

En résumé l'étude de l'espèce, dans sa généralité pose des problèmes de deux types : 1) contingents, qui relèvent de l'appartenance à une même espèce, comme c'est le cas, par exemple, des isolats continentaux ou insulaires ; 2) fondamentaux, qui portent sur la nature même de l'espèce. Dépendant du seul mode de reproduction sexuée biparentale, le critère biologique ne peut, vraisemblablement, définir un seul type d'espèce pour la totalité du monde organique, et il faudrait plutôt envisager l'existence de plusieurs types d'espèces.

► DEVILLERS C. & TINTANT H., *Questions sur la théorie de l'évolution*, Paris, PUF, 1996. — MAYR E., « Espèce », in TORT P. dir., *Dictionnaire du Darwinisme et de l'Évolution*, Paris, PUF, 1996. — ROGER J., *Buffon*, Paris, Fayard, 1989. — ROGER J. & FISCHER J.L., *Histoire du concept d'espèce dans les sciences de la vie*, Colloque International de la Fondation Singer-Polignac, Paris, 1985.

Charles DEVILLERS

→ Cellule ; Classification [BOTANIQUE] ; Créationnisme ; Cuvier ; Darwinisme ; De Vries ; Évolutionnisme ; Hybride ; Lamarckisme ; Loi biogénétique fondamentale ; Mayr ; Sélection ; Taxinomie ; Théorie ; Vivant (Théorie du).

## ÉTHÉR

### PHYSIQUE

Les éthers qu'on rencontre dans l'histoire de la physique sont des substances subtiles distinctes de la matière, servant à fournir ou à transmettre des effets entre les corps. L'air, par exemple, transmet des ondes sonores mais n'est pas un éther, parce qu'il n'est pas subtil. Les particules de lumière, quant à elles, sont subtiles mais ne constituent pas un milieu de transmission.

Au XVIII<sup>e</sup> s., la nature de la lumière était sujette à des spéculations théoriques. René Descartes (1596-1650) y voyait une pression transmise instantanément à travers un milieu composé de minuscules « globules » transparents. Les orbites planétaires étaient dues aux tourbillons d'éther, ou à ce qu'il appelait la « matière subtile », qui comprenait les globules transparents. Robert Hooke (1635-1703) décrit la lumière comme une pulsation sphérique produite par un corps lumineux, et se propageant à travers un milieu homogène avec une vitesse finie. La réfraction de la lumière, selon Hooke, dépendait de la densité relative des corps transparents traversés. En démontrant que les phénomènes optiques de réfraction et de réflexion interne s'expliquent par un changement de vitesse de propagation dans le corps réfractant, Christiaan Huyghens (1629-1695) améliora la notion de lumière en tant que vibration d'un milieu. Selon lui, ce changement était dû à l'interaction entre l'éther et les particules des corps transparents. À la même époque, Isaac Newton (1642-1727) identifiait – non sans hésitation – la lumière à des corpuscules de tailles différentes émis par les corps lumineux. Chaque corpuscule transmettait une oscillation à l'éther, et les différentes couleurs

étaient liées aux vibrations ainsi produites. Chez Newton encore, la réflexion interne et la réfraction de la lumière étaient une fonction du changement de vitesse qui avait lieu lors du passage de la lumière entre deux corps transparents, mais ce changement de vitesse s'effectuait dans le sens inverse de celui proposé par Huyghens, et à l'aide des forces répulsives des particules d'un milieu élastique, dont la densité était variable. Selon Newton, l'hypothèse ondulatoire devait avoir pour conséquence la diffraction autour des obstacles, comme cela arrivait aux ondes sonores. L'éther que Newton dévoilait dans son *Opticks* (1717) concernait aussi bien la gravitation que l'optique ; il était distinct de la matière ordinaire soumise aux principes énoncés auparavant « sans hypothèses » dans les *Principia Mathematica* (1687), parce qu'il influençait la matière d'une façon active, alors qu'elle était ordinairement passive, et soumise à l'action à distance de la force attractive de la gravitation. L'éther d'ailleurs a été associé au concept de Dieu par les scolastiques, grâce à des attributs tels que l'omniprésence et l'omnipotence. Le rôle actif de l'éther signifiait chez Newton l'intervention de Dieu sur le monde naturel, et les savants seront nombreux à reprendre cette interprétation dans les siècles à venir. La notion d'éther actif n'a pas connu de développement par les newtoniens avant 1740, date à laquelle il s'est un peu confondu avec le concept du « feu » de Hermann Boerhaave (1668-1738). Le feu de Boerhaave était une substance impondérable pénétrant l'espace et tous les corps, dont le pouvoir répulsif agissait en même temps que le pouvoir attractif de la matière ordinaire.

Les éthers invoqués au XVIII<sup>e</sup> s. en explication des phénomènes liés à l'électricité, au magnétisme, à l'optique, la chaleur et la chimie se fondaient souvent sur les idées de Newton et de Boerhaave. Benjamin Franklin (1706-1790) proposa une théorie de l'électricité qui expliquait l'électrification et la décharge électrique des corps par la présence d'un fluide subtil dont les particules étaient attirées par la matière ordinaire et se repoussaient mutuellement. John Canton (1718-1772) étudia comme Franklin les phénomènes liés à l'induction ; tous les deux remarquèrent que le fluide électrique ne réagissait pas à distance, mais semblait être présent dans l'air adjacent aux corps électrisés. Chez Canton, c'était l'air lui-même qui, en tant que milieu porteur de fluide électrique, permettait aux corps électrisés d'interagir à distance. Au vu de la découverte par Hans Christian Ørsted (1777-1851) d'une force magnétique produite d'une façon circulaire autour d'un conducteur de courant électrique, André-Marie Ampère (1775-1836) imaginait de réduire les aimants aux courants électriques dans les plans perpendiculaires à leur axe. Selon Ampère, l'explication de la force pondéromotrice entre les circuits du courant électrique se trouvait dans la réaction d'un éther universel (composé de deux électricités de signes opposés) ébranlé par le courant. Non seulement les effets électromagnétiques, mais aussi les phénomènes lumineux

trouvaient ainsi une explication, à travers les mouvements de ce fluide impondérable.

En 1801, l'hypothèse selon laquelle la lumière est un mouvement ondulatoire réapparut en Angleterre dans la théorie de Thomas Young (1773-1829), qui rendait compte de plusieurs phénomènes liés à la diffraction, à l'aide d'un éther universel et de son principe d'interférence des ondes. D'autres éthers universels furent proposés par Humphry Davy (1778-1829) en électrochimie, et par Benjamin Thompson (Count Rumford, 1753-1814) dans sa théorie de la chaleur ; aucun des trois ne fit intervenir les fluides impondérables. À son début, la théorie de Young ne compta que peu d'adeptes en Angleterre, et il est vrai que la polarisation y restait inexplicable, ainsi que la nature quantitative du milieu de propagation des ondes lumineuses. En France, la théorie de Young n'attira pas non plus l'intérêt des savants, à quelques exceptions près. Elle devait faire face à une pratique théorique dans laquelle les divers phénomènes tels que les réactions chimiques, l'action capillaire, la cohésion des solides et la réfraction optique s'expliquaient par une force attractive exercée entre les particules de matière. La théorie des phénomènes gazeux envisagée par Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), par exemple, utilisait un fluide impondérable appelé calorique, qui entourait les particules de matière et servait à moduler la force attractive des particules par sa force répulsive. Cette démarche comptait des succès en optique. Laplace, par exemple, avec son élève Étienne-Louis Malus (1775-1812), montra que les lois de la double réfraction de Huyghens sont compatibles avec l'hypothèse corpusculaire, éliminant ainsi l'avantage de la théorie ondulatoire dans ce domaine. Néanmoins, l'hypothèse ondulatoire commença une percée à la suite d'Augustin Fresnel (1788-1827), qui réussit à prendre en compte aussi bien la diffraction que la polarisation de la lumière. Young avait montré que si la lumière polarisée n'interfère pas, alors les vibrations lumineuses se produisent dans un sens normal à la direction de propagation. Adoptant ce point de vue, Fresnel dut faire appel aux propriétés dynamiques des particules d'un éther capable de transmettre des vibrations transversales. Par conséquent, l'éther lumineux devenait solide et élastique.

Jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> s., la propagation des ondes à travers l'éther solide élastique sera un thème de recherche, d'abord en optique physique, ensuite dans l'électromagnétisme. Vers 1830 la théorie de Fresnel dominait le domaine de l'optique, prévoyant de nombreux effets inattendus, comme la polarisation circulaire après deux réflexions internes dans un rhombe, et la réfraction conique déduite par William Rowan Hamilton (1805-1865). L'éther solide suscita une floraison de développements mathématiques, avec les travaux d'Augustin-Louis Cauchy (1789-1857) sur la théorie de l'élasticité, et ceux de George Green (1793-1841) et James MacCullagh (1809-1847) en mécanique analytique. En 1830, avec les équations de mouvement d'un solide élastique, Cauchy trouva une expression pour la vitesse de propagation des

ondes transversales. MacCullagh déduisit les lois de l'optique cristalline à partir d'une certaine fonction de Lagrange de l'éther, évitant ainsi de faire appel aux hypothèses sur la structure de l'éther lumineux. Le nombre de ces hypothèses augmentait rapidement, dans l'espoir de trouver un accord entre les propriétés connues de la lumière et les propriétés théoriques attribuées aux ondes qui se propageaient à travers un solide élastique.

L'éther lumineux donna lieu d'ailleurs à des critiques par les tenants de l'empirisme inspiré des principes baconiens, dont John Stuart Mill (1806-1873) se faisait le porte-parole. Se plaçant au niveau méthodologique, Mill considérait qu'une investigation scientifique devait procéder par l'inférence inductive, qui va du fait particulier au fait particulier. Il rejeta l'éther de la théorie ondulatoire parce qu'on ne pouvait l'inférer de cette façon ; étant dépourvu de toute qualité sensible, le concept d'éther restait inductivement hors d'atteinte. Au-delà de la théorie ondulatoire, la critique de Mill visait la philosophie des sciences de William Whewell (1794-1866). Ce dernier soutenait non seulement que la méthode inductive est sans fondement rationnel, mais que l'introduction d'hypothèses abstraites (à quoi Mill s'opposait) trouve sa justification dans l'histoire des sciences. Se posait alors pour Whewell le problème de la vérité des hypothèses. Il le réglait en disant ceci : lorsqu'une hypothèse scientifique rencontre une confirmation empirique inattendue, de sorte qu'il y a coïncidence d'inductions, sa vérité est assurée. L'histoire, affirma Whewell, regorgeait de coïncidences de ce genre – notamment la découverte de la rotation du plan de polarisation – qui montraient la supériorité de la théorie ondulatoire par rapport à la théorie de l'émission.

En exprimant sa préférence pour la théorie ondulatoire, Whewell ne cacha pas une difficulté majeure : l'éther solide devait permettre aux planètes de le traverser sans rencontrer de résistance mesurable. Son collègue à Cambridge, George Gabriel Stokes (1819-1903), observa que l'éther pouvait satisfaire à cette exigence s'il avait une plasticité suffisante pour laisser les corps le traverser lentement, tout en étant suffisamment rigide pour transmettre des ondes transversales, un peu comme la cire de cordonnier. Stokes avait cherché auparavant à expliquer l'aberration stellaire en supposant que l'éther pénétrait par l'avant les corps en mouvement, se mélangeait avec l'éther propre à ces corps, avant de sortir par l'arrière. De cette façon, Stokes retrouvait le coefficient d'entraînement partiel de l'éther par les milieux réfringents, proposé par Fresnel en 1818 pour rendre compte de l'aberration. La valeur du coefficient fut vérifiée en 1851 à l'issue d'une célèbre expérience d'Hippolyte-Louis Fizeau (1819-1896).

L'effet réciproque à celui d'Ørsted – la création d'un courant électrique par le magnétisme – fut mis en évidence par Michael Faraday (1791-1867), avec l'idée que la force magnétique et l'induction électrique sont ondulatoires, et se propagent avec une vitesse finie.

Dans ses recherches sur l'électricité, Faraday décrit l'action électrique par des lignes de force qui traversent tout l'espace, ce qui conduisit James Clerk Maxwell (1831-1879) vers une nouvelle théorie mathématique des phénomènes électromagnétiques. L'action électrique à distance était supprimée en faveur des répulsions et des attractions des conducteurs provenant des pressions et des tensions sur la matière pondérable, qui se transmettaient à travers la matière diélectrique. Au début, Maxwell présenta sa théorie sans modèle des actions électrodynamiques, mais bientôt il exposait sa conception d'un éther composé de tourbillons moléculaires entourés de roues libres, dont le mouvement était analogue au courant électrique.

D'autres physiciens avant Maxwell construisirent des modèles de l'éther, inspirés par l'idée que le magnétisme a un caractère rotatoire ; c'est le cas notamment de Hermann Helmholtz (1821-1894) et de William Thomson (1824-1907). Mais Maxwell, sur la base de l'analogie – formelle et empirique – entre la propagation de la lumière dans un milieu isotrope et la propagation de l'action électrique, tira la conclusion que la lumière consiste dans des oscillations transversales du milieu même de production des phénomènes électriques et magnétiques. La théorie électromagnétique de la lumière était à construire. Après avoir étudié la théorie de Maxwell, George Francis Fitzgerald (1851-1901) vit que parmi les éthers solides élastiques proposés dans le cadre de l'optique ondulatoire, seul celui de MacCullagh (1839) présentait des parallèles significatifs. Fitzgerald étendit le domaine de la théorie électromagnétique de la lumière à l'optique cristalline, en montrant l'analogie double entre le courant de déplacement et la force magnétique de Maxwell d'une part, et la torsion et le déplacement spatial de l'éther isotrope de MacCullagh d'autre part. L'inertie des éléments de l'éther impliquait leur élasticité rotatoire, de sorte que les diverses parties de l'éther tendent à conserver leur orientation. La théorie de Maxwell devint ainsi une concurrente à part entière des théories de l'éther solide élastique lumineux, même si l'analogie entre la théorie de Maxwell et celle de MacCullagh restait incomplète. Malgré les efforts considérables des savants, la modélisation mécanique de la théorie électromagnétique de Maxwell ne réussit jamais à prendre en compte tous les effets connus de l'optique et de l'électromagnétisme, même dans le cas le plus simple des corps stationnaires. Toutefois, pour certains la réalité de l'éther électromagnétique semblait être établie par les expériences de Heinrich Hertz (1857-1894) montrant que les ondes électromagnétiques se plient aux lois de la diffraction, de la polarisation et de la réfraction. Les théoriciens du champ électromagnétique s'intéressèrent alors au sujet de l'optique des corps en mouvement. D'après l'expérience (1887) d'Albert A. Michelson (1852-1931) et Edward W. Morley (1838-1923), le mouvement terrestre n'avait pas d'influence sur la diffraction de la lumière, jusqu'au deuxième ordre d'approximation dans le rapport de la vitesse de la Terre à celle de la

propagation de la lumière dans l'éther ; ce résultat contredisait les prévisions de toutes les théories optiques.

Selon Hertz, les équations différentielles fondamentales de la théorie de Maxwell devaient avoir la priorité sur les différentes images mécaniques qu'on pourrait avoir d'elles. Cette tendance vers l'abstraction s'affermait dans les théories de l'électron de Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) et de Joseph Larmor (1857-1942), où l'on prenait en compte l'interaction entre la matière pondérable et l'éther. L'électron larmorien (un centre de tension rotatoire) et lorentzien (une particule électrisée de forme variable) traversait l'éther stationnaire, alors que les corps se composaient d'agglomérations d'électrons. La théorie de Lorentz (1892) tenta de rendre compte de l'expérience de Michelson-Morley, en supposant que la longueur d'un corps en mouvement de translation par rapport à l'éther diminue en fonction de sa vitesse ; il rendait cette contraction plus plausible en avançant l'hypothèse de l'origine électromagnétique des forces moléculaires.

Au début du  $xx^e$  s., les avis sur la réalité de l'éther électromagnétique étaient partagés. Pour les physiciens théoriciens rompus avec les images mécanistes de l'ancienne physique les quantités dynamiques appartenaient au champ électromagnétique, et l'éther, s'ils s'en servaient, ne représentait qu'un artifice mathématique de plus. Les autres – beaucoup plus nombreux – croyaient qu'un jour on finirait par mettre l'éther en évidence. En 1905, Albert Einstein (1879-1955) annonça qu'il n'était nul besoin en physique d'un concept d'éther. D'après la théorie de la relativité d'Einstein, et la théorie des électrons de Lorentz améliorée par Henri Poincaré (1854-1912), les lois de la physique devaient garder la même forme par rapport à tous les systèmes en mouvement uniforme de translation. Ces deux théories furent fusionnées en quelque sorte dans la théorie de l'espace-temps de Hermann Minkowski (1864-1909), qui remplaçait l'espace absolu de la cinématique newtonienne par le « monde absolu » à quatre dimensions. Désormais le champ électromagnétique se comprenait sans l'aide d'un milieu substantiel ; on assignait des états aux points d'une variété quadridimensionnelle, passant ainsi à la physique moderne du champ pur.

La notion d'éther reste admise par les physiciens au  $xx^e$  s., même si l'extension du mot est restreinte par rapport à son usage au siècle précédent. En 1920, Einstein, avançant que dans une région de l'espace-temps vide de matière et d'énergie ( $T^{\nu\nu} = 0$ ) il y a des potentiels de gravitation, fit un parallèle avec l'éther de Lorentz, qui existait en l'absence de tout champ. C'est aussi un éther de ce genre que prévoit la théorie du champ quantique. Si on prend en considération une portion de l'espace-temps où règne le vide absolu, alors il y aura toujours des fluctuations, comme l'exige le principe d'incertitude.

► BALIBAR F., *Einstein 1905 : De l'éther aux quanta*, Paris, PUF, 1992. – CANTOR G.N. & HODGE M.J.S. éd., *Conceptions of*

*Ether : Studies in the History of Ether Theories, 1740-1900*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1981. – HARMAN P.M., *Energy, Force, and Matter : The Conceptual Development of Nineteenth-Century Physics*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1982. – WHITTAKER Sir E., *A History of the Theories of Aether and Electricity*, Londres, Thomas Nelson, 2 vol., 1951-1953.

Scott WALTER

→ Champ ; Lumière ; Michelson ; Propagation.

## EUCLIDE, 365 (?) - 300 (?) av. J.-C.

D'après Proclus, Euclide vécut sous le premier Ptolémée qui régna sur l'Égypte au  $iii^e$  s. avant J.-C. Entre les mathématiciens de l'Académie (Platon meurt en 347) et les débuts d'Archimède, l'œuvre d'Euclide apparaît comme un moment capital dans l'histoire des mathématiques car il se situe chronologiquement au milieu d'une période d'intense activité (Thalès  $vs$  s. av. J.-C. Pythagore, Eudoxe  $iv^e$  s. av. J.-C. Apollonius  $iii^e$  siècle av. J.-C.). Et elle consiste essentiellement en une systématisation des acquis qui défiera les siècles.

*Les Éléments* ne porte pas seulement sur la géométrie sinon à entendre géométrie comme synonyme de mathématique. Appartiennent en propre à Euclide les treize premiers livres. Les quatre premiers sont consacrés essentiellement à la géométrie plane, le livre V contient la théorie des proportions entre les grandeurs et le livre VI applique cette théorie à la géométrie plane. Les livres VII, VIII, IX contiennent ce que l'on considère comme la théorie des nombres. Le mot nombre désigne en grec les entiers naturels supérieurs ou égaux à 2. À l'exclusion de toute autre entité que nous modernes appellerions nombre. Le 1 est appelé l'unité et il n'y a pas de concept de zéro. Dans ces livres figure la théorie des rapports entre nombres entiers ainsi que des proportions entre ces nombres qui conduit à celle des puissances d'entiers et de leurs rapports. Le livre X est entièrement consacré à l'étude des lignes droites commensurables ou incommensurables entre elles. Il porte également de façon plus spécifique sur les lignes irrationnelles ainsi que sur les aires rectilignes rectangulaires ou carrées qui leur correspondent. Ce livre présuppose les acquis de la géométrie plane et de la théorie des proportions et des livres arithmétiques. Le livre XI présente la généralisation à la dimension 3 de la géométrie des livres I à VI et les propriétés de solides élémentaires relevant de ce que les Grecs appellent la Stéréométrie. Le livre XII présente les résultats concernant la mesure du cercle, de la pyramide, du cône et de la sphère qui ne peuvent être acquis que par une méthode spéciale, légitimée aux Livres V et X considéré comme une première forme de calcul intégral dans l'histoire des mathématiques, la méthode d'exhaustion. Le livre XIII est consacré à la construction des cinq polyèdres réguliers inscrits dans la sphère ce qui suppose notamment des résultats du livre X. Proclus considère que la fin de l'ouvrage est précisément la

construction des cinq polyèdres. Le livre XIV est l'œuvre d'Hypsicles, astronome de renom postérieur à Apollonius, il reprend des résultats déjà obtenus par ce dernier, le livre XV nettement inférieure étudie la possibilité d'inscrire d'autres polyèdres, le nombre des arêtes et des angles solides, la détermination des angles dièdres entre les faces. L'auteur a pu en être Isidore de Milet architecte de Sainte-Sophie de Constantinople (532 apr. J.-C.). Le corpus euclidien se divise en deux groupes : les œuvres consacrées à la Géométrie et celles consacrées aux Mathématiques au sens grec, c'est-à-dire au sens large. Œuvre moins connue d'Euclide, *Les données* contiennent des propositions énonçant que si certains éléments sont donnés dans une figure d'autres éléments ou d'autres relations sont alors données, de tel ou tel point de vue. C'est plutôt une sorte de livre d'exercices d'introduction à l'analyse.

Dans le traité *Sur les divisions*, traité perdu en grec, une version arabe existe, il s'agit de partager une figure donnée au moyen d'une ou plusieurs lignes droites assujettis à des contraintes. *Les arguments fallacieux* est un traité perdu qui montre selon Proclus comment des conséquences erronées peuvent apparaître à partir de raisonnements faux en partant de principes vrais. *Les Porismes* est un traité qui fut également perdu. Il s'agit de prouver la possibilité de trouver une certaine proposition mais sans la construire. *Les coniques* œuvre qui est à la base des coniques d'Apollonius qui a ajouté 4 livres à ses 4 livres. Il faut citer *Les Lieux rapportés à la surface*, certainement portant sur des surfaces cylindriques coniques ou sphériques ou de révolution.

Parmi les ouvrages non mathématiques on note *Les phénomènes* traité de petite astronomie que l'on voit sur la sphère céleste. *L'optique*, traité de perspective, *La section du canon*, traité arithmétique des intervalles musicaux et des *Fragments de mécanique* attribué à Euclide.

*Les Éléments* portent bien leur nom : l'ordre des propositions qui y figurent est synthétique et l'ensemble de ces propositions est conçu comme un réservoir dans lequel puiser pour établir d'autres connaissances. Par exemple une proposition peut y figurer qui est à la base d'une méthode de calcul. Tous les commentaires antiques entendent par éléments les propositions elles-mêmes et non pas les livres comme ce sera le cas à la Renaissance. De plus, chaque proposition peut être élément d'une autre qui figure dans la suite, une proposition donnée à éventuellement une postérité, et on peut lui trouver des ancêtres d'où l'importance de l'ordre des *Éléments*.

Il existe une tradition des commentaires d'abord grecs : Héron d'Alexandrie ( $i^e$  s. apr. J.-C.) animé par un souci de compléter les *Éléments*, Porphyre ( $iii^e$  s. de notre ère) remarquable surtout par ses analyses des modes de raisonnement, Pappus ( $iii^e$  s. également), connu par un commentaire au livre X mais aussi à d'autres livres et Simplicius ( $vi^e$  s.). Le commentaire le plus important est celui de Proclus qui laisse une précieuse analyse du Livre I dont la perspective est