

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΡΕΥΝΩΝ ΝΕΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ  
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Θ. ΠΕΤΣΙΟΣ

## CHAPITRE VI.

# LA THÉORIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE LA LUMIÈRE

---

### § 1. — Lumière et électricité.

Nous avons vu comment Fresnel fit triompher la théorie des ondulations. On a vu que son grand titre de gloire est d'avoir affirmé nettement la nécessité des vibrations transversales, et que les radiations monochromatiques sont indispensables pour l'explication des phénomènes de polarisation.

La théorie de Maxwell ne fut qu'un renforcement des hypothèses de Fresnel ; l'éther élastique devient seulement l'éther électromagnétique et toute la théorie mathématique édiflée au sujet des ondes subsiste intégralement. Le résultat de sa théorie fut d'assujettir l'optique à devenir un simple chapitre de l'électromagnétisme.

Fresnel avait fait admettre que la propagation des vibrations du fluide éthéré donne la lumière et toutes les radiations. Les savants se sont longtemps maintenus à cette simple hypothèse car les seules modifications d'un milieu envisagées à cette époque étaient les déformations élastiques. Faraday (1791-1867), après

les travaux d'Ampère (1775-1836), en électricité faisant connaître les lois des actions mutuelles des courants et fondant de ce fait l'électrodynamique, habitua les physiciens à envisager chaque milieu comme étant le siège d'un champ électrique et d'un champ magnétique.

Rejetant la notion d'action immédiate à distance dont se contentaient les mathématiciens il acceptait l'idée que la substance qui transmet les influences magnétiques est un diélectrique, faisant ressortir ainsi le rôle important joué par le milieu. Les vues de Faraday sur l'éther remplissant l'espace furent sans aucun doute influencées par celles de son prédécesseur Thomas Young, qui, lui-même, devait beaucoup à Newton. Faraday cependant était si profondément plongé dans l'étude des phénomènes qu'il ne pouvait s'empêcher de se former des idées personnelles. Il insistait avec force sur l'importance de ce qu'on appelle l'espace vide touchant et enveloppant les corps électrisés ou aimantés. On peut dire qu'il fut le premier à apercevoir clairement l'importance du rôle joué par le vide dans tous les phénomènes et à démontrer qu'un corps qui agit à distance le fait en modifiant le milieu tout autour de lui. L'introduction d'une matière pondérable dans l'espace ne fait que modifier ou peut-être aider à nous représenter ce qui occupait cet espace auparavant. Pour expliquer le magnétisme, il reconnaît la nécessité d'admettre que certaines substances ont plus de perméabilité, comme nous le dirions maintenant, que l'espace vide. Il compare les lignes de force aux rayons lumineux et il ne peut accepter l'idée qu'un aimant dans le vide soit dans un état « d'obscurité magnétique ».

« L'existence d'une vitesse finie de propagation dans  
« le milieu considéré était implicitement contenue dans  
« ses conceptions limitées d'abord aux phénomènes élec-  
« triques et magnétiques » (1).

C'est l'identité du nombre mesurant la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques avec la valeur de la vitesse de la lumière qui fit entrevoir à J. C. Maxwell (1831-1879) certains rapports intimes entre les phénomènes optiques et les phénomènes électriques. Son génie devina la nature de ces rapports.

Voyons comment il y est arrivé, et pour cela ramenons sa théorie électromagnétique de la lumière à la place que nous lui avons assignée ci-dessus, qui est celle d'un simple chapitre de l'électromagnétisme. Il nous sera plus facile ainsi de voir le processus qui amena Maxwell à la formuler.

La préface de la première édition de son *Traité d'Electricité et de Magnétisme* (2) est particulièrement intéressante à ce sujet. Le but qu'il se propose dans cet ouvrage est de décrire les phénomènes les plus importants d'électricité et de magnétisme, ensuite de montrer qu'ils sont mesurables, et de rechercher les relations qui lient les grandeurs mesurées. Après avoir fait cette théorie de l'électromagnétisme, il s'efforcera d'établir « les rapports qui existent entre les formes mathématiques de cette théorie et celles de la science fondamentale de la dynamique » (3).

1. P. LANGEVIN, *La Physique depuis vingt ans*. Paris, 1923, G. Doin, p. 159.

2. J. C. MAXWELL, *Traité d'Electricité et de Magnétisme*, trad. de G. Seligmann-Louis. Gautier-Villars, Paris, 1885.

3. MAXWELL, *op. cit.*, p. 9 et 10.

Maxwell ajoute d'ailleurs que nous serons ainsi « dans  
« une certaine mesure préparés à définir la nature des  
« phénomènes dynamiques parmi lesquels nous devons  
« chercher des analogies ou des explications des phéno-  
« mènes électromagnétiques », et plus loin que : dans  
« les efforts faits pour réduire l'électromagnétisme à  
« ne plus être qu'une science dynamique on a réalisé  
« quelques progrès; on a fait voir qu'aucun phénomène  
« électromagnétique ne contredit l'hypothèse qu'il dé-  
« pend d'une action purement dynamique » (1).

L'ambition de Maxwell est donc de trouver une expli-  
cation mécanique des phénomènes électromagnétiques.  
Nous verrons par la suite l'attitude de la science mo-  
derne devant cette aspiration qui fut d'ailleurs celle de  
tout le XIX<sup>e</sup> siècle.

Comme nous l'avons vu, Faraday envisage un « mi-  
lieu ». Les mathématiciens font appel aux actions à dis-  
tance ; Maxwell, lui, affirme qu'il envisage les choses  
d'une autre façon. Il y a une autre manière d'expli-  
quer les phénomènes qui, à son avis, s'adapte mieux à  
l'état des connaissances de son époque « autant par ce  
qu'elle affirme que par ce qu'elle laisse indécis ». On sent  
par là combien il se rapproche de Faraday et, comme  
le dit Poincaré, que sa « préoccupation constante est de  
« trouver une explication des phénomènes électro-  
« magnétiques, généralement attribués à des actions  
« s'exerçant à distance, par le mouvement d'un fluide  
« hypothétique remplissant l'espace » (2).

Il pourra sembler que nous nous étendons trop lon-

1. MAXWELL, *op. cit.*, p. 11.

2. POINCARÉ, *Électricité et Optique*. Paris, Carré et Naud, 1901, p. 155.

guement sur un sujet que l'on jugera peut-être en dehors de la question qui nous occupe : Les théories de la Lumière. Mais, comme nous l'avons déjà dit, pour comprendre la théorie électromagnétique de la lumière et en bien saisir toute la portée, il est indispensable de placer cette théorie dans le cadre de la théorie générale de l'électromagnétisme dont elle n'est en somme qu'un aspect.

Il nous est donc facile maintenant d'exposer ce qu'est la « théorie électromagnétique de la lumière » proprement dite, et nous ne pouvons mieux faire pour en bien montrer l'objet que de citer Maxwell : « En plusieurs « pages de ce traité on a tenté d'expliquer les phéno- « mènes électromagnétiques par une action mécanique « transmise d'un corps à un autre par l'intermédiaire « d'un milieu. La théorie ondulatoire de la lumière sup- « pose aussi l'existence d'un milieu. Nous avons main- « tenant à montrer que le milieu électromagnétique a « des propriétés identiques à celles du milieu où se pro- « page la lumière » (1). Il s'explique par la suite ainsi : « Remplir l'espace d'un nouveau milieu toutes les fois « que l'on doit expliquer un nouveau phénomène ne « serait point un procédé bien philosophique. Au con- « traire, si, étant arrivé indépendamment par l'étude « de deux branches différentes de la science à l'hypo- « thèse d'un milieu, les propriétés qu'il faut attribuer « à ce milieu pour rendre compte des phénomènes élec- « tromagnétiques se trouvent être de la même nature « que celles que nous devons attribuer à l'éther lumi-

1. MAXWELL, *op. cit.*, § 781.

« neux pour expliquer les phénomènes de la lumière, « nos raisons de croire à l'existence physique d'un pareil milieu se trouveront ainsi confirmées » (1).

Examinons maintenant les considérations théoriques qui ont permis de soupçonner d'abord, puis d'affirmer l'identité de ces deux milieux ; l'éther de l'optique ondulatoire de Huygens, Fresnel, Young, Green, et l'éther de l'électromagnétisme de Faraday et de Maxwell.

## § 2. — Le transport de l'énergie lumineuse.

Ce transport ne fait aucun doute ; un corps quelconque s'échauffe en recevant la lumière d'un corps lumineux. Mais il s'écoule un certain temps entre l'instant où la lumière quitte le corps lumineux et celui où elle atteint le corps éclairé, puisque sa vitesse a une valeur finie ; la lumière existe donc pendant cet intervalle à l'état d'énergie dans l'espace intermédiaire. Voyons quelles sont les formes de cette énergie et comment est assuré son transport.

Dans la théorie de l'émission, rien n'est plus simple ; ce sont les particules de lumière elles-mêmes qui se déplacent. Dans la théorie des ondulations c'est le milieu, l'éther, qui assure cette transmission. Deux formes d'énergie sont alors envisagées : *a*) L'énergie potentielle due à l'élasticité de l'éther ; *b*) L'énergie cinétique due au mouvement vibratoire de cet éther (d'où la nécessité d'une densité finie de ce milieu).

Dans la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell

1. *Ibid.*, § 781 (cité par H. Poincaré, *op cit.*, p. 156).

coexistent aussi deux formes d'énergie : a) L'énergie électrostatique correspondant à l'énergie potentielle ; b) L'énergie électromagnétique qui correspond à l'énergie cinétique.

Ces deux formes d'énergie ont d'ailleurs « leur siège « non seulement sur les corps électrisés ou aimantés « mais en tout point de l'espace environnant où l'on « observe une action de la force électrique ou magnétique » (1).

Ici apparaît la nécessité de faire appel à des courants qui transmettent les actions électromagnétiques non seulement dans des conducteurs mais encore dans les diélectriques, dans l'air, dans le vide, et ceci est plus difficile à admettre. Maxwell a donné à ces courants particuliers d'une si grande importance le nom de « courants de déplacement ».

La théorie générale de l'électromagnétisme nous apprend que l'éther peut être le siège d'un champ électrique et d'un champ magnétique dont les grandeurs instantanées sont bien déterminées en chaque point. Ces deux champs ne sont pas indépendants et l'un d'eux ne peut exister seul qu'à la condition de ne pas varier. Les variations d'intensité ou de direction du champ magnétique donnent naissance à des forces électromotrices engendrant ces courants de déplacement. Ceux-ci sont analogues aux courants de conduction et produisent de même des champs magnétiques et des phénomènes d'induction. « Une perturbation électromagnétique, par exemple celle que l'on peut engendrer en imprimant à

1. MAXWELL, *op. cit.*, p. 781.

une charge électrique un mouvement d'oscillation rapide, correspond à la production d'un champ électrique et d'un champ magnétique perpendiculaires l'un à l'autre et tous deux perpendiculaires à la direction de propagation ; de plus, ces deux champs ont des intensités telles qu'ils représentent en un même point, dans le vide, la même énergie par unité de volume » (1).

Maxwell introduit la notion vectorielle du flux d'induction à travers une surface et s'en sert pour donner de la charge électrique une définition purement mathématique qui est celle d'une grandeur proportionnelle au flux sortant de la surface renfermant la charge considérée.

Aux deux champs électrique et magnétique envisagés viennent se greffer deux constantes appelées, l'une constante diélectrique, l'autre perméabilité, l'énergie localisée dans le milieu étant proportionnelle à ces deux quantités et au carré des champs correspondants. Les deux relations corrélatives établies mathématiquement par Maxwell, l'une exprimant la dépendance naturelle des deux champs, l'autre donnant la loi du courant de déplacement, forment la base de toute la théorie électromagnétique, théorie qui a fait dire à Boltzmann : « Est-ce un Dieu qui a écrit ces lignes ? »

Les calculs de cette théorie ont fourni un résultat d'une importance évidente, savoir que le quotient de l'unité électromagnétique de courant par l'unité électrostatique est égal à la vitesse de propagation des perturbations électromagnétiques dans le vide, perturba-

1. G. CASTELFRANCHI, *Physique Moderne*, trad. par M. A. Qemper de Lanascot. Paris, Blanchard, 1930. p. 54.



tions qu'il nous est facile de concevoir comme résultat de la génération des deux champs se déplaçant de proche en proche, et dont la théorie électromagnétique permet de prévoir la vitesse.

Or, avant Maxwell, on avait procédé à la mesure directe de la vitesse de la lumière et Fizeau, en 1849, avait publié dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences les résultats de ses premières mesures. D'autre part celles de Weber et Kohlraush en 1854 fournissent le rapport des unités électromagnétiques et électrostatiques. Ils avaient mesuré à l'aide d'un électromètre la charge d'un condensateur en unités électrostatiques et ensuite avaient évalué cette même quantité en unités électromagnétiques au moyen d'un galvanomètre balistique. De la confrontation de ces mesures il résulta qu'aux erreurs d'expérience près, le rapport des unités coïncidait avec la vitesse de la lumière. Cette concordance amena naturellement Maxwell à identifier les perturbations électromagnétiques et les perturbations lumineuses. Il établit par là même que les vibrations de la lumière sont des vibrations électromagnétiques.

Le parallélisme entre la lumière et l'onde électromagnétique, établi si brillamment et de nature si séduisante, ne suffisait cependant pas pour convaincre les physiciens de l'identité absolue des deux phénomènes ; il manquait « une expérience cruciale » suivant l'expression de Claude Bernard pour décider une fois pour toutes de la réalité ou de la non réalité de cette hypothèse.

### § 3. — Les vérifications de la théorie électromagnétique.

La confirmation des résultats de Maxwell ne se fit que 25 ans plus tard, et fut la gloire de Henri Hertz (1857-1894). Celui-ci, en effet, donna le principe et tenta la mise en œuvre de cette vérification que la maladie l'empêcha de mener à bonne fin. Ses expériences célèbres commencées en 1887 au Polytechnikum de Karlsruhe ne donnèrent pas de résultats définitifs. Cependant nous croyons utile de dire quelques mots à leur sujet.

Guidé par les résultats des expériences de Feddersen qui avait pu obtenir en 1861 des périodes de l'ordre du dix millième de seconde, Hertz parvint à produire facilement au moyen d'un dispositif expérimental resté célèbre, des ondes d'un mètre et de mesurer leur longueur. Ces expériences reprises dans de meilleures conditions par MM. Sarasin et de la Rive en 1891 à Genève, vinrent enfin fournir la preuve attendue ; l'onde électromagnétique se propage dans l'air avec la même vitesse que la lumière. L'identité des phénomènes lumineux et électriques se trouvait donc établie. L'analogie du reste était complète et les deux sortes d'ondes n'ont pas en commun seulement la vitesse de propagation. Hertz lui-même démontra l'existence de la réflexion et de la réfraction des ondes électromagnétiques et produisit des ondes stationnaires pouvant être rapprochées des franges lumineuses obtenues avec un seul miroir. D'autres travaux admirables furent ceux du physicien italien Righi, qui établirent définitivement

l'identité des deux sortes d'ondes. Nous insistons sur ce point que la vérification de la théorie de Maxwell établit l'identité des phénomènes de l'optique et des phénomènes électromagnétiques, ceci d'ailleurs en dépit de quelques phénomènes de l'optique rebelles à l'explication par la théorie électromagnétique ; phénomènes dont nous parlerons plus loin. Mais il ne faut pas chercher dans cette identité une explication des phénomènes, une description de leur structure intime.

L'ambition de Maxwell était, nous l'avons vu, de rattacher les phénomènes de l'électromagnétisme à la dynamique, mais « malgré ses efforts, nous ne possédons « pas encore une explication mécanique complète de « ces phénomènes ; néanmoins les travaux de ce physicien ont une importance capitale, ils démontrent la « possibilité d'une telle explication » (1). Telle est, du moins, l'opinion de Henri Poincaré. Nous préférons, quant à nous, être moins affirmatifs, car les phénomènes physiques resteront peut-être à jamais irréductibles à notre mécanique ; mais, si la théorie de Maxwell ne fournit pas l'explication des phénomènes de l'optique, elle les identifie, comme nous venons de le dire, avec ceux de l'électromagnétisme, et le plus grand titre de gloire de Maxwell et le côté vraiment durable de son œuvre, c'est que cette identification reste indépendante des explications quelles qu'elles soient. Quelle que soit l'explication que l'on puisse donner de la nature intime des phénomènes lumineux, ceux-ci resteront toujours un simple cas particulier des phénomènes électromagnétiques.

1. H. POINCARÉ, *op. cit.*, p. 155.