l'on admet que les particules d'un aimant doivent leur action à des courans électriques formant autour de ces particules des circuits fermés dont les dimensions soient très-petites, on aura dans ce qui précède l'explication du mouvement continu d'un fil autour d'un aimant; et il suit de cette explication et de ce que nous venons de dire, que ce mouvement n'aurait pas lieu si le conducteur mobile était formé de deux branches égales et disposées symétriquement des deux côtés d'un plan mené par le milieu de l'aimant perpendiculairement à son axe, ou si le conducteur mebile formait un circuit fermé, dont toutes les parties fussent invariablement liées entre elles, conséquence qui est encore confirmée par l'observation.

Si l'on suppose le fil fixe et l'aimant mobile, le même raisonnement prouve que l'aimant devra tourner toujours dans le même sens autour du fil, pourvu toutefois que le courant électrique ne forme pas un circuit fermé de forme constante. Cette condition est remplie lorsque l'aimant plonge dans le liquide où viennent aboutir les extrémités du fil, et elle suffit dans ce cas pour rendre le mouvement de révolution de l'aimant antour du fil susceptible de se continuer indéfiniment, soit que le courant électrique traverse l'aimant, ou que celui-ci soit revêtu d'une substance isolante qui s'oppose à ce que cette circonstance puisse avoir lieu. L'explication que M. Ampère a donnée de ce mouvement dans le tome xx, pages 68-70 des Annales, s'applique à ces deux cas, et montre que dans l'un et dans l'autre le mouvement produit doit être le même. L'expérience vérifie encore à cet égard les conséquences de sa théorie. C'est en suivant les mêmes conséquences que M. Ampère trouva le moyen de produire une autre sorte de mouvement, la rotation d'un aimant autour de son axe par l'action du courant électrique, à une époque où l'on regardait ce mouvement comme impossible.

Il fit voir à cette occasion que, quand il s'agit de faire tourner l'aimant autour de son axe, il faut nécessairement que le courant électrique passe ou par l'aimant ou par une portion de conducteur qui lui soit invariablement liée, et que la liquidité d'une partie du circuit voltaïque qui suffit pour que la révolution d'un aimant flottant autour du fil conducteur soit possible, ne suffit plus pour que la rotation du même corps autour de son axe le soit; cette dernière conséquence de la théorie de M. Ampère est également justifiée par les faits.

Pour se faire une idée nette de ce mouvement, il faut se rappeler que, d'après le principe sondamental de la

mécanique sur l'égalité de l'action et de la réaction agissant dans des directions opposées suivant la droite qui joint les points d'application de ces deux forces, l'action mutuelle de tous les points d'un système de forme invariable ne peut produire aucun mouvement dans ce système, et que si l'on conçoit deux systèmes tels que ceux dont nous parlons, qui ne puissent se mouvoir qu'en tournant autour d'un axe donné, l'un de ces systèmes invariables ne peut tendre à faire tourner l'autre autour de l'axe donné, sans que celui-ci tende à faire tourner le premier autour du même axe avec une force égale, mais en sens contraire. Il suit de là que quand une portion du courant électrique traverse unaimant ou fil conducteur invariablement lié à cet aimant, cette portion de courant ne peut avoir aucune sorte d'action pour lui imprimer un mouvement quelconque, et que quand l'aimant re peut que tourner autour de son axe, un circuit électrique fermé ne peut tendre à lui imprimer ce mouvement, puisque, ainsi que nous l'avons dit tout-à-l'heure, l'expérience et la théorie se réunissent pour prouver que l'aimant n'a aucune action pour faire tourner autour de son axe un circuit fermé. Or, tant qu'aucune portion du courant électrique ne passe par l'aimant ou n'est liée avec lui, il est soumis à l'action de tout ce courant qui forme dans les fils conducteurs et dans la pile un circuit total toujours complètement fermé; la rotation de cet aimant autour de son axe est donc alors impossible. Elle devient possible, au contraire, quand on fait passer par l'aimant ou par un fil qui lui est invariablement lié, une portion du courant dont les extrémités ne sont pas dans l'axe, et qui

ne forme pas un circuit fermé, parce qu'alors cette portion n'exerçant plus aucune action sur l'aimant, c'est comme si elle était supprimée. Le reste du circuit total qui a ses extrémités aux mêmes points que la portion supprimée, agit sur l'aimant et le fait tourner avec une force égale à celle avec laquelle l'aimant ferait tourner en sens contraire ce reste du circuit total s'il était possible de le rendre mobile.

La rotation de l'aimant sera donc indépendante de la forme qu'on donnera au circuit total, et ne dépendra que des distances à l'axe et aux pôles de l'aimant des deux points qui séparent la portion du courant liée à l'aimant du reste du circuit voltaïque, et elle cesserait d'avoir lieu si ces points se trouvaient sur l'axe de l'aimant, ou si la portion qui lui est liée, et par conséquent aussi le reste du courant total formaient un circuit fermé. Toutes ces conséquences sont encore complètement conformes à ce qu'on trouve quand on fait les expériences propres à les vérifier.

Les mouvemens observés à la surface du mercure s'expliquent comme ceux des fils conducteurs; mais il n'est pas aussi facile de les prévoir avec la même exactitude, parce qu'ils dépendent de la manière, qui n'est pas encore suffisamment déterminée, dont un courant se répand sur la surface et dans la masse du mercure. Cependant si l'on admet que lorsqu'on y plonge les extrémités des deux fils conducteurs, le courant suit les filets de ce liquide qui joignent à-peu-près en ligne, droite les points d'immersion, on voit qu'à l'instant où l'on approchera un aimant de la surface vers le milieu de l'intervalle qui sépare les fils, chaque élément des.

courans établis dans le mercure devra être transporté perpendiculairement à sa direction, comme le serait l'é-lément semblablement situé d'un fil conducteur mobile. Ainsi s'établira autour de chaque point un tourbillon; tous les points intérieurs seront portés d'un même côté de la ligne qui joint les deux fils; car dans toute cette ligne le courant a une même direction absolue, et chaque moitié de ce courant des directions contraires relativement au pôle de l'aimant qu'on lui présente.

M. Davy a fait connaître un phénomène plus compliqué. Si ACDB (fig. 2) représente la coupe verticale d'un vase plein de mercure jusqu'au niveau EF, qu'on introduise dans ce mercure par le fond du vase qui le contient, les deux fils conducteurs GH, G'H', et qu'on les isole de la masse liquide dans toute leur longueur, excepté vers leurs extrémités H, H', situées à une très-petite distance de la surface EF, à l'instant où l'on met la pile en action, un cône de mercure est soulevé au-dessus de chacune des pointes. Le Mémoire où M. Davy a publié les expériences qu'il a faites sur ce sujet, a été inséré dans le tome xxv des Annales. On peut voir, à la page 60 de ce volume, le passage où il établit que cet effet ne peut être produit ni par l'électricité agissant à l'état de tension, ni par l'espèce d'action qui a lieu lorsqu'elle vient à passer d'un bon dans un mauvais conducteur; mais il est assez singulier que ce grand physicien n'ait pas fait attention que cette élévation du mercure en h et h' était un effet produit par la répulsion qui doit avoir lieu, d'après la théorie de M. Ampère, entre les portions du courant électrique

qui parcourent les fils GH, G'H' d'une part, et le courant qui s'établit dans le mercure suivant la ligne hh. Tous ceux qui ont jeté les yeux sur les ouvrages de M. Ampère savent qu'il a fait voir dès le principe (et ce fait est une des bases de sa théorie), que deux courans dont les directions forment un angle quelconque, s'attirent, s'ils s'approchent ou s'éloignent tous deux du sommet de l'angle que forment ces directions; qu'ils se repoussent au contraire, si l'un s'en approche, tandis que l'autre s'en éloigne. Ce dernier cas a lieu dans l'expérience dont il s'agit. Le courant hh' qui s'établit à la surface du mercure d'une pointe à l'autre forme avec les courans HG, H'G' qui ont lieu dans les fils les angles droits hh'G', h'hG, et d'après ce qui vient d'être dit, le sens est tel qu'il y a répulsion entre les molécules fluides de la surface voltaïsée et chacune des pointes des fils conducteurs. Si cette force répulsive est comparable à la pesanteur et à la cohésion, il devra donc se former au-dessus de ces pointes de petites élévations : c'est ce que montre l'expérience.

Que l'on approche, verticalement au-dessus de l'un des petits cônes, l'un des pôles d'un barreau aimanté, ce pôle, ainsi qu'on l'a vu dans l'expérience précédente, tendra à imprimer au mercure un mouvement de rotation dans un sens déterminé par la nature du pôle et le sens relatif du courant. Le déplacement, d'abord trèslent des sections verticales du cône, accélérera cependant l'écoulement du fluide soulevé. A mesure que l'on approche l'aimant, la vitesse de rotation augmente; la force centrifuge qu'acquièrent les molécules en mouvement élargit de plus en plus la base du cône et en

diminue la hauteur. Il vient un terme où l'élévation est nulle. Enfin les molécules de la partie de la masse que le courant traverse pour arriver du fil à la surface acquérant elles-mêmes une vitesse de rotation de plus en plus grande, une dépression conique doit se manifester au-dessus de la pointe d'où s'échappe le courant. Une semblable dépression a lieu toutes les fois qu'on fait tourner un fluide avec rapidité.

Telles sont les différentes circonstances du phénomène observé par sir H. Davy. Si l'on ne pouvait pas les prévoir sans connaître les rapports de la pesanteur à la force attractive ou répulsive des parties d'un même courant, et à l'action qu'exerce un pôle magnétique sur ce courant, au moins peut-on dire qu'aucune de ces circonstances ne se refuse à une explication facile, fondée sur les premières expériences de M. Ampère, et sur sa manière de concevoir les aimans. Il paraît cependant que l'illustre physicien anglais a cru que l'abaissement du mercure déterminé également par les deux póles opposés était, suivant un passage du Mémoire cité plus haut, qui se trouve à la page 71 du tome xxv des Annales, fortement contraire à l'opinion que les effets électro-magnétiques sont produits par les courans intérieurs ou les mouvemens d'un seul fluide impondérable. Sans doute, dans la théorie de M. Ampère, les pôles opposés produisent des effets contraires en ce sens, qu'ils font, par exemple, tourner le mercure en deux sens différens; mais comme l'abaissement du mercure est dû à la force centrifuge, qui est toujours la même, quel que soit le sens de la rotation, il doit avoir lieu également par l'action du pôle qui fait tourner le

mercure de droite à gauche, comme par celle du pôle qui le fait tourner de gauche à droite.

Au reste, M. Ampère n'a jamais attribué les phénomènes électro-dynamiques aux mouvemens d'un seul fluide impondérable; car il a, dans tout ce qu'il a écrit sur ce sujet, considéré le courant électrique comme une suite de décompositions et de recompositions du fluide neutre, résultant de la réunion du fluide positif et du fluide négatif, ces deux derniers fluides jouissant, à un degré égal, de propriétés opposées.

Il serait superflu de rappeler d'après quelles analogies dans leur action mutuelle, M. Ampère a assimilé les aimans à des systèmes d'hélices électriques d'un diamètre infiniment petit. On n'aura pas oublié que la plus frappante de ces analogies, la direction que l'action magnétique du globe donne à une hélice ou même à un fil conducteur plié en cercle et représentant une seule des spires de cette hélice, parut tellement un fait nouveau en Augleterre, que pendant long-temps les physiciens anglais s'accordèrent à en nier la réalité, quoiqu'au mois de novembre 1820 M. Ampère eût plusieurs fois répété cette expérience devant des membres. de l'Institut et d'autres physiciens, et que M. Dulong l'eût faite à la même époque dans les leçons qu'il donne à l'Ecole polytechnique. On peut voir dans le Mémoire de M. Faraday, publié au mois de septembre 1821, que près d'un an après on n'avait pas encore réussi en Angleterre à produire ce mouvement.

Le calcul peut seul faire connaître exactement les conséquences qui résultent nécessairement d'une théorie. Tant qu'on n'y a pas recours on ne peut en déduire ces conséquences que d'une manière vague et souvent fautive.

La théorie de M. Ampère consiste uniquement; 1°. en ce que deux élémens de courans voltaiques s'attirent ou se repoussent avec une force dirigée suivant la droite. qui en joint les milieux, et qui est proportionnelle à une fonction différentielle très-simple de la racine carrée de leur distance ; 2º. en ce que les aimans doivent leurs propriétés à des courans électriques tournant autour de leurs particules, et qui se placent pendant l'aimantation dans des plans tels qu'il y ait équilibre entre toutes les forces, résultant de cette loi, qui agiraient sur eux pour les déplacer; car si cet équilibre n'avait pas lieu, ces forces donneraient nécessairement pendant l'aimantation une disposition différente aux plans de ces courans. La disposition déterminée par cet équilibre cesse dans le fer doux aussitôt que les forces cessent d'agir; elle subsiste, au contraire, dans l'aciertrempé; mais, dans tous les cas, pour savoir ce qui doit résulter de l'action qu'exerce un aimant soit surun fil conducteur, soit sur un autre aimant, il faut partir de la valeur de l'action mutuelle de deux élémens de courans électriques, l'appliquer à tous les élémens des courans tournant autour des particules de l'aimant, et en déduire par l'intégration les effets qui sont des conséquences rigoureuses de cette théorie: en s'y prenant aiusi, on obtient un accord si parfait entre les résultats du calcul et ceux de l'expérience que l'entière conformité de cette théorie et de tous les faits observés, ne laisse rien à désirer pour en démontrer la vérité aussi complètement que peut l'être celle de toute

autre théorie physique. Mais quand, au lieu de suivre cette marche, on cherche par de vagues considérations à déduire des idées de M. Ampère, ce qui doit arriver dans des cas où le calcul pourrait seul donner des résultats exacts, on en tire de fausses conséquences, et lorsqu'on voit qu'elles ne se réalisent pas, des objections contre sa théorie qui sont aussi dépourvues de fondement que celles qui ont été réfutées dans cette Note.

Note de M. Vicat, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, relativement à son dernier Mémoire sur les Mortiers.

It n'est pas vrai que les argiles légèrement calcinées au contact de l'air décomposent plus d'eau de chaux qu'à l'état naturel; c'est tout le contraire. Mais ce qui reste certain, c'est que leur énergie est très-sensiblement proportionnelle à la quantité d'eau de chaux décomposée.

Les bonnes argiles à pouzzolane réduites en poudre et calcinées sur une plaque incandescente décomposent, en moins d'une heure, 260 parties d'eau de chaux (saturée à 20° R.), terme moyen, pour 100.

Les mêmes argiles calcinées en poudre, mais en vases clos pendant deux heures, n'en décomposent plus que 100 pour 100.

Les argiles qui ne fournissent que de médiocres pouzzolanes décomposent, dans les mêmes circonstances, 60 à 80 d'eau de chaux, it les mauvaises 25 à 38 seulement; les pouzzolanes d'Italie en décomposent

147 pour 100.

Les argiles à l'état naturel, qui ne décomposent pas au-delà de 400 à 500 parties d'eau de chaux pour 100, ne sauraient être employées comme pouzzolanes. Les argiles extraites par lavage des arénes de première qualité décomposent jusqu'à 1100 d'eau de chaux pour 100.

