
LA LUMIÈRE
ET
L'ÉLECTRICITÉ

D'APRÈS
MAXWELL ET HERTZ.

NOTICE
DE M. POINCARÉ.

Au moment où les expériences de Fresnel forçaient tous les savants à admettre que la lumière est due aux vibrations d'un fluide très subtil, remplissant les espaces interplanétaires, les travaux d'Ampère faisaient connaître les lois des actions mutuelles des courants et fondaient l'Électrodynamique.

On n'avait qu'un pas à faire pour supposer que ce même fluide, l'éther, qui est la cause des phénomènes lumineux, est en même temps le véhicule des actions électriques; ce pas, l'imagination d'Ampère le fit; mais l'illustre physicien, en énonçant cette séduisante hypothèse, ne prévoyait sans doute pas qu'elle dût

si vite prendre une forme plus précise et recevoir un commencement de confirmation.

Ce ne fut là pourtant qu'un rêve sans consistance jusqu'au jour où les mesures électriques mirent en évidence un fait inattendu; voici ce fait qui a été rappelé par M. Cornu, dans le dernier *Annuaire*, à la fin de la lumineuse Notice que ce savant a consacrée à la définition des unités électriques. Pour passer du système d'unités électrostatiques au système d'unités électrodynamiques, on se sert d'un certain *facteur de transformation* dont je ne rappellerai pas la définition puisqu'on la trouve dans la Notice de M. Cornu. Ce facteur, que l'on appelle aussi le *rapport des unités*, est précisément égal à la vitesse de la lumière.

Les observations devinrent bientôt assez précises pour qu'on ne pût songer à attribuer cette concordance au hasard. On ne pouvait donc douter qu'il n'y eût certains rapports intimes entre les phénomènes optiques et les phénomènes électriques. Mais la nature de ces rapports nous échapperait peut-être encore si le génie de Maxwell ne l'avait devinée.

COURANTS DE DÉPLACEMENT.

Tout le monde sait que l'on peut répartir les corps en deux classes, les conducteurs où nous constatons des déplacements de l'électricité, c'est-à-dire des courants voltaïques, et les iso-

lants ou diélectriques. Pour les anciens électriciens, les diélectriques étaient purement inertes et leur rôle se bornait à s'opposer au passage de l'électricité. S'il en était ainsi, on pourrait remplacer un isolant quelconque par un isolant différent sans rien changer aux phénomènes. Les expériences de Faraday ont montré qu'il n'en est rien : deux condensateurs de même forme et de mêmes dimensions, mis en communication avec les mêmes sources d'électricité, ne prendront pas la même charge, bien que l'épaisseur de la lame isolante soit la même, si la *nature* de la matière isolante diffère. Maxwell avait fait une étude trop profonde des travaux de Faraday pour ne pas comprendre l'importance des diélectriques et la nécessité de leur restituer leur véritable rôle.

D'ailleurs, s'il est vrai que la lumière ne soit qu'un phénomène électrique, il faut bien, quand elle se propage à travers un corps isolant, que ce corps soit le siège de ce phénomène; il doit donc y avoir des phénomènes électriques localisés dans les diélectriques; mais quelle en peut être la nature? Maxwell répond hardiment : ce sont des courants.

Toute l'expérience de son temps semblait le contredire; on n'avait jamais observé de courant que dans les conducteurs. Comment Maxwell pouvait-il concilier son audacieuse hypothèse avec un fait si bien constaté? Pourquoi, dans certaines circonstances, ces courants

hypothétiques produisent-ils des effets manifestes et sont-ils absolument inobservables dans les conditions ordinaires ?

C'est que les diélectriques opposent au passage de l'électricité, non pas une résistance plus grande que les conducteurs, mais une résistance d'une autre nature. Une comparaison fera mieux comprendre la pensée de Maxwell.

Si l'on s'efforce de tendre un ressort, on rencontre une résistance qui va en croissant à mesure que le ressort se bande. Si donc on ne dispose que d'une force limitée, il arrivera un moment où, cette résistance ne pouvant plus être surmontée, le mouvement s'arrêtera et l'équilibre s'établira; enfin, quand la force cessera d'agir, le ressort restituera en se débandant tout le travail qu'on aura dépensé pour le bander.

Supposons au contraire qu'on veuille déplacer un corps plongé dans l'eau; ici encore on éprouvera une résistance, qui dépendra de la vitesse, mais qui cependant, si cette vitesse demeure constante, n'ira pas en croissant à mesure que le corps s'avancera; le mouvement pourra donc se prolonger tant que la force motrice agira et l'on n'atteindra jamais l'équilibre; enfin, quand la force disparaîtra, le corps ne tendra pas à revenir en arrière et le travail dépensé pour le faire avancer ne pourra être restitué; il aura tout entier été transformé en chaleur par la viscosité de l'eau.

Le contraste est manifeste, et il est nécessaire de distinguer la résistance *élastique* de la résistance *visqueuse*. Alors les diélectriques se comporteraient pour les mouvements de l'électricité comme les solides élastiques pour les mouvements matériels, tandis que les conducteurs se comporteraient comme les liquides visqueux. De là, deux catégories de courants : les courants de *déplacement* ou de Maxwell qui traversent les diélectriques et les courants ordinaires de *conduction* qui circulent dans les conducteurs.

Les premiers, ayant à surmonter une sorte de résistance *élastique*, ne pourraient être que de courte durée ; car, cette résistance croissant sans cesse, l'équilibre serait promptement établi.

Les courants de conduction, au contraire, devraient vaincre une sorte de résistance visqueuse et pourraient par conséquent se prolonger aussi longtemps que la force électromotrice qui leur donne naissance.

Reprenons la comparaison si commode que M. Cornu a empruntée à l'Hydraulique. Supposons que nous ayons dans un réservoir de l'eau sous pression ; mettons ce réservoir en communication avec un tuyau vertical : l'eau va y monter ; mais le mouvement s'arrêtera dès que l'équilibre hydrostatique sera atteint. Si le tuyau est large, il n'y aura pas de frottement ni de perte de charge, et l'eau ainsi élevée pourra être employée pour produire du

travail. Nous avons là l'image du courant de déplacement.

Si au contraire l'eau du réservoir s'écoule par un tuyau horizontal, le mouvement continuera tant que le réservoir ne sera pas vide ; mais, si le tuyau est étroit, il y aura une perte de travail considérable et une production de chaleur par le frottement ; nous avons là l'image du courant de conduction.

Bien qu'il soit impossible et quelque peu oiseux de chercher à se représenter tous les détails du mécanisme, on peut dire que tout se passe comme si les courants de déplacement avaient pour effet de bander une multitude de petits ressorts. Quand ces courants cessent, l'équilibre électrostatique est établi et ces ressorts sont d'autant plus tendus que le champ électrique est plus intense. Le travail accumulé dans ces ressorts, c'est-à-dire l'énergie électrostatique, peut être restitué intégralement dès qu'ils peuvent se débander ; c'est ainsi qu'on obtiendra du travail mécanique quand on laissera les conducteurs obéir aux *attractions électrostatiques*. Ces attractions seraient dues ainsi à la pression exercée sur les conducteurs par les ressorts bandés. Enfin, pour poursuivre la comparaison jusqu'au bout, il faudrait rapprocher la décharge disruptive de la rupture de quelques ressorts trop tendus.

Au contraire, le travail employé à produire des courants de conduction est perdu et tout entier transformé en chaleur, comme celui que

l'on dépense pour vaincre les frottements ou la viscosité des fluides. *C'est pour cela que les fils conducteurs s'échauffent.*

Dans la manière de voir de Maxwell, *il n'y a que des courants fermés.* Pour les anciens électriciens, il n'en était pas de même; ils regardaient comme fermé le courant qui circule dans un fil joignant les deux pôles d'une pile. Mais si, au lieu de réunir directement les deux pôles, on les met respectivement en communication avec les deux armatures d'un condensateur, le courant instantané qui dure jusqu'à ce que le condensateur soit chargé était considéré comme ouvert; il allait, pensait-on, d'une armature à l'autre à travers le fil de communication et la pile, et s'arrêtait à la surface de ces deux armatures. Maxwell, au contraire, suppose que le courant traverse, sous forme de courant de déplacement, la lame isolante qui sépare les deux armatures et qu'il se ferme ainsi complètement. La résistance élastique qu'il rencontre dans ce passage explique sa faible durée.

Les courants peuvent se manifester de trois manières : par leurs effets calorifiques, par leur action sur les aimants et les courants, par les courants induits auxquels ils donnent naissance. Nous avons vu plus haut pourquoi les courants de conduction développent de la chaleur et pourquoi les courants de déplacement n'en font pas naître. En revanche, d'après l'hypothèse de Maxwell, les courants qu'il

imagine doivent, comme les courants ordinaires, produire des effets électromagnétiques, électrodynamiques et inductifs.

Pourquoi ces effets n'ont-ils encore pu être mis en évidence? C'est parce qu'un courant de déplacement quelque peu intense ne peut durer longtemps, *dans le même sens*; car la tension de nos ressorts, sans cesse croissante, l'arrêterait bientôt. Il ne peut donc y avoir dans les diélectriques, ni courant continu de longue durée, ni courant alternatif sensible de longue période. Les effets deviendront au contraire observables si l'alternance est très rapide.

NATURE DE LA LUMIÈRE.

C'est là, d'après Maxwell, l'origine de la lumière; une onde lumineuse est une suite de courants alternatifs qui se produisent dans les diélectriques et même dans l'air ou le vide interplanétaire et qui changent de sens un quadrillion de fois par seconde. L'induction énorme due à ces alternances fréquentes produit d'autres courants dans les parties voisines des diélectriques, et c'est ainsi que les ondes lumineuses se propagent de proche en proche. Le calcul montre que la vitesse de propagation est égale au *rapport des unités*, c'est-à-dire à la vitesse de la lumière.

Ces courants alternatifs sont des espèces de vibrations électriques; mais ces vibrations sont-elles longitudinales comme celles du son, ou

transversales comme celles de l'éther de Fresnel? Dans le cas du son, l'air subit des condensations et des raréfactions alternatives. Au contraire, l'éther de Fresnel se comporte dans ses vibrations comme s'il était formé de couches incompressibles susceptibles seulement de glisser l'une sur l'autre. S'il y avait des courants *ouverts*, l'électricité se portant d'un bout à l'autre d'un de ces courants s'accumulerait à l'une des extrémités; elle se condenserait ou se raréfierait comme l'air, ses vibrations seraient longitudinales. Mais Maxwell n'admet que des courants fermés; cette accumulation est impossible et l'électricité se comporte comme l'éther incompressible de Fresnel ses vibrations sont transversales

VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE.

Ainsi nous retrouvons tous les résultats de la théorie des ondes. Ce n'était pas assez pourtant pour que les physiciens, séduits plutôt que convaincus, se décidassent à adopter les idées de Maxwell; tout ce qu'on pouvait dire en leur faveur, c'est qu'elles n'étaient en contradiction avec aucun des faits observés, et que c'eût été bien dommage qu'elles ne fussent pas vraies. Mais la confirmation expérimentale manquait: elle devait se faire attendre vingt-cinq ans.

Il fallait trouver, entre la théorie ancienne et celle de Maxwell, une divergence qui ne fût pas trop délicate pour nos grossiers moyens

d'investigation. Il n'y en avait qu'une dont on pût tirer un *experimentum crucis*.

L'ancienne Électrodynamique exige que l'induction électromagnétique se produise instantanément; d'après la doctrine nouvelle, elle doit au contraire se propager avec la vitesse de la lumière.

Il s'agit donc de mesurer ou au moins de constater la vitesse de propagation des effets inductifs; c'est ce qu'a fait l'illustre physicien allemand Hertz par la méthode des interférences.

Cette méthode est bien connue par ses applications aux phénomènes optiques. Deux rayons lumineux issus de la même source interfèrent quand ils aboutissent au même point après avoir suivi des chemins différents. Si la différence de ces chemins est égale à une longueur d'onde, c'est-à-dire au chemin parcouru pendant une période, ou à un nombre entier de longueurs d'onde, l'une des vibrations est en retard sur l'autre d'un nombre entier de périodes; les deux vibrations en sont donc à la même phase, elles sont de même sens et s'ajoutent. Si, au contraire, la différence de marche des deux rayons est égale à un nombre impair de demi-longueurs d'onde, les deux vibrations sont de sens contraire et se retranchent l'une de l'autre.

Les ondes lumineuses ne sont pas seules susceptibles d'interférence; tout phénomène périodique et alternatif se propageant avec une

vitesse finie produira des effets analogues. C'est ce qui arrive pour le son, c'est ce qui doit arriver aussi pour l'induction électrodynamique, si la vitesse de propagation en est finie; si au contraire cette propagation était instantanée, il n'y aurait pas d'interférence.

Mais on ne pourrait mettre ces interférences en évidence si la longueur d'onde était plus grande que les salles des laboratoires, plus grande que l'espace que l'induction peut franchir sans trop s'affaiblir. Il faut donc des courants de période très courte.

EXCITATEURS ÉLECTRIQUES.

Voyons d'abord comment on peut les obtenir à l'aide d'un appareil qui est un véritable *pendule électrique*. Supposons deux conducteurs réunis par un fil: s'ils ne sont pas au même potentiel, l'équilibre électrique est rompu; de même que l'équilibre mécanique est dérangé, quand un pendule est écarté de la verticale. Dans un cas comme dans l'autre, l'équilibre tend à se rétablir.

Un courant circule dans le fil et tend à égaliser le potentiel des deux conducteurs, de même que le pendule se rapproche de la verticale. Mais le pendule ne s'arrêtera pas dans sa position d'équilibre; ayant acquis une certaine vitesse, il va, grâce à son inertie, dépasser cette position. De même, quand nos conducteurs seront déchargés, l'équilibre

électrique momentanément rétabli ne se maintiendra pas et sera aussitôt détruit par une cause analogue à l'inertie : cette cause c'est la *self-induction*. On sait que quand un courant cesse, il fait naître dans les fils voisins un courant induit de même sens. Le même effet se produit dans le fil même où circulait le courant inducteur qui se trouve ainsi pour ainsi dire continué par le courant induit.

En d'autres termes, un courant persistera après la disparition de la cause qui l'a fait naître, de même qu'un mobile ne s'arrête pas quand la force qui l'avait mis en mouvement cesse d'agir.

Quand les deux potentiels seront devenus égaux, le courant continuera donc dans le même sens et fera prendre aux deux conducteurs des charges opposées à celles qu'ils avaient d'abord.

Dans ce cas comme dans celui du pendule, la position de l'équilibre est dépassée : il faut, pour le rétablir, revenir en arrière.

Quand l'équilibre est atteint de nouveau, la même cause le rompt aussitôt et les oscillations se poursuivent sans cesse.

Le calcul montre que la période dépend de la capacité des conducteurs ; il suffit donc de diminuer suffisamment cette capacité, ce qui est facile, pour avoir un *pendule électrique* susceptible de produire des courants d'alternance extrêmement rapide.

Tout cela était bien connu par les théories

de Lord Kelvin et par les expériences de Feddersen sur la décharge oscillante de la bouteille de Leyde. Ce n'est donc pas ce qui constitue l'idée originale de Hertz.

Mais il ne suffit pas de construire un pendule, il faut encore le mettre en mouvement. Pour cela, il faut qu'une cause quelconque l'écarte de sa position d'équilibre, puis qu'elle cesse d'agir brusquement, je veux dire *dans un temps très court par rapport à la durée d'une période*; sans cela il n'oscillera pas.

Si, avec la main, par exemple, on écarte un pendule de la verticale, puis, qu'au lieu de le lâcher tout à coup, on laisse le bras se détendre lentement sans desserrer les doigts, le pendule, toujours soutenu, arrivera sans vitesse à sa position d'équilibre et ne la dépassera pas.

On conçoit donc que, avec des périodes d'un cent-millionième de seconde, aucun système de déclenchement mécanique ne pourrait fonctionner, quelque rapide qu'il puisse nous paraître par rapport à nos unités de temps habituelles. Voici comment Hertz a résolu le problème.

Reprenons notre pendule électrique, et pratiquons dans le fil qui joint les deux conducteurs une coupure de quelques millimètres. Cette coupure partage notre appareil en deux moitiés symétriques que nous mettrons en communication avec les deux pôles d'une bobine de Ruhmkorff. Le courant induit va charger nos deux conducteurs et la différence de leur potentiel va croître avec une lenteur relative.

D'abord, la coupure empêchera les conducteurs de se décharger; l'air qui s'y trouve joue le rôle d'isolant et maintient notre pendule écarté de sa position d'équilibre.

Mais quand la différence de potentiel sera assez grande, l'étincelle de la bobine éclatera et frayera un chemin à l'électricité accumulée sur les conducteurs. La coupure cessera tout à coup d'isoler et, par une sorte de déclenchement électrique, notre pendule sera délivré de la cause qui l'empêchait de retourner à l'équilibre. Si des conditions assez complexes, bien étudiées par Hertz, sont remplies, ce déclenchement est assez brusque pour que les oscillations se produisent.

Cet appareil appelé *excitateur* produit des courants qui changent de sens de cent millions à un milliard de fois par seconde. Grâce à cette fréquence extrême, ils peuvent produire des effets d'induction à grande distance. Pour mettre ces effets en évidence, on se sert d'un autre pendule électrique nommé *résonateur*. Dans ce nouveau pendule, la coupure du milieu et la bobine qui ne servent qu'au déclenchement sont supprimées; les deux conducteurs se réduisent à deux très petites sphères et le fil est recourbé en cercle de manière à rapprocher les deux sphères l'une de l'autre.

L'induction due à l'excitateur mettra ce résonateur en vibration, d'autant plus facilement que les périodes seront moins différentes. A certaines phases de la vibration, la différence

de potentiel des deux sphères sera assez grande pour que des étincelles jaillissent.

PRODUCTION DES INTERFÉRENCES.

On a ainsi un instrument qui met en évidence les effets de l'onde d'induction partie de l'excitateur. On peut faire cette étude de deux manières : ou bien exposer le résonateur à l'induction directe de l'excitateur à grande distance ; ou bien faire agir cette induction à petite distance sur un long fil conducteur que l'onde électrique va suivre et qui agira à son tour par induction à petite distance sur le résonateur.

Que l'onde se propage le long d'un fil ou à travers l'air, on peut produire des interférences par réflexion. Dans le premier cas, elle se réfléchira à l'extrémité du fil qu'elle suivra de nouveau en sens inverse ; dans le second, elle pourra se réfléchir sur une feuille métallique qui fera office de miroir. Dans les deux cas, l'onde réfléchie interférera avec l'onde directe et l'on trouvera des positions où l'étincelle du résonateur s'éteindra.

Les expériences faites avec le long fil sont plus faciles, elles nous fournissent beaucoup de renseignements précieux, mais elles ne sauraient servir d'*experimentum crucis*, car, dans l'ancienne théorie comme dans la nouvelle, la vitesse de l'onde électrique le long d'un fil doit être égale à celle de la lumière. Les expériences sur l'induction directe à

grande distance sont au contraire décisives. Elles montrent que non seulement la vitesse de propagation de l'induction à travers l'air est finie, mais qu'elle est égale à la vitesse de l'onde propagée le long d'un fil, conformément aux idées de Maxwell.

SYNTHÈSE DE LA LUMIÈRE.

J'insisterai moins sur d'autres expériences de Hertz, plus brillantes, mais moins instructives. Concentrant avec un miroir parabolique l'onde d'induction émanée de l'excitateur, le savant allemand obtient un véritable faisceau de rayons de force électrique, susceptibles de se réfléchir et de se réfracter régulièrement. Les rayons, si la période, déjà si petite, était un million de fois plus courte encore, ne différeraient pas des rayons lumineux. On sait que le soleil nous envoie plusieurs sortes de radiations, les unes lumineuses parce qu'elles agissent sur la rétine, les autres obscures, ultraviolettes ou infrarouges, qui se manifestent par leurs effets chimiques ou calorifiques. Les premières ne doivent leurs qualités qui nous les font paraître d'une autre nature, qu'à une sorte de hasard physiologique. Pour le physicien, l'infrarouge ne diffère pas plus du rouge que le rouge du vert ; la longueur d'onde est seulement plus grande ; celle des radiations hertziennes est beaucoup plus grande encore, mais il n'y a là que des différences de degré

et l'on peut dire, si les idées de Maxwell sont vraies, que l'illustre professeur de Bonn a réalisé une véritable *synthèse de la lumière*.

CONCLUSIONS.

Il ne faut pas cependant que notre admiration pour tant de succès inespérés nous fasse oublier les progrès qui restent à accomplir. Cherchons donc à nous rendre compte exactement des résultats qui sont définitivement acquis.

D'abord la vitesse de l'induction directe à travers l'air est finie, sans quoi les interférences seraient impossibles. *L'ancienne électrodynamique est donc condamnée*. Que doit-on mettre à la place? Est-ce la doctrine de Maxwell (ou au moins quelque chose d'approchant, car on ne saurait demander à la divination du savant anglais d'avoir prévu la vérité dans tous ses détails)? Bien que les probabilités s'accumulent, la démonstration complète n'est pas encore faite.

Nous pouvons mesurer la longueur d'onde des oscillations hertziennes; cette longueur est le produit de la période par la vitesse de propagation. Nous connaissons donc cette vitesse si nous connaissons la période; mais cette dernière est si petite que nous ne pouvons la mesurer: nous pouvons seulement la calculer par une formule due à Lord Kelvin. Ce calcul conduit à des chiffres qui sont d'accord avec la théorie de Maxwell; mais les derniers doutes

ne seront dissipés que quand la vitesse de propagation aura été directement mesurée.

Ce n'est pas tout, les choses sont loin d'être aussi simples qu'on pourrait le croire d'après ce court exposé. Diverses circonstances viennent les compliquer.

D'abord il y a autour de l'excitateur un véritable rayonnement d'induction : l'énergie de cet appareil *rayonne* donc au dehors et, comme aucune source ne vient l'alimenter, elle ne tarde pas à se dissiper et les oscillations s'éteignent rapidement. C'est là qu'on doit chercher l'explication du phénomène de la *résonance multiple* qui a été découvert par MM. Sarasin et de la Rive et qui avait d'abord paru inconciliable avec la théorie.

D'autre part, on sait que la lumière ne suit pas exactement les lois de l'Optique géométrique, et l'écart, qui produit la *diffraction*, est d'autant plus considérable que la longueur d'onde est plus grande. Avec les grandes longueurs des ondulations hertziennes, ces phénomènes doivent prendre une importance énorme et tout troubler. Sans doute il est heureux, pour le moment du moins, que nos moyens d'observation soient si grossiers, sans quoi la simplicité qui nous a séduits au premier abord, ferait place à un dédale où nous ne pourrions nous reconnaître. C'est de là probablement que proviennent diverses anomalies que l'on n'a pu expliquer jusqu'ici. C'est aussi pour cette raison que les expériences sur la réfraction des

rayons de force électrique n'ont, comme je l'ai dit plus haut, que peu de valeur démonstrative.

Il reste une difficulté qui est plus grave, mais qui n'est sans doute pas insurmontable. D'après Maxwell, le coefficient d'induction électrostatique d'un corps transparent devrait être égal au carré de son indice de réfraction. Il n'en est rien, les corps qui suivent la loi de Maxwell sont des exceptions. On est évidemment en présence de phénomènes beaucoup plus complexes qu'on ne le croyait d'abord; mais on n'a encore pu rien débrouiller et les expériences elles-mêmes sont contradictoires.

Il reste donc beaucoup à faire; l'identité de la lumière et de l'électricité est dès aujourd'hui autre chose qu'une hypothèse séduisante: c'est une vérité probable, mais ce n'est pas encore une vérité démontrée.

NOTE I.

Depuis que ces lignes ont été écrites, un grand pas a été fait. M. Blondlot est en effet parvenu, grâce à d'ingénieuses dispositions expérimentales, à mesurer *directement* la vitesse d'une perturbation qui se propage le long d'un fil. Le nombre trouvé diffère peu du rapport des unités, c'est-à-dire de la vitesse de la lumière, qui est de $300\,000^{\text{km}}$ par seconde. Comme les expériences d'interférence faites à Genève par MM. Sarasin et de la Rive ont montré, ainsi que je l'ai dit plus haut, que l'induction se propage à travers l'air avec la même vitesse qu'une perturbation électrique qui suit un fil conducteur, nous devons conclure que la vitesse de l'induction est la même

que celle de la lumière, ce qui est une confirmation des idées de Maxwell.

M. Fizeau avait trouvé autrefois, pour la vitesse de l'électricité, un nombre beaucoup plus faible, 180 000^{km} environ. Il n'y a là aucune contradiction; les phénomènes observés étaient en effet très différents. Les courants dont se servait M. Fizeau étaient intermittents, mais de faible fréquence; *ils pénétraient jusqu'à l'axe du fil*; les courants de M. Blondlot, alternatifs et de période très courte, restaient *superficiels* et confinés dans une couche mince de moins d'un centième de millimètre d'épaisseur. On conçoit que les lois de la propagation ne soient pas les mêmes dans les deux cas.

NOTE II.

J'ai cherché plus haut à faire comprendre, par une comparaison, l'explication des attractions électrostatiques et des phénomènes d'induction; voyons maintenant quelle idée se fait Maxwell de la cause qui produit les attractions mutuelles des courants.

Tandis que les attractions électrostatiques seraient dues à la tension d'une multitude de petits ressorts, ou, en d'autres termes, à l'élasticité de l'éther, ce seraient la force vive et l'inertie de ce fluide qui produiraient les phénomènes d'induction et les actions électrodynamiques.

Le calcul complet est beaucoup trop long pour trouver place ici, et je me contenterai encore d'une comparaison. Je l'emprunterai à un appareil bien connu, le régulateur à force centrifuge.

La force vive de cet appareil est proportionnelle au carré de la vitesse angulaire de rotation et au carré de l'écartement des boules.

D'après l'hypothèse de Maxwell, l'éther est en

mouvement dès qu'il y a des courants voltaïques, et sa force vive est proportionnelle au carré de l'intensité de ces courants, qui correspond ainsi, dans le parallèle que je cherche à établir, à la vitesse angulaire de rotation.

Si nous considérons deux courants de même sens, cette force vive, à intensité égale, sera d'autant plus grande que les courants seront plus rapprochés; si les courants sont de sens contraire, elle sera d'autant plus grande qu'ils seront plus éloignés.

Cela posé, poursuivons notre comparaison.

Pour augmenter la vitesse angulaire du régulateur, et par conséquent sa force vive, il faut lui fournir du travail, et surmonter par conséquent une résistance que l'on appelle son *inertie*.

De même, augmenter l'intensité des courants, c'est augmenter la force vive de l'éther; et il faudra pour le faire fournir du travail et surmonter une résistance, qui n'est autre chose que l'inertie de l'éther, et que l'on appelle l'*induction*.

La force vive sera plus grande si les courants sont de même sens et rapprochés; le travail à fournir et la force contre-électromotrice d'induction seront donc plus grands. C'est ce que l'on exprime, dans le langage ordinaire, en disant que l'induction mutuelle des deux courants s'ajoute à leur self-induction. C'est le contraire si les deux courants sont de sens opposé.

Si l'on écarte les boules du régulateur, il faudra, pour maintenir la vitesse angulaire, fournir du travail, parce que, à vitesse angulaire égale, la force vive est d'autant plus grande que les boules sont plus écartées.

De même, si deux courants sont de même sens et qu'on les rapproche, il faudra, pour maintenir l'intensité, fournir du travail, puisque la force vive augmentera. On aura donc à surmonter une force élec-

tromotrice d'induction qui tendrait à diminuer l'intensité des courants. Elle tendrait au contraire à l'augmenter, si les courants étaient de même sens et qu'on les éloignât, ou s'ils étaient de sens contraire et qu'on les rapprochât.

Enfin, la force centrifuge tend à écarter les boules, *ce qui aurait pour effet d'augmenter la force vive si l'on maintient la vitesse angulaire constante.*

De même, quand les courants sont de même sens, ils *s'attirent*, c'est-à-dire qu'ils tendent à se rapprocher, *ce qui aurait pour effet d'augmenter la force vive si l'on maintient l'intensité constante.* S'ils sont de sens contraire, ils se repoussent et tendent à s'éloigner, ce qui aurait encore pour effet d'augmenter la force vive à intensité constante.

Ainsi les phénomènes électrostatiques seraient dus à l'élasticité de l'éther, et les phénomènes électrodynamiques à sa force vive. Maintenant, cette élasticité elle-même devrait-elle s'expliquer, comme le pense lord Kelvin, par des rotations de très petites parties de fluide? Diverses raisons peuvent rendre cette hypothèse séduisante, mais elle ne joue aucun rôle essentiel dans la théorie de Maxwell, qui en est indépendante.

De même, j'ai fait des comparaisons avec divers mécanismes. Mais ce ne sont que des comparaisons, et même assez grossières. Il ne faut pas, en effet, chercher dans le livre de Maxwell une explication mécanique complète des phénomènes électriques, mais seulement l'exposé des conditions auxquelles toute explication doit satisfaire. Et ce qui fait justement que l'œuvre de Maxwell sera probablement durable, c'est qu'elle est indépendante de toute explication particulière.