

relatifs à cette branche capitale de l'électrologie, a été essentiellement ramenée par M. Ampère à un seul phénomène général et élémentaire, dont il a pleinement dévoilé toutes les lois, l'action directe et mutuelle de deux fils conducteurs électrisés par des piles voltaïques, habituellement réduites à leur plus grande simplification, c'est-à-dire, presque toujours composées d'un seul élément. C'est donc à cette action fondamentale que nous devons ici borner notre examen philosophique.

Deux conducteurs ainsi disposés tendent toujours, quand ils sont suffisamment mobiles, à se placer dans des directions parallèles entre elles; et, après y être parvenus, ils s'attirent ou se repoussent, suivant que les deux courans électriques sont conformes ou contraires. Mais, pour observer avec exactitude les lois de ce phénomène principal, il est indispensable de soustraire les deux fils à l'action directrice analogue qu'exerce sur eux, en vertu de son état électrique, la masse générale du globe terrestre, et qui altérerait notablement l'effet de leur influence mutuelle. Après avoir découvert cette action remarquable, qui est, d'ailleurs, en elle-même, si importante à connaître, M. Ampère a imaginé des dispositions expérimentales, aussi simples qu'ingénieuses, pour

garantir les observations de cette perturbation générale, soit en plaçant d'avance chaque conducteur dans le plan où l'influence de la terre tendrait à le ramener, soit même en neutralisant complètement cette influence par l'opposition rigoureuse des effets égaux qu'elle produirait sur les deux parties du conducteur convenablement modifié. L'observation étant ainsi préservée de toute altération, il devient facile dès lors de saisir les lois élémentaires du phénomène, où, pour plus de généralité et de simplicité, on doit avoir seulement en vue des portions infiniment petites des divers conducteurs. Ces lois, mathématiquement envisagées, sont relatives ou à l'influence de la direction, ou à celle de la distance.

Quant à la direction, il faut distinguer deux cas, suivant que l'on compare deux élémens conducteurs situés dans le même plan, ou dans des plans différens. Pour le premier cas, l'intensité de l'action dépend seulement de l'angle formé par chacun des deux élémens avec la ligne qui joint leurs milieux : elle est nulle en même temps que cet angle, et augmente avec lui, en atteignant son *maximum* lorsqu'il devient droit, et changeant d'ailleurs de signe en même temps que lui. Tous les phénomènes, directs ou indirects, paraissent être exactement représentés, si l'on fait varier cette

intensité proportionnellement au sinus de l'inclinaison, suivant la formule adoptée par tous les successeurs de M. Ampère. Quand les deux conducteurs ne sont pas dans un même plan, l'action dépend en outre de l'inclinaison mutuelle des plans menés par chacun d'eux et par la ligne commune de leurs milieux; et la marche de cette seconde relation est totalement différente. Sous ce nouveau rapport, la perpendicularité de ces deux plans détermine au contraire l'absence d'action, soit attractive, soit répulsive: il y a attraction tant que l'angle est aigu, et elle augmente à mesure qu'il diminue, son *maximum* ayant lieu au moment de la coïncidence; quand l'angle est obtus, l'action devient répulsive et présente une intensité d'autant plus grande que chaque plan s'approche davantage du prolongement de l'autre, situation qui produit le *maximum* de répulsion. L'ensemble de ces variations tend à faire envisager une telle action comme étant proportionnelle au cosinus de l'angle des deux plans, quoique d'ailleurs les observations n'aient point prononcé jusqu'ici sur le degré d'exactitude réelle de cette simple supposition, aussi clairement qu'à l'égard de la première relation.

Dès l'origine de ses recherches, M. Ampère a été conduit à supposer, par analogie avec la loi

fondamentale de Coulomb sur les attractions et les répulsions électriques ordinaires, que l'action des deux élémens conducteurs est toujours réciproque au carré de la distance de leurs milieux. Mais, cette simple analogie, parmi tant de différences essentielles, ne pouvait évidemment suffire pour établir, d'une manière catégorique, une loi aussi importante. D'une autre part, l'action mutuelle des parties infiniment petites n'était pas susceptible d'une observation directe, toujours nécessairement affectée par la forme et la grandeur réelles des deux conducteurs effectifs. Toutefois, il était aisé de démontrer mathématiquement, comme le fit Laplace, que, dans l'hypothèse adoptée par M. Ampère, l'action d'un conducteur rectiligne, de longueur indéfinie, sur une aiguille aimantée, devait varier exactement en raison inverse de leur plus courte distance. Or, cette conséquence nécessaire, directement vérifiée, de la manière la plus précise, par les expériences délicates de MM. Savart et Biot, a dû évidemment mettre hors de doute la réalité de la loi proposée.

Une telle loi tendrait à présenter la marche de ces actions électriques comme essentiellement analogue, sous le point de vue mathématique, à celle de la gravitation. Mais l'ensemble du parallèle détruit aussitôt tout semblable rapprochement, en

montrant, comme nous venons de le voir, la grande et fondamentale influence exercée, dans la dynamique électrique, par la direction mutuelle, dont la gravitation est au contraire radicalement indépendante. Cette différence profonde peut faire sentir avec quelle réserve on doit transporter, dans l'étude mathématique de ces singuliers mouvements, les procédés ordinaires de la dynamique abstraite, qui a presque toujours en vue, dans ses théorèmes les plus usuels, des actions essentiellement indépendantes de la direction, et variant d'après la seule distance. On conçoit aisément que, par suite de ce caractère propre aux forces électriques, leur composition analytique doit présenter beaucoup plus de difficultés que celle des gravitations moléculaires, dont la complication est déjà, comme nous l'avons reconnu dans la première partie de ce volume, presque entièrement inextricable, sauf pour les cas les plus simples. Aussi jusqu'à présent la dynamique électrique n'a-t-elle été, en réalité, mathématiquement étudiée, que suivant une seule dimension, et jamais en surface, par les divers successeurs de M. Ampère, et surtout par M. Savary, qui s'en est le plus heureusement occupé. Cette étude, ainsi réduite au cas le plus simple, offrirait même encore de grands obstacles, si l'on n'y mettait continuellement à profit une

dernière notion fondamentale, établie par M. Ampère d'après des expériences décisives, et qui consiste en ce que, dans une étendue infiniment petite, et tant que la distance n'est pas sensiblement changée, l'action électrique est exactement identique pour deux éléments conducteurs aboutissant aux mêmes extrémités, quelle que soit d'ailleurs leur différence de forme. Une semblable propriété doit évidemment introduire de précieuses simplifications analytiques, par l'heureuse faculté qui en résulte de substituer, dans les calculs électriques, à l'action de tout élément curviligne, celle, dès lors équivalente, de l'ensemble des différentielles de ses coordonnées quelconques, ce qui établit une analogie remarquable entre les décompositions électriques et les décompositions dynamiques ordinaires.

Tel est l'ensemble des notions fondamentales d'après lesquelles on procède à l'étude exacte et rationnelle des actions variées produites par des fils conducteurs, contournés et disposés de diverses manières. Le cas le plus intéressant se rapporte aux conducteurs pliés en hélices, surtout lorsque leurs spires sont très rapprochées, et dont M. Ampère a si judicieusement montré l'extrême importance pour imiter le plus complètement possible, dans les expériences purement électriques, les phé-

nomènes propres aux corps aimantés. L'observation confirme pleinement, à leur égard, toutes les conséquences, plus ou moins éloignées, qui résultent naturellement de la combinaison des lois précédentes.

La destination scientifique la plus essentielle de cette dynamique électrique, consiste dans l'explication exacte des principaux phénomènes magnétiques, dont l'étude constitue irrévocablement désormais la quatrième et dernière branche fondamentale de l'électrologie, depuis la découverte capitale faite par M. Ørsted, il y a quinze ans, de l'influence exercée par un conducteur voltaïque sur une aiguille aimantée.

Malgré l'éminent mérite d'une telle découverte, des esprits superficiels ont souvent tenté de la représenter comme essentiellement due au hasard, qui, néanmoins, en thèse générale, n'a jamais pu conduire, sous aucun rapport, à une création de quelque importance, même dans les cas les plus simples. Ces étranges philosophes auraient bien dû toutefois nous expliquer pourquoi, avant M. Ørsted, personne n'avait encore aperçu cette action mutuelle, quoique le hasard eût, sans doute, placé très fréquemment, sous les yeux des physiciens, une aiguille aimantée à côté d'une pile galvanique. Il est clair, en principe, que ce

ne sont pas ordinairement les phénomènes qui manquent à nos découvertes, mais surtout les observateurs capables et convenablement disposés, prêts à démêler, dans la foule de circonstances qui affectent nos sens à chaque instant, les faits susceptibles d'une véritable signification scientifique. Suivant une autre explication plus rationnelle, quoique vicieusement systématique, cette grande découverte devrait uniquement son origine à des idées *à priori* sur l'identité nécessaire du magnétisme et de l'électricité, rattachées aux vaines hypothèses dont la nature intime de ces deux ordres de phénomènes a été le sujet. Mais, sans entreprendre l'analyse impossible de l'influence effective qu'ont pu avoir ces conceptions arbitraires sur la marche réelle d'un esprit qui en était préoccupé, il est évident que la simple comparaison générale des phénomènes devait conduire à soupçonner cette identité, comme paraît l'avoir fait M. Ørsted, long-temps avant qu'elle fût constatée. L'influence magnétique si prononcée de l'électricité atmosphérique, remarquée, dès l'origine de l'électrologie, dans tous les cas de vaisseaux frappés par la foudre, suffisait certainement, par exemple, pour indiquer, d'une manière générale, la relation fondamentale des deux sortes d'actions. On peut, ce me semble, plus judicieuse-

ment demander si, à cet égard, comme à tant d'autres, les systèmes illusoires n'ont pas, en réalité, contribué davantage à retarder cette importante découverte qu'à l'accélérer, en rapportant les deux ordres de phénomènes à des causes radicalement différentes, qui tendaient à faire méconnaître la valeur des analogies manifestées entre eux par l'observation rationnelle de plusieurs effets naturels, connus de tous les physiciens.

Quoi qu'il en soit de cette question philosophique, l'ensemble des expériences décisives imaginées par divers physiciens, dans la direction tracée par M. Ørsted, a mis entièrement hors de doute l'identité générale des effets magnétiques et électriques. La propriété la plus vulgaire des aimans, leur puissance attractive à l'égard du fer, a été constatée par M. Arago, pour les conducteurs voltaïques de nature quelconque. Ce même physicien a reconnu, dans une expérience capitale, la possibilité d'aimanter une aiguille d'acier en l'entourant d'un conducteur voltaïque plié en hélice, ou même en l'électrisant par des procédés ordinaires, indépendans de l'action galvanique; et ces nouveaux modes d'aimantation ont été ensuite l'objet d'un judicieux travail de M. Savary, qui en a exactement analysé toutes les circonstances

essentielles. Enfin, le plus important caractère des phénomènes magnétiques, la direction constante de l'aiguille aimantée, a été rattaché par M. Ampère à l'électrologie, aussitôt que cet illustre physicien eût fait la découverte fondamentale de l'action directrice exercée par la terre sur un conducteur voltaïque, dont le plan tend toujours à se placer perpendiculairement à la situation naturelle de l'aiguille aimantée. D'un autre côté, pour compléter un tel parallèle, la plupart des phénomènes électriques ordinaires ont pu être imités à l'aide des aimans; et M. Faraday est même parvenu jusqu'à produire ainsi de véritables étincelles électriques. En un mot, par la combinaison rationnelle de ces diverses séries d'observations nouvelles, M. Ampère a été justement conduit à représenter tous les phénomènes magnétiques comme fidèlement interprétés en concevant la surface d'un aimant quelconque recouverte d'une suite de circuits voltaïques fermés, perpendiculaires à son axe.

Dans cette belle théorie, il ne resterait essentiellement à expliquer qu'un seul caractère fondamental de la vertu magnétique, sa relation exclusive à un petit nombre de substances déterminées. Sans doute, il serait anti-scientifique de vouloir, à cet égard, remonter jusqu'à la propriété spéci-

fique primordiale ; de même qu'on ne saurait, par exemple, raisonnablement chercher pourquoi tel corps est un bon ou un mauvais conducteur de l'action électrique. Toutefois, en écartant cette enquête irrationnelle, il semble que, les phénomènes électriques étant, de leur nature, généraux, la doctrine électro-magnétique laissera quelque chose de capital à désirer, tant qu'on n'aura pas rattaché la constitution propre aux aimans à quelque autre condition électrique, susceptible de généralité. Le progrès continuel des observations, tend, il est vrai, à affaiblir chaque jour davantage la différence, primitivement absolue, entre les substances propres à l'aimantation, et celles qui ne le sont pas : et nous sommes aujourd'hui autorisés à penser qu'il n'existe, sous ce rapport, entre les divers corps naturels que de simples distinctions de degrés, qui, peut-être, ne nous paraissent aussi tranchées que par l'imperfection des moyens d'observation. Déjà Coulomb avait constaté des indices non équivoques, quoique très faibles, de l'état magnétique, dans un grand nombre de substances, réduites en minces filets : mais ces résultats avaient été alors généralement attribués à l'action de quelques particules ferrugineuses, dont l'absence ne pouvait être, à cette époque, irrécusablement garantie. Or, les

expériences électro-magnétiques ont conduit aujourd'hui à multiplier beaucoup le nombre des effets analogues, en même temps que le perfectionnement de l'analyse chimique a permis d'assurer que le fer n'avait aucune part à leur production. Nonobstant ces considérations subsidiaires, il demeure cependant incontestable que jusqu'ici on n'aperçoit de relation entre aucun caractère électrique des substances ferrugineuses et leur singulière prépondérance magnétique : il y a, sous ce rapport, dans l'électro-magnétisme actuel, une véritable lacune essentielle, qu'on ne doit pas dissimuler.

Pour faire entièrement rentrer dans la dynamique électrique ordinaire le phénomène fondamental de la direction propre à l'aiguille aimantée, il suffit de concevoir la terre, comme tout autre aimant, recouverte à sa surface d'une suite de circuits voltaïques, parallèles à l'équateur magnétique. M. Ampère a formé, sur l'origine d'un tel état électrique, une conjecture fort ingénieuse et même très philosophique, en l'attribuant, d'après l'action incontestable de la chaleur sur le développement de l'électricité, aux températures inégales et périodiquement variables des divers points de la surface terrestre. L'expérience capitale de M. Arago sur l'influence magnétique du mouve-

ment de rotation, porte d'ailleurs à penser que le mouvement diurne de la terre contribue vraisemblablement, d'une manière directe, à une semblable électrisation. Enfin, il y aurait peut-être lieu d'admettre aussi, comme sous le rapport thermologique, une certaine constitution électrique fondamentale, propre à l'ensemble de notre globe. Du reste, suivant l'esprit général et le plan de cet ouvrage, expliqués dès l'origine, il ne saurait être ici essentiellement question de ce qui concerne l'histoire naturelle du globe, quand même elle ne serait point encore, à tous égards, dans un état de véritable enfance. Je ne puis donc nullement envisager les lois relatives à la distribution du magnétisme à la surface de notre planète, dont l'étude, quoique fort imparfaite, constitue aujourd'hui une des plus intéressantes parties de la géographie physique. La théorie magnétique propre à la physique abstraite et générale, se borne, sous ce rapport, à caractériser exactement, et à assujettir à des mesures précises, les objets essentiels sur lesquels doit porter l'observation comparative des naturalistes, savoir : l'intensité relative de l'action magnétique, estimée d'après le nombre d'oscillations que l'aiguille aimantée exécute, en un temps donné, autour de sa position d'équilibre ; la direction de cette action, dé-

finie par les deux élémens rigoureusement appréciables, connus sous les noms de *déclinaison* et d'*inclinaison*, dont l'évaluation se fait aujourd'hui avec une grande justesse. On commence maintenant à entrevoir quelques lois empiriques sur diverses valeurs normales de ces deux angles dans les différens lieux, et l'on présume, par exemple, que la tangente de l'inclinaison est toujours double de celle de la latitude magnétique : mais cette recherche est à peine ébauchée, et présente même encore une notable incertitude. Il en est ainsi, à plus forte raison, des singulières variations périodiques, de plusieurs ordres de grandeur et de durée, qu'éprouve, en chaque lieu, la direction de l'aiguille aimantée, soit en déclinaison, soit en inclinaison, et qui paraissent jusqu'ici totalement inexplicables. Toutefois, je ne dois pas négliger de signaler à ce sujet, à cause de sa rationalité, l'heureuse tentative entreprise récemment par un célèbre navigateur, M. le capitaine Duperrey, pour rattacher l'ensemble de ces diverses variations aux changemens réguliers qu'éprouve l'état thermométrique du globe. Il serait fort désirable qu'une telle conception, pleinement en harmonie avec la théorie fondamentale de M. Ampère, fût finalement confirmée par une discussion judicieuse et approfondie du sys-