

Pierre DUHEM

Histoire de la physique¹

*Manuscrit édité par Souad BEN ALI
et Jean-François STOFFEL*

Résumé. — Publication du texte français du manuscrit de la notice anglaise intitulée *Physics, history of* et publiée par Pierre Duhem, en 1911, dans le douzième volume de la *Catholic encyclopedia*.

Abstract. — French text publication of the manuscript of the English article entitled *Physics, History of* and published by Duhem in Volume 12 of the 1911 *Catholic Encyclopedia*.

Introduction

Le manuscrit du texte ici publié est conservé, à Paris, dans la boîte n°6 du Fonds Pierre Duhem du Service des archives et du patrimoine de l'Académie des sciences de l'Institut de France. Nous remercions l'ensemble de ce service par le biais de sa directrice, Madame Isabelle Maurin-Joffre. Les modifications que nous avons apportées au texte sont minimales : nous avons systématiquement ajouté l'accentuation aux lettres capitales, ainsi que les traits d'union les plus usuels (« peut-être », « c'est-à-dire », etc.) ; en revanche, nous avons supprimé les majuscules aux mois. Excepté le retrait de paragraphe (incompatible avec notre numérotation automatique desdits paragraphes) et les titres des chapitres que Duhem voulait

-
1. DUHEM (Pierre), *Physics, history of*, dans *The catholic encyclopedia : An international work of reference on the constitution, doctrine, discipline, and history of the Catholic church*. – Vol. 12 : *Philip - Revalidation* / edited by Charles G. HERBERMANN, Edward A. PACE, Condé B. PALLEN, Thomas J. SHAHAN, and John J. WYNNE. – New York : Robert Appleton Company, 1911. – pp. 47-67.

DUHEM (Pierre), *Histoire de la physique* / texte édité par Souad BEN ALI et Jean-François STOFFEL, dans *Pierre Duhem, cent ans plus tard (1916-2016) : actes de la journée d'étude internationale tenue à Tunis le 10 mars 2016, suivis de l'édition française de l'« Histoire de la physique » (1911) de Pierre Duhem* / édités par Jean-François STOFFEL avec la collaboration de Souad BEN ALI. – Tunis : Université de Tunis, 2017. – pp. 311-406.

voir imprimés en petites capitales (ce qui aurait été non conforme à la mise en page de ce volume), nous avons respecté les indications typographiques renseignées dans le manuscrit : ce qui était souligné en discontinu a été imprimé en caractères espacés ; ce qui était souligné en continu a été mis en *caractères italiques*, du moins lorsqu'il s'agissait de titres d'œuvres ou de mots sur lesquels Duhem entendait attirer notre attention. En revanche, lorsque le même souligné s'appliquait à des noms de personnes pour faire savoir que celles-ci étaient réputées catholiques, conformément à la demande expresse adressée à notre auteur par la *Catholic encyclopedia*, nous avons conservé le souligné afin de faire ressortir cet usage inhabituel. Enfin, nous avons imprimé ~~en rayé~~ le texte qui se trouve barré dans le manuscrit et nous avons signalé par un souligné ondulé le texte ajouté après coup. Ces indications permettront aux lecteurs, nous l'espérons, de suivre Duhem dans son travail de pensée et d'écriture et de prendre conscience, pour ceux qui n'ont jamais eu l'occasion de voir un de ses manuscrits, de la facilité déconcertante avec laquelle il écrivait !

[J.-Fr. S.].

I. Coup d'œil sur la Physique de l'Antiquité

1. Au moment où N.S. J.-C. naissait, la Science ~~grecque~~ hellène avait donné presque tous ses chefs d'œuvre ; il lui restait à produire l'Astronomie de Ptolémée ; mais celle-ci se trouvait déjà, depuis plus d'un siècle, grandement préparée par les travaux d'Hipparque ; lorsqu'au voisinage de l'an 145 après J.-C., l'*Almageste* eût paru, les révélations que la pensée grecque avait faites à l'homme sur la nature du monde extérieur se trouvèrent achevées ; la décrépitude de la Sagesse antique commença ; celles de ses œuvres qui échappèrent aux incendies allumés par les guerriers de l'Islam furent livrées aux interprétations stériles des commentateurs musulmans ; elles attendirent, comme des graines desséchées, le temps où la Chrétienté latine allait leur fournir un terrain favorable ; alors seulement elles reprendraient vie et donneraient des fruits magnifiques.

2. Le temps donc où Ptolémée eut mis la dernière main à la *Grande Syntaxe mathématique de l'Astronomie* nous semble bien choisi pour contempler le domaine de la Physique antique.
3. Ce domaine est, par une frontière infranchissable, séparé en deux régions, qu'ordonnent des lois essentiellements [sic] différentes. De l'orbe de la Lune à la sphère qui enclôt [sic] le Monde, s'étend la région des êtres exempts de la génération, ~~de~~ du changement et de la mort, êtres parfaits et divins qui sont les sphères des astres et les astres eux-mêmes. À l'intérieur de l'orbe de la Lune se trouve la région de la génération et de la corruption ; là, les quatre éléments et les mixtes qu'ils engendrent par leurs mutuelles combinaisons sont sujets à de perpétuels changements.
4. La Science des astres est dominée par un principe que Platon et les Pythagoriciens ont formulé : Toutes les *apparences* que les corps célestes nous présentent doivent être *sauvées* par des combinaisons de mouvements circulaires et uniformes. Platon a admis, en outre, que ces mouvements circulaires se réduisent aux rotations de globes solides, tous limités par des surfaces sphériques concentriques au Monde et à la Terre ; certaines de ces *sphères homocentriques* portent les étoiles inerrantes ou les astres errants ; Eudoxe, Calippe, Aristote s'efforcent à l'envi au progrès de cette théorie des sphères homocentrique, ~~qu'~~ dont Aristote incorpore les hypothèses fondamentales en sa Physique et en sa Métaphysique. Mais l'Astronomie des sphères homocentriques ne peut sauver tous les phénomènes célestes ; bon nombre de ceux-ci montrent que les astres errants ne demeurent pas toujours à égale distance de la Terre ; Héraclide du Pont, au temps de Platon, puis Aristarque de Samos, vers l'an 280 av. J.-C., tentent de rendre compte de toutes les apparences astronomiques par un système héliocentrique qui est une esquisse du mécanisme copernicain ;

mais les arguments de Physique et les préceptes de Théologie qui proclament l'immobilité de la Terre, ont aisément raison de cette doctrine réduite à une simple ébauche. Alors les travaux d'Apolonius de Perge, qui florissait à Alexandrie en 205 av. J.-C., d'Hipparque, qui observa à Rhodes en 128 et en 127 av. J.-C., enfin de Claude Ptolémée de Péluse, constituèrent un nouveau système astronomique qui laissait la terre immobile au centre du Monde ; ce système fut comme achevé lorsque Ptolémée eût écrit, entre 142 et 146 après J.-C., l'ouvrage qu'il intitulait *Μεγάλη μαθηματικὴ σύνταξις τῆς ἀστρονομίας*, et que les chrétiens du Moyen Âge, traduisant le titre que lui avaient donné les Arabes, nommèrent l'*Almageste*. L'Astronomie de l'*Almageste* sauvait toutes les apparences astronomiques avec une précision qui parut longtemps suffisante ; elle les sauvait au moyen de combinaisons de mouvements circulaires ; mais des cercles décrits, les uns étaient *excentriques* au Monde, les autres étaient des *cercles épicycles* dont les centres décrivaient des *cercles déférents* concentriques ou excentriques au Monde ; en outre, le mouvement sur le déférent n'était plus uniforme ; il le semblait seulement lorsqu'il était vu du *centre de l'équant*. En un mot, pour construire un agencement cinématique qui fût en état de représenter exactement les phénomènes, les astronomes dont Ptolémée achevait l'œuvre avaient dû faire bon marché des propriétés que la Physique d'Aristote attribuait à la substance céleste ; entre cette Physique et l'Astronomie des excentriques et des épicycles une lutte ardente allait se poursuivre jusqu'au milieu du XVI^e siècle.

5. La Physique des corps sublunaires se trouvait, au temps de Ptolémée, beaucoup moins avancée que la Physique des mouvements célestes ; de cette science des êtres soumis à la génération et à la corruption, deux chapitres seulement avaient atteint un certain degré de perfection ; ce sont l'*Optique*, que l'on nommait *Perspective*, et la *Statique*.

6. La loi de la réflexion était déjà connue au temps d'Euclide, vers 320 av. J.-C. ; on attribue, probablement à tort, à ce géomètre, un *Traité des miroirs* où les principes de la *Catoptrique* sont correctement posés ; plus difficile, la *Dioptrique* se développa plus lentement ; Ptolémée savait déjà que l'angle de réfraction n'est pas proportionnel à l'angle d'incidence ; pour déterminer la relation qui existe entre ces deux angles, il avait entrepris des expériences dont les résultats sont remarquablement exacts.
7. La *Statique* s'était développée plus complètement que l'*Optique*. Les *Questions mécaniques* attribuées à Aristote sont une première tentative pour organiser cette Science ; on y trouve une sorte d'ébauche du principe des vitesses virtuelles, destinée à justifier la loi d'équilibre du levier ; on y trouve surtout l'idée géniale de ramener à la loi du levier la théorie de toutes les machines simples. Une élaboration, à laquelle Euclide semble avoir pris part, mena la Statique à l'état où Archimède (vers 287-212 av. J.-C.) la reçut pour la porter à un haut degré de perfection ; les il suffira de citer ici les œuvres de génie où le grand Syracusain a traité de l'équilibre des poids pendus aux deux bras d'un levier, de la recherche des centres de gravité, de l'équilibre des liquides et des corps flottants. Trop savants, les traités d'Archimède ne furent guère lus par les mécaniciens qui succédèrent à ce géomètre ; on leur préféra des écrits plus faciles et plus pratiques, construits à l'imitation des *Questions mécaniques* d'Aristote ; divers traités de Héron d'Alexandrie nous ont conservé le type de ces écrits de décadence.

II. Les débuts de la Science chrétienne

8. Peu après la mort de Ptolémée, la Science chrétienne naît à Alexandrie avec Origène (vers 180-253) ; en un fragment, conservé par Eusèbe, de ses *Commentaires à la Genèse*, Origène se

montre instruit des plus récentes découvertes de l'Astronomie, notamment de la précession des équinoxes.

9. Mais les écrits où les Pères de l'Église commentent l'œuvre des six jours de la Création, notamment ceux de Saint Basile et de Saint Ambroise, ne font plus à la Physique hellénique que des emprunts peu importants ; ils portent la marque de la méfiance à l'égard des enseignements de la Science grecque. Cette méfiance est engendrée par deux préoccupations. En premier lieu, l'Astronomie s'inféode de plus en plus à l'astrologie dont l'Église poursuit les superstitions. En second lieu, entre les propositions essentielles de la Physique péripatéticienne et ce que l'on croit être l'enseignement des Livres saints, des contradictions apparaissent ; ainsi pense-t-on que la Genèse enseigne la présence de l'eau au dessus du ciel des étoiles fixes (firmament) ce qui est incompatible avec la théorie aristotélicienne du lieu naturel des éléments. Les débats soulevés par cette question donnent occasion à Saint Augustin de tracer de prudentes règles d'exégèse ; il recommande aux chrétiens de ne pas donner à la légère, comme dogmes de foi, des propositions contredites par une science physique appuyée sur de sérieuses expériences.
10. [---] En Saint Isidore de Séville († 636), nous trouvons un évêque qui regarde comme légitime, chez les chrétiens, le désir de connaître les enseignements de la Science profane et qui s'efforce de satisfaire cette curiosité. Les *Étymologies* et son *De natura rerum* ne sont que des compilations de fragments empruntés à tous les auteurs païens ou chrétiens qu'il connaissait. Ces ouvrages servent de types, durant le haut Moyen Âge latin, à de nombreuses encyclopédies dont les mieux connues sont le *De natura rerum* du Vénérable Bède (vers 672-735) et le *De universo* de Raban Maur (776-856).
11. Cependant, les sources auxquelles les chrétiens d'Occident puisaient la connaissance de la Physique antique ~~allaient~~ devenaient

de jour en jour plus nombreuses ; à l'*Histoire naturelle* de Pline l'Ancien, que Bède lisait déjà, étaient venus se joindre le *Commentaire* de Chalcidius au *Timée* de Platon et les *Noces de la Philologie et de Mercure* de Martianus Capella ; ces divers ouvrages inspirent la *Physique* de Jean Scot Ériugène. Avant l'an mil, un nouvel écrit platonicien, le *Commentaire au songe de Scipion* composé par Macrobe, se trouve en grande faveur dans les écoles. Sous l'influence des divers traités que nous venons de citer, l'auteur inconnu du *De mundi constitutione liber* faussement attribué au Vénérable Bède, et Guillaume de Conches (1080-1150 ou 1154) admettent une théorie des planètes qui fait de Vénus et de Mercure des satellites du soleil ; Jean Scot Ériugène était allé plus loin ; il avait également pris le Soleil pour centre des circulations de Mars et de Jupiter ; s'il eût étendu cette hypothèse à Saturne, il eût mérité le titre de précurseur de Tycho Brahé.

III. Coup d'œil sur la Physique Arabe

12. Les auteurs dont nous avons parlé jusqu'ici n'avaient guère connu la Science hellène que par l'intermédiaire de la tradition latine ; voici venir le temps où elle ~~leur~~ sera beaucoup plus complètement révélée [sic] aux chrétiens d'occident par l'intermédiaire de la tradition musulmane.
13. Il n'y a pas de Science arabe ; par rapport aux Hellènes, les sages de l'Islam n'ont jamais été que des disciples plus ou moins fidèles, mais dénués de toute originalité. Ils ont, par exemple, composé de nombreux abrégés de l'*Almageste* de Ptolémée, ils ont fait de multiples observations et construit un grand nombre de tables astronomiques, mais ils n'ont rien ajouté d'essentiel aux théories des mouvements astronomiques ; leur seule innovation en ce sens, in-

novation assez malheureuse d'ailleurs, est la doctrine du mouvement oscillatoire des points équinoxiaux, que le Moyen Âge a attribuée à Thâbit ibn Kurrah (836-901) mais qui fut probablement imaginée beaucoup plus tard par Al-Zarkali qui observait de 1060 à 1080 ; encore ce mouvement n'est-il qu'une adaptation d'un mécanisme conçu par Ptolémée pour un tout autre objet.

14. En Physique, les savants arabes se sont bornés à commenter les dires d'Aristote, et ce commentaire est souvent de la plus grande servilité ; cet asservissement intellectuel à l'enseignement péripatéticien est au comble en l'esprit d'Averroès d'Ibn Rosch, que les Scolastiques latins ont nommé Averroès (vers 1120-1198) ; Averroès déclarait qu'Aristote « avait fondé et achevé la Logique, la Physique et la Métaphysique,... parce qu'aucun de ceux qui l'ont suivi jusqu'à notre temps, c'est-à-dire pendant quatre cents ans, n'ont pu rien ajouter à ses écrits ni y trouver une erreur de quelque importance. »
15. Ce respect sans mesure pour la parole d'Aristote poussait bon nombre de philosophes arabes à combattre l'Astronomie de Ptolémée au nom de la Physique péripatéticienne ; la lutte contre les hypothèses des excentriques et des épicycles fut inaugurée par Ibn Bâdja, l'Avempace des Scolastiques († 1138), et par Abou Bakr ibn Tofaïl, l'Abubacer des Scolastiques († 1185) ; elle fut vigoureusement menée par Averroès, protégé d'Ibn Tofaïl ; un autre disciple d'Ibn Tofaïl, contemporain d'Averroès, Abou Ishâk Ibn al Bitrogi, l'Alpetragius des Scolastiques, présenta une théorie des mouvements des planètes où il prétendait sauver les apparences offertes par les astres errants en composant des rotations de sphères homocentriques ; son traité, plus néo-platonicien que péripatéticien, semble être un livre grec remanié ou simplement plagié.
16. Moins absolu en son péripatétisme qu'Averroès et Al Bitrogi, le Juif Moses ben Maimoun dit Maïmonides (1139-1204) accepte

l'Astronomie de Ptolémée en dépit des contradictions que lui oppose la Physique d'Aristote ; mais il regarde comme absolument vraie la Physique sublunaire du Stagirite.

IV. Influence de la tradition arabe sur la Scolastique latine

17. On ne saurait dire à quelle époque les premières traductions d'écrits arabes commencèrent d'être reçues par les chrétiens d'occident, mais cette époque précède sûrement le temps de Gerbert qui prit, en devenant pape, le nom de Sylvestre II (vers 930-1003) ; Gerbert use déjà de traités, traduits de l'Arabe, où l'on enseigne l'emploi d'instruments astronomiques et notamment, de l'astrolabe ; c'est à l'astrolabe qu'Hermann Contract (1013-1054) consacre une partie de ses recherches mathématiques.
18. Au début du XII^e siècle, les apports de la Science et de la Philosophie islamiques au sein de la Chrétienté latine deviennent de plus en plus fréquents et de plus en plus importants ; vers 1120 ou 1130, Adélarde de Bath traduit les éléments d'Euclide et divers traités astronomiques ; en 1141, Pierre le Vénérable, abbé de Cluny, trouve deux traducteurs, Hermann le Second ou le Dalmate et Robert de Rétines, établis en Espagne ; il leur fait mettre le Coran en latin ; en 1143, ces mêmes traducteurs font connaître à la Chrétienté le *Planisphère* de Ptolémée.
19. Bientôt, sous la direction de Don Raimond, archevêque de Tolède en 1130 et mort en 1150, commence la collaboration de ~~Dominique~~ Domengo Gondisalvi ou Gonsalvi, archidiaque de Ségovie, et du juif converti Jean de Luna, faussement nommé Jean de Séville (Johannes Hispalensis) ; tandis que Jean de Luna se livre à des travaux personnels de Mathématiques, il aide Gondisalvi

(Gundissalinus) à mettre en latin une partie de la *Méta Physique* d'Aristote, le *De Caelo*, la *Métaphysique*, des traités d'Avicenne, d'Al-Gazali, d'Al Farabi et, peut-être, d'Avicébron ; Jean de Luna traduit vers 1134 le traité d'Astronomie d'Al Fergani, abrégé de l'*Almageste* et, par-là, il initie les chrétiens au système de Ptolémée ; en même temps, les traductions qu'il a faites en collaboration avec Gondisalvi font connaître aux latins les doctrines physiques et métaphysiques du Stagirite ; l'influence de la Physique d'Aristote transparait déjà dans les écrits des plus célèbres maîtres de l'École de Chartres, de Thierry de Chartres (1121-avant 1155) et de Gilbert de la Porrée (1070-1154).

20. L'abrégé d'Astronomie d'Al Fergani, traduit par Jean de Luna, ~~avait déjà~~ ne paraît pas être le premier ouvrage où les latins aient pu lire l'exposé du système de Ptolémée ; il avait, sans doute, été précédé de quelques années par un écrit plus complet, le *De Scientia stellarum* d'Al Battâni, que Platon de Tivoli avait mis en latin vers 1120.
21. Mais on ne connaissait pas encore l'*Almageste* lui-même ; Gérard de Crémone († 1187) quitta l'Italie et se rendit à Tolède, ~~dans le~~ mû par le désir de lire et de traduire l'œuvre immortelle de Ptolémée ; il exécuta, en effet, cette traduction et l'acheva en 1175.
22. Outre l'*Almageste*, Gérard mit en latin d'autres ouvrages dont nous possédons la liste ; elle ~~comprend~~ contient soixante quatorze traités différents. Les uns sont des ouvrages d'origine hellénique ; ils comprennent une grande partie de l'œuvre d'Aristote, un traité d'Archimède, les *Éléments* d'Euclide complétés par Hypsiclès, des livres d'Hippocrate. D'autres sont des écrits arabes, tel que le célèbre *Livre des trois frères* composé par les Beni Mûsa, l'*Optique* d'Alhazen, l'*Astronomie* de Geber, le *De motu octavarum sphaeræ* de Thâbit ibn Kûrrah.

23. En outre, Gérard, pour répandre l'étude de l'Astronomie ptoléméenne, composa à Tolède sa *Théorie des planètes* ; ce livre devint, au Moyen Âge, un des classiques de l'enseignement astronomique ; lorsque le commençant s'était initié aux premières connaissances cosmographiques par l'étude de la *Sphæra*, composée vers 1230 par Johannes de Sacro Bosco, c'est-à-dire par John d'Holywood² (aujourd'hui Halifax), il s'exerçait à l'intelligence des excentriques et des épicycles par la lecture des *Theoricæ planetarum* de Gérard de Crémone ; jusqu'au milieu XVI^e siècle, la plupart [sic] des traités astronomiques ont revêtu la forme [...] de commentaires soit à la *Sphæra*, soit aux *Theoricæ planetarum*.
24. « La philosophie d'Aristote, » écrivait Roger Bacon en 1267, « a pris un grand développement chez les Latins lorsque Michel Scot apparut, vers l'an 1230, apportant certaines parties des traités mathématiques et physiques d'Aristote et de ses savants commentateurs. » Parmi les écrits arabes que Michel Scot (vers avant 1200-1291), astrologue de Frédéric II, fit connaître aux chrétiens se trouvent, en effet, les commentaires d'Averroès sur les traités d'Aristote et la *Théorie des planètes* qu'Al Bitrogi avait composée selon l'hypothèse des sphères homocentriques ; ~~cette~~ ~~Theo~~ la traduction de ce dernier ouvrage fut achevée en 1217.
25. En répandant parmi les Latins la connaissance non seulement des traités d'Aristote, mais encore des commentaires d'Averroès et de la théorie des planètes d'Al Bitrogi, Michel Scot détermina parmi eux le développement d'une disposition intellectuelle que l'on peut nommer l'Averroïsme. L'Averroïsme consiste en un respect superstitieux de la parole d'Aristote et de son Commentateur.

2. NOTE DE L'ÉDITEUR : En cet endroit, le manuscrit comporte une erreur de numérotation, puisqu'il passe de la page 19 à la page 21, alors que le texte se suit tout à fait normalement.

26. Il y eût un Averroïsme métaphysique qui, en défendant professant la doctrine de l'unité substantielle de toutes les intelligences humaines, se mit en lutte ouverte avec l'orthodoxie chrétienne ; mais il y eut [sic] aussi un Averroïsme physique. En son aveugle confiance à la Physique péripatéticienne, l'Averroïsme scientifique tenait pour indubitable tout ce que cette Physique enseignait au sujet de la substance céleste ; en particulier, il rejetait le système des épicycles et des excentriques pour prôner l'Astronomie des sphères homocentriques d'Al Bitrogi.
27. L'Averroïsme scientifique trouva des partisans même parmi ceux que la pureté de leur foi contraignait de lutter contre l'Averroïsme métaphysique ; ceux-là, bien souvent, étaient péripatéticiens autant qu'ils le pouvaient être sans contredire formellement à l'enseignement de l'Église. Guillaume d'Auvergne († 1249), par exemple, qui est le premier à lutter [-.-.] sur le terrain de la Métaphysique, contre « Aristote et ses sectateurs », se laisse quelque peu séduire par l'Astronomie d'Al Bitrogi, qu'il comprend mal d'ailleurs. Albert le Grand (1193 ou 1205-1280) suit, en bien des cas, la doctrine de Ptolémée ; mais, parfois, il se laisse ébranler par les objections d'Averroès ou bien il s'inspire des principes d'Al-Bitrogi. En son *Speculum quadruplex*, vaste compilation encyclopédique publiée vers 1250, Vincent de Beauvais semble attacher une grande importance au système d'Alpetragius, dont il emprunte l'exposition à Albert le Grand. Enfin, saint Thomas d'Aquin (1227-1274) se montre extrêmement perplexe entre la théorie des excentriques et des épicycles, qui sauve les apparences célestes en contredisant aux principes de la Physique péripatéticienne, et la théorie d'Al Bitrogi qui respecte ces principes mais ne va pas jusqu'à représenter en détail les phénomènes.
28. L'hésitation que nous constatons en l'École dominicaine n'est guère moindre en l'École franciscaine. Robert Grosse Teste (vers

1175-1253), dont l'influence fut grande sur les études franciscaines, suivait le système de Ptolémée en ses écrits astronomiques, et s'inspirait des idées d'Al Bitrogi en sa Physique. Saint Bonaventure (1221-1274) demeurait indécis entre des doctrines qu'il connaissait, d'ailleurs, assez mal. Roger Bacon (1214-1292), enfin, en plusieurs de ses écrits, pesa avec grand soin les arguments que l'on pouvait faire valoir pour ou contre chacune des deux théories astronomiques, sans jamais parvenir à faire un choix. Bacon connaissait cependant un mode de figuration du système des excentriques et des épicycles que l'arabe Ibn al Haitham, l'Alhazen des Scolastiques, avait emprunté aux Grecs ; en cette figuration, tous les mouvements admis par Ptolémée se trouvent ramenés à des rotations d'orbites solides emboîtées [sic] exactement les uns dans les autres ; ce modèle, qui mettait en défaut la plupart [sic] des objections élevées par Averroès contre l'Astronomie ptoléméenne, contribua grandement à répandre la connaissance de cette Astronomie ; il semble que le premier des Latins qui l'ait adopté et prôné soit le franciscain Bernard de Verdun (fin du XIII^e siècle) qui avait lu les écrits de Bacon.

29. En leur Physique des choses sublunaires, les auteurs que nous venons de citer n'éprouvent plus les hésitations qui les rendent si perplexes leurs doctrines astronomiques ; ils suivent très exactement, à peu près en tout point, les opinions péripatéticiennes.

V. La Science d'observation et ses progrès – Les astronomes – La Statique de Jordanus – Thierry de Fribourg – Pierre de Maricourt

30. L'Averroïsme eût rendu impossible tout progrès scientifique ; il allait heureusement rencontrer, en la Chrétienté latine, deux puissants adversaires : la libre curiosité de la raison humaine et l'autorité de l'Église.
31. Les astronomes secouèrent rudement, au nom de la certitude engendrée par l'expérience, le joug que la Physique péripatéticienne prétendait leur imposer. L'École de Paris, en particulier, se fait remarquer par son sens critique et sa libre allure à l'égard des arguments d'autorité. En 1290, Guillaume de Saint-Cloud détermine, avec une remarquable exactitude, l'obliquité de l'écliptique et l'époque de l'équinoxe de printemps ; ses observations lui font reconnaître les inexactitudes qui entachent les *Tables de Tolède* dressées par Al Zarkali. ~~En la première moitié du XIV^e siècle,~~ La théorie de la précession des équinoxes imaginée par les astronomes du roi de Castille Alphonse X, et les *Tables alphonsines* dressées selon cette théorie, suscitent, en la première moitié du XIV^e siècle, les observations, les calculs et les discussions critiques des astronomes parisiens, particulièrement de Jean des Linières et de son élève Jean de Saxonia ou de Connaught.
32. À la fin du XIII^e siècle et au commencement du XIV^e siècle, la Physique des choses sublunaires doit aussi de grands progrès aux efforts simultanés des géomètres et des expérimentateurs, dont Roger Bacon vante la méthode et les découvertes, encore qu'il ~~n'ait pas ne prenne~~ qu'une part peu importante à leur labeur.
33. Jordanus [---] de Nemore (de Némi ?), mathématicien de talent, qui écrivit au plus tard vers le commencement du XIII^e siècle ses traités d'Arithmétique et de Géométrie, a laissé un très court traité de Statique où, à côté de propositions erronées, on trouve la loi de

l'équilibre du levier droit très correctement établie à l'aide du principe des déplacements virtuels. Le traité *De ponderibus* de Jordanus a provoqué les recherches de divers commentateurs : l'un d'eux dont le nom est inconnu et qui écrivit sûrement avant la fin du XIII^e siècle, a tiré du même principe des déplacements virtuels des démonstrations, admirables de rigueur et d'élégance, de la loi d'équilibre du levier coudé et de la pesanteur apparente (*gravitas secundum situm*) d'un grave sur un plan incliné.

34. Le *Traité de perspective* d'Ibn al Haitam (Alhazen) était fort lu par Roger Bacon et ses contemporains. Le franciscain anglais Jean Peckham (1228-1291) en donna un résumé. Le « thuringopolonus » Witelo ou Witek composa vers 1270 un volumineux traité d'Optique en X livres, qui demeura classique jusqu'au temps de Képler et que ce dernier commenta.
35. La théorie de l'arc-en-ciel avait grandement préoccupé Albert le Grand, Roger Bacon, Jean Peckham et Witelo ; tous, d'ailleurs, comme les météorologistes anciens, prenaient l'arc pour une image du soleil réfléchi en une sorte de miroir concave ~~que formait~~ formée [sic] par la nuée qui se résout en pluie. En l'an 1300, le dominicain Thierry de Fribourg, à l'aide d'expériences, fort bien conduites, où il employait des boules de verre remplies d'eau, montra que les rayons qui nous font voir l'arc ont été réfléchis à l'intérieur des gouttes d'eau sphériques, il traça très exactement la marche des rayons qui fournissent chacun des deux arcs-en-ciel.
36. La théorie de Thierry de Fribourg, du moins en ce qui concerne le premier arc-en-ciel, fut reproduite vers 1360 par Thémon le fils du Juif. Du commentaire aux *Météores* composé par ce dernier, elle passa, plus ou moins déformée, au temps de la Renaissance, dans les écrits d'Alessandro Piccolomini, de Simon Porta, de de Dominis et put ainsi se propager jusqu'au temps de Descartes.

37. L'étude de l'aimant avait également fait, au cours du XIII^e siècle, de très grands progrès ; l'aimantation permanente du fer, les propriétés des pôles magnétiques, le sens des actions que ces pôles éprouvent de la part de la terre ou qu'ils exercent les uns sur les autres se trouvent très précisément décrites en un traité composé en 1269 par Pierre de Maricourt (Petrus Peregrinus). Comme l'écrit de Thierry de Fribourg sur l'arc-en-ciel, l'*Epistola de magnetete* de Pierre de Maricourt est un modèle de l'art [...] d'enchaîner logiquement les expériences et les déductions.

IV. Les Articles de Paris (1277) – La possibilité du vide

38. Contre la superstition averroïste, servilement attachée à la parole d'Aristote, l'esprit de libre recherche trouva un auxiliaire puissant en l'autorité ecclésiastique.
39. L'Université de Paris s'était bien souvent inquiétée de l'antagonisme qui existait entre les dogmes chrétiens et certaines doctrines du Péripatétisme ; aussi, avait-elle, à plusieurs reprises, combattu l'influence d'Aristote. En 1277, Étienne Tempier, évêque de Paris, après avoir pris conseil des théologiens de la Sorbonne, condamna un grand nombre d'erreurs qui découlaient les unes de l'Astrologie et les autres de la Philosophie péripatéticienne. Parmi ces erreurs, jugées dangereuses pour la foi catholique, il en est plusieurs qui eussent entravé les progrès de la Science physique. Ainsi les théologiens de Paris déclaraient erronée l'opinion selon laquelle Dieu lui-même ne pourrait donner à l'Univers entier un mouvement rectiligne, car l'Univers laisserait le vide derrière lui ; ils déclaraient erronée l'opinion suivant laquelle Dieu lui-même ne pourrait créer plusieurs mondes. Ces condamnations ruinaient certains des fondements essentiels de la Physique péripatéti-

cienne ; telle proposition, absurde dans le système d'Aristote, devenait possible, au moins à l'égard de la toute puissance divine, en attendant que la Science la déclarât recûte comme vraie.

40. La Physique d'Aristote, par exemple, traitait l'existence d'un espace vide comme une pure absurdité ; en vertu des « articles de Paris », Richard de Middletown, vers 1280, et beaucoup de maîtres de Paris ou d'Oxford après lui, admirent que les forces de la nature s'opposent, il est vrai, à la production de tout espace vide, mais que la réalisation d'un tel espace n'est pas, en soi, contradictoire ; on pouvait donc, sans absurdité, raisonner sur le vide et sur le mouvement dans le vide ; or que de tels raisonnements fussent légitimes, cela était nécessaire pour que la Dynamique pût être créée.

VII. Le mouvement de la terre – Nicole Oresme

41. Les « articles de Paris » rendirent à la question du mouvement de la terre des services analogues à celui qu'ils ont rendu au progrès de la Dynamique en faisant regarder le vide comme concevable.
42. Pour Aristote, le ciel suprême se mouvait d'un mouvement de rotation uniforme et la Terre était absolument uniforme immobile ; ces deux propositions résultaient nécessairement des premiers principes relatifs au lieu et au temps ; on ne pouvait les nier sans absurdité. Que ces propositions ne s'imposassent pas de nécessité logique, les théologiens de la Sorbonne l'avaient déclaré en affirmant, contre elles, que Dieu pouvait mouvoir le Monde d'un mouvement rectiligne. Dès lors, tout en continuant à admettre qu'en fait, la Terre est immobile et le Ciel mû d'une rotation diurne, Richard de Middletown et Du Jean de Duns Scot (vers 1275-1308) commencèrent à discourir des hypothèses où ces corps seraient

animés d'autres mouvements, et toute l'École de Paris suivit leur exemple.

43. Bientôt, [...] le mouvement de la Terre fut, en cette École de Paris, enseigné non plus seulement comme une possibilité, mais comme une réalité.
44. Précisant, en effet, certaines indications d'Aristote et de Simplicius, on en vint à formuler ce principe qui, pendant trois siècles, allait jouer un grand rôle en Statique : Tout corps pesant tend à conjoindre son centre de gravité au centre du Monde.
45. En ses *Questions* sur le *De Caelo* d'Aristote, composées en 1368, Albert de Helmstädt ou de Saxe admettait ce principe et l'appliquait à la masse entière de l'élément terrestre ; le centre de gravité de cette masse tend constamment à se placer au centre du Monde ; mais au sein de la masse terrestre, la position du centre de gravité change sans cesse ; la principale cause de cette variation est l'érosion causée par les fleuves et les rivières qui rongent continuellement la terre ferme dont ils creusent les vallées, et qui entraînent au fond des mers les matières arrachées ; de là, un déplacement de poids qui entraîne, pour le centre de gravité, un continuel changement de situation ; la terre, pour replacer ce centre de gravité au centre du Monde, se meut sans cesse ; en même temps, un échange lent, mais continu, se produit entre les continents et les océans.
46. Albert de Saxe va jusqu'à penser que tels mouvements petits et incessants de la terre pourraient expliquer le phénomène de la précession des équinoxes.
47. Le même auteur nous apprend qu'un de ses maîtres, dont il ne nous donne pas le nom, se prononçait en faveur ~~du mouvement de~~ la rotation diurne de la terre ou, du moins, que ce maître réfutait les arguments que l'on opposait à ce mouvement.
48. Ce maître eut un disciple convaincu en Nicole Oresme. En 1377, celui-ci, alors chanoine de Rouen et bientôt évêque de Lisieux,

écrivit en français un commentaire au *Traité du Ciel* d'Aristote. Il y soutint avec autant de force que de clarté que l'expérience ni le raisonnement ne peuvent décider si le mouvement diurne appartient au Ciel des étoiles fixes ou à la Terre. Il montra également comment on doit interpréter les difficultés tirées « de la Sainte Écriture qui dit que le Soleil tourne etc. L'on dirait qu'elle se conforme en cette partie à la manière du commun parler humain, aussi comme elle fait en plusieurs lieux, comme là où il est écrit que Dieu se repentit, et se courrouça, et se rapaisa [sic], et telles choses qui ne sont pas ainsi comme la lettre sonne. ». Enfin Oresme indiqua plusieurs considérations favorables à l'hypothèse du mouvement diurne de la terre.

49. Pour réfuter l'une des objections que les péripatéticiens élevaient contre le mouvement diurne de la Terre, Oresme est amené à expliquer comment, en dépit de ce mouvement, les corps graves semblent tomber suivant la verticale ; il admet que leur mouvement réel se compose d'une chute suivant la verticale et d'une rotation diurne identique à celle qu'ils auraient s'ils étaient relié [sic] à la terre ; c'est exactement le principe qu'invoquera encore Galilée.

VIII. La pluralité des mondes

50. Aristote soutenait que l'existence simultanée de plusieurs mondes serait une absurdité ; le principal argument invoqué par lui était tiré de sa théorie de la pesanteur ; il en concluait qu'il ne saurait exister deux terres distinctes, entourées chacune de leurs éléments, en sorte qu'il serait absurde d'assimiler chacune des planètes à une terre semblable à la nôtre.

51. Les théologiens de Paris, en 1277, condamnèrent cette doctrine comme négation de la toute puissance créatrice de Dieu ; aussi, Richard de Middletown et Henri de Gand, qui écrivaient vers 1280, Guillaume Varon, qui commentait les *Sentences* vers 1300, puis, vers 1320, Jean de Bassols, Guillaume d'Ockam (mort après 1347), Walter Burleigh (mort après 1343) n'hésitèrent pas à déclarer que Dieu pouvait créer plusieurs mondes semblables au nôtre. Cette doctrine fut adoptée par plusieurs des maîtres parisiens ; elle exigeait que la théorie de la pesanteur et du lieu naturel, développée par Aristote, fût profondément remaniée ; on lui substitua, en effet, la théorie suivante : Si l'on détache quelque partie de l'un des éléments qui forment un monde et si on l'éloigne de ce monde, elle tend à se porter vers le monde auquel elle appartient et dont elle a été séparée ; en chaque monde, les éléments tendent à se disposer de telle sorte que les plus lourds soient au centre et les plus légers à la surface ; cette théorie de la pesanteur apparaît déjà dans les écrits de Jean Buridan, de Béthune, recteur de l'Université de Paris en 1327 et qui enseigna en cette Université jusqu'au voisinage de l'an 1360 ; en 1377, Nicole Oresme la propose formellement. Cette théorie est celle qu'adopteront Copernic et ses premiers partisans, que garderont Galilée, Guillaume Gilbert et Otto de Guericke.

IX. La Dynamique – La théorie de l'*impetus*. L'inertie – Identité de la Mécanique céleste et de la Mécanique sublunaire

52. Si la théorie péripatéticienne de la pesanteur s'est vue profondément transformée par l'École de Paris, la Dynamique d'Aristote n'y a pas été moins complètement bouleversée.
53. Convaincu qu'en tout mouvement, le moteur doit être directement contigu au mobile, le Stagirite avait proposé une étrange théorie

du mouvement des projectiles ; il admettait que le projectile était mû par le milieu fluide, air ou eau, que ce projectile traversait, ~~et cela~~ en vertu de l'ébranlement que ce fluide avait reçu au moment du lancement et qui se propageait en lui. Cette explication avait été vivement combattue, au VI^e siècle de notre ère, par le Stoïcien chrétien Jean Philopon ; ~~Philopon soutenait que selon Philopon,~~ le projectile ~~continuerait à se mouvoir~~ est mû par une certaine vertu [...] qui a été imprimée en lui au moment où il a été lancé ; mais, en dépit des objections de Philopon, les divers commentateurs d'Aristote et, en particulier, Averroès avaient continué d'attribuer le mouvement du projectile à l'ébranlement de l'air ; Albert le Grand, saint Thomas d'Aquin, Roger Bacon, Gilles de Rome, Walter Burley avaient gardé cette erreur.

54. Par une très vive argumentation, Guillaume d'Ockam mit en évidence toute l'absurdité de la théorie péripatéticienne du mouvement des projectiles. Reprenant la thèse de Jean Philopon, Jean Buridan donna le nom d'*impetus* à la vertu ou puissance imprimée dans le projectile par la main ou par l'instrument qui le lance ; il admit qu'en un mobile donné, cet *impetus* était d'autant plus grand que la vitesse était plus grande ; en des mobiles différents, mûs avec la même vitesse, les quantités d'*impetus* sont proportionnels à la masse ou quantité de matière définie comme la définira Newton.
55. En un projectile, l'*impetus* est peu à peu détruit par la résistance de l'air ou du milieu ; il l'est aussi par la pesanteur naturelle du mobile, dont la tendance est opposée à celle de l'*impetus* si le projectile a été lancé vers le haut ; par cette lutte, s'expliquent les diverses particularités du mouvement des projectiles.

56. En un corps qui tombe, la gravité vient en aide à l'*impetus* ; elle accroît donc d'instant en instant cet *impetus*, en sorte que la vitesse de chute croît sans cesse.
57. À l'aide de ces principes relatifs à l'*impetus*, Buridan rend compte des oscillations du pendule ; il analyse également le mécanisme du choc et du rebondissement ; à cette occasion, il émet des vues fort justes sur les déformations et les réactions élastiques qui ont leur siège dans les parties contiguës de deux corps qui se choquent. Presque toute cette doctrine de l'*impetus* se transforme en une théorie mécanique très correcte si l'on a soin de substituer le mot *force vive* au mot *impetus*.
58. La Dynamique ~~soutenue~~ exposée par Jean Buridan fut pleinement adoptée par Albert de Saxe, par Nicole Oresme et par toute l'école de Paris. Albert de Saxe y joignit une précision ; il admit que la vitesse d'un grave qui tombe devait être proportionnelle soit au temps écoulé depuis le début de la chute, soit à la distance parcourue pendant ce temps.
59. En un projectile, l'*impetus* se détruit peu-à-peu soit par la résistance du milieu, soit par la tendance contraire de la gravité naturelle au corps ; là où ces causes de destruction n'existeraient pas, l'*impetus* demeurerait perpétuellement le même ; ainsi en serait-il d'une meule exactement centrée et qui ne frotterait pas sur son axe ; une fois lancée, elle tournerait indéfiniment avec la même vitesse ; c'est sous cette forme que la *loi d'inertie* s'est manifestée tout d'abord à Jean Buridan et à Albert de Saxe.
60. Les circonstances qui se présenteraient en cette meule hypothétique se trouvent réalisées dans les orbes célestes ; il n'y a là ni frottement, ni pesanteur qui contrarie le mouvement ; on peut donc admettre que chaque orbe céleste se meut indéfiniment en vertu d'un *impetus* convenable que Dieu lui a communiqué au mo-

ment de la création ; il est inutile d'imiter Aristote et ses commentateurs, et d'attribuer le mouvement de chaque orbe à une intelligence préposée à cet orbe. Telle est l'opinion proposée par Jean Buridan et adoptée par Albert de Saxe ; en même temps qu'ils formulent une doctrine d'où sortira la Dynamique moderne, ces maîtres entendent que la même Dynamique régisse les corps célestes et les corps sublunaires.

61. Une telle pensée va directement contre la distinction essentielle que la Physique antique avait établie entre ces deux sortes de corps. D'ailleurs, à la suite de Guillaume d'Ockam, les maîtres de Paris rejettent cette distinction ; ils admettent que la matière des corps célestes est de même nature que ~~les corps~~ la matière des corps sublunaires ; si les premiers demeurent perpétuellement les mêmes, ce n'est pas qu'ils soient, par nature, incapables de changement et de destruction ; c'est simplement parce que le lieu où ils se trouvent ne renferme aucun agent qui les puissent corrompre.
62. Un siècle s'est écoulé entre les condamnations portées par Étienne Tempier (1277) et la rédaction du *Traité du Ciel et du Monde* par Nicole Oresme (1377) ; durant ce siècle, tous les principes essentiels de la Physique d'Aristote ont été sapés par la base, et les grandes idées directrices de la Science moderne ont été formulées. Cette révolution a été surtout l'œuvre des franciscains venus d'Oxford, comme Richard de Middletown, Jean de Duns Scot et Guillaume d'Ockam, puis des maîtres de l'École de Paris, héritiers de la tradition que ces franciscains avaient inaugurée ; parmi ces maîtres, Jean Buridan, Albert de Saxe et Nicole Oresme méritent le premier rang.

X. La diffusion des doctrines de Paris en Allemagne et en Italie – Georges de Peurbach et Regiomontanus – Nicolas de Cues – Léonard de Vinci

63. [...] Le grand schisme d'Occident jeta l'Université de Paris en des querelles politiques religieuses d'une extrême violence ; les malheurs amenés par la lutte des Armagnacs et des Bourguignons et par la guerre de cent ans achevèrent ce que ces querelles avaient commencé ; le progrès merveilleux que la Science avait fait, au XIV^e siècle, en l'Université de Paris, se trouva brusquement arrêté.
64. Le schisme, toutefois, en poussant hors de Paris bon nombre de maîtres qui y avaient brillamment enseigné, contribua à la diffusion des doctrines qu'ils y avaient professées. En 1386, Marsile d'Inghen († 1396), après avoir été l'un des plus brillants professeurs de l'Université de Paris, devenait recteur de la toute jeune université de [...] Heidelberg ; il y apportait les théories dynamiques de Buridan et d'Albert de Saxe.
65. Vers la même temps époque, un autre maître réputé de Paris, Henri Heinbuch de Hesse, contribuait grandement à la fondation de l'Université de Vienne ; en même temps que sa science théologique, il y apportait la tradition astronomique des Jean des Linières et des Jean de Saxe. Cette tradition se poursuivait conserva à Vienne et s'y développa magnifiquement pendant tout le XV^e siècle ; elle prépara l'œuvre de Georges de Peurbach (1423-1461) et de son disciple Jean Müller de Kœnigsberg, surnommé Regiomontanus (1436-1476). Écrire des traités propres à faire connaître le système de Ptolémée, imaginer et construire des instruments précis, multiplier les observations, calculer des tables et des éphémérides plus exactes que celles dont les astronomes usaient jusqu'alors, telle fut la besogne à laquelle Peurbach et Regiomontanus consacrèrent leur prodigieuse activité ; en perfectionnant

tous les détails des théories de Ptolémée, qu'ils ne révoquaient aucunement en doute, ils contribuèrent grandement à mettre en évidence les défauts de ces théories et à préparer les matériaux au moyen desquels Copernic allait construire son Astronomie nouvelle.

66. L'Averroïsme florissait dans les Universités italiennes de Padoue et de Bologne, célèbres par leur attachement aux doctrines du Péripatétisme ; cependant, ~~au~~ dès le début du XV^e siècle, les opinions de Paris commencèrent à pénétrer en ces Universités, grâce à l'enseignement de Paul Nicoletti de Venise (fl. ca. 1420) ; [...] elles y furent développées par son élève Gaëtan de Tiène († 1465) ; la Dynamique de l'*impetus*, en particulier, fut propagée par ces maîtres en Italie.
67. Vers le temps où Paul de Venise enseignait à Padoue, Nicolas Crypfs, de Cues sur la Moselle (1401-1464) y vint prendre le doctorat en droit ; est-ce alors que le futur évêque de Brixen, le futur cardinal, s'initia à la Physique de l'École de Paris ? Toujours est-il qu'il adopta, de cette Physique, les doctrines les moins péripatéticiennes. La Dynamique de l'*impetus* trouva en lui un adepte convaincu ; comme Jean Buridan, comme Albert de Saxe, il attribua le mouvement des sphères célestes à l'*impetus* que Dieu leur avait communiqué en les créant et qui se perpétuait parce qu'il ne trouvait en ces sphères aucune cause de destruction. Il admit que la Terre se mouvait incessamment et que ce mouvement pouvait être la cause de la précession des équinoxes. En une note qui fut découverte longtemps après sa mort, il allait jusqu'à attribuer à la Terre une rotation diurne. Il imagina que le Soleil, la Lune, les planètes étaient autant de systèmes dont chacun contenait une terre et des éléments analogues à notre terre et à nos éléments ; pour rendre compte de la manière d'agir de la gravité en chacun

de ces systèmes, il suivait exactement la théorie de la pesanteur proposée par Nicole Oresme.

68. L'adepte le plus convaincu que la Physique parisienne ait rencontré en Italie est peut-être Léonard de Vinci (1452-1519). Observateur sagace et doué d'une insatiable curiosité, le génial artiste avait étudié un grand nombre d'ouvrages parmi lesquels nous pouvons citer les divers traités de l'École de Jordanus de Nemore, divers livres d'Albert de Saxe et, très vraisemblablement, les œuvres de Nicolas de Cues ; fécondant ces influences diverses les unes par les autres, il a formellement énoncé ou simplement entrevu un grand nombre d'idées nouvelles.
69. La Statique de l'École de Jordanus l'a conduit à découvrir, sous la forme que voici, la loi de composition des forces concourantes : Les deux composantes ont des moments égaux par rapport à la direction de la résultante ; la résultante et l'une des composantes ont des moments égaux par rapport à la direction de l'autre composante. La Statique dérivée des propositions propriétés qu'Albert de Saxe attribuait au centre de gravité l'a conduit à reconnaître la loi du polygone de sustentation et à déterminer le centre de gravité du tétraèdre.
70. Il a également donné la loi d'équilibre de deux liquides de densités différentes en des tubes communicants ; le principe des déplacements virtuels semble l'avoir conduit à reconnaître la loi hydrostatique dite de Pascal.
71. Léonard n'a cessé de méditer sur les propriétés de l'*impetus* qu'il nomme *impeto* ou *forza* ; les propositions qu'il formule au sujet de cette [...] vertu sont, bien souvent, des aperceptions déjà nettes de la loi de la conservation de l'énergie ; ces propositions le conduisent à des conclusions remarquablement justes et précises touchant l'impossibilité du mouvement perpétuel.

72. Il méconnaît, malheureusement, la féconde ~~application~~ explication que la théorie de l'*impetus* donnait de l'accélération en la chute des graves ; comme les péripatéticiens, il attribue cette accélération à l'impulsion de l'air ambiant. En revanche, il affirme avec la plus grande netteté que la vitesse d'un corps qui tombe librement est proportionnelle à la durée de la chute, et il sait de quelle manière cette loi s'étend à la chute sur un plan incliné ; lorsqu'il veut déterminer comment le chemin parcouru par un grave qui tombe est lié à la durée de la chute, il se laisse embarrasser par une difficulté à laquelle, au XVII^e siècle, achopperont également Baliani et Gassendi.
73. Léonard est vivement préoccupé par ~~la théo~~ l'analyse des déformations élastiques et des réactions élastiques qui font rebondir un corps après qu'il en a choqué un autre ; cette doctrine que Buridan, Albert de Saxe et Marsile d'Inghen avaient formulée, il l'étend de manière à en tirer l'explication du vol des oiseaux ; ce vol est une alternative de chutes pendant lesquelles l'oiseau comprime l'air qui se trouve au-dessous de lui, et de rebondissements dûs [sic] à la force élastique de cet air ; jusqu'au moment où le grand peintre découvrit cette explication, on s'était acharné à regarder la question du vol de l'oiseau comme un problème de Statique et à assimiler ce vol à la natation du poisson dans l'eau.
74. Léonard de Vinci a attaché une extrême importance aux vues qu'Albert de Saxe avait développées touchant l'équilibre de la terre ; comme le maître parisien, il admet que l'érosion change sans cesse, au sein de la masse terrestre, la situation du centre de gravité de cette masse, et que la terre se meut continuellement pour replacer ce centre de gravité au centre du Monde. Ces petits mouvements incessants finissent par amener à la surface des continents les parties terrestres qui occupaient le fond des océans ;

pour mettre hors de doute cette assertion d'Albert de Saxe, Léonard se livre, au sujet des fossiles, à des observations d'une extrême sagacité qui en font le créateur de la Stratigraphie.

75. En un grand nombre de passages de ses notes, Léonard admet, comme Nicolas de Cues, que la Lune et les autres astres errants sont des terres analogues à la nôtre, portant des mers et entourées d'air ; le développement de cette opinion le conduit à ~~admettre pour sujet~~ parler de la gravité qui, à chacun de ces astres, rattache les éléments qui lui appartiennent ; ~~au sujet de cette gravité, il professe~~ une théorie semblable à celle que Nicole Oresme avait proposée.
76. Le Vinci nous apparaît donc, presque en toutes circonstances, comme un fidèle disciple des grands maître parisiens du XIV^e siècle, de Buridan, d'Albert de Saxe et de Nicole Oresme.

XI. L'Averroïsme italien ; ses tendances routinières – Essais de restauration de l'Astronomie des sphères homocentriques

77. Tandis que l'influence anti-péripatéticienne de l'École de Paris poussait le Vinci à ~~une vérita~~ récolter une véritable moisson de découvertes, le culte idolâtrique et stérile des idées mortes trouvait, en Italie, une foule d'adeptes ~~dont la~~ d'une surprenante servilité. Les Averroïstes ne voulaient rien reconnaître pour vrai qui ne fût conforme à la pensée d'Aristote interprétée par le Commentateur de Cordoue ; avec Pomponazzi (1462-1526), les Alexandristes, cherchant leur inspiration plus haut dans le passé, ~~ne voulaient pas se refusaient à~~ comprendre Aristote autrement que ne l'avait compris Alexandre d'Aphrodisias ; soucieux exclusivement de la pureté de la forme, les Humanistes ne consentaient à user d'aucun langage technique et rejetaient toute idée qui n'était pas assez vague pour agréer à l'orateur ou au poète ; Averroïstes,

Alexandristes, Humanistes faisaient trêve à leurs discussions acharnées pour s'unir contre le *style de Paris*, contre la *Logique de Paris*, contre la *Physique de Paris*.

78. À quels ~~on a pu~~ degré excès d'absurdité ces esprits routiniers se portaient, ~~on a pu~~ il est difficile de l'imaginer. On vit un grand nombre de physiciens, dédaigneux de la théorie parisienne de l'*impetus*, revenir à l'absurde l'insoutenable Dynamique d'Aristote et soutenir que le projectile est mû par l'air ambiant. Un professeur averroïste de Padoue, Nicolò Vernias de Chieti enseignait, en 1499, que si le corps grave tombe, c'est par suite du mouvement de l'air [...] qui l'entoure.
79. L'adoration servile du Péripatétisme porta beaucoup de soi-disant philosophes à rejeter le système de Ptolémée, le seul qui pût, à ce moment, contenter les légitimes exigences des astronomes, et à [...] reprendre l'hypothèse des sphères homocentriques ; ils tenaient pour nulles et non avenues les innombrables observations qui manifestent les changements de la distance de chaque astre errant à la Terre. Alessandro Achillini de Bologne (1463-1512), Averroïste intransigeant, adversaire convaincu de la théorie de l'*impetus* et de toutes les doctrines parisiennes, inaugura, par son traité [...] *De orbibus* (1498), cette étrange réaction contre l'Astronomie de Ptolémée ; Agostino Nifo (1473-1538) travailla à la même besogne en un écrit qui ne nous est pas parvenu ; Girolamo Fracastor (1483-1553) donne, en 1535, son livre *De homocentricis*, Gianbattista Amico en 1536, Giovanni Antonio Delfino en 1559 publient des opuscules qui s'efforcent de restaurer le système des sphères homocentriques.

XII. La révolution copernicaine

80. Bien que dirigées par les tendances les plus contraires au véritable esprit scientifique, les essais averroïstes destinés à restaurer l'Astronomie des sphères homocentriques servirent peut-être les progrès de la Science. Ils habituèrent les physiciens à la pensée que le Système de $\text{C}\text{œ}\text{p}$ Ptolémée n'était point la seule doctrine astronomique possible, ni même la meilleure que l'on pût souhaiter. Par-là, ils préparèrent à leur manière la révolution copernicaine.
81. Les mouvements avant-coureurs de cette révolution se pouvaient discerner, au milieu du XIV^e siècle, dans les écrits du Cardinal Nicolas de Cues, au commencement du XV^e siècle, dans les notes de Léonard de Vinci ; Nicolas de Cues et Léonard de Vinci étaient tous deux adeptes de la Physique parisienne.
82. Le protonotaire apostolique Celio Calcagnini proposa, à son tour, d'expliquer le mouvement diurne des astres en attribuant à la Terre une rotation d'occident en orient, complète en un jour sidéral. Sa dissertation : *Quod Cælum Stet, Terra vero moveatur* fut imprimée seulement en 1544, en l'édition posthume des œuvres de l'auteur ; elle paraît [sic] avoir été écrite vers 1530. Calcagnini admet que la Terre, primitivement en équilibre au centre du Monde, a reçu une première impulsion qui lui a communiqué un mouvement de rotation ; ce mouvement, auquel rien ne s'oppose, se conserve indéfiniment, en vertu du principe posé par Jean Buridan et reçu par Albert de Saxe et par Nicolas de Cues. La rotation diurne de la Terre est accompagnée, selon Calcagnini, d'une oscillation qui explique le mouvement de précession des équinoxes. Une autre oscillation met en mouvement les eaux de la mer et détermine le flux et le reflux ; cette dernière hypothèse sera conservée par André Césalpin (1519-1603) en ses *Quæstiones peripa-*

teticæ (1569) ; Galilée s'en inspirera et cherchera malencontreusement dans le phénomène des marées sa preuve favorite du mouvement de la Terre.

83. Les *De revolutionibus orbium cælestium libri sex* furent imprimés en 1543, peu de mois après la mort de Nicolas Copernic (1473-1543) ; mais les principes du système astronomique proposé par cet homme de génie avaient été publiés dès [...] 1539 en la *Narratio prima* de son disciple Joachim Rhaeticus (1514-1576).
84. De l'ancienne Astronomie, Copernic garda l'hypothèse que le Monde est sphérique et limité, et que tous les mouvements célestes sont décomposables en mouvements circulaires et uniformes ; mais il rendit immobile le Ciel des étoiles fixes et le soleil, placé au centre de ce Ciel ; à la Terre, il attribua trois mouvements : une circulation par laquelle le centre de la Terre décrit [...] avec une vitesse uniforme un cercle, situé dans le plan de l'écliptique et excentrique au Soleil ; une rotation diurne autour d'un axe incliné sur l'écliptique ; enfin une rotation de cet axe autour d'un axe normal à l'écliptique et passant par le centre de la Terre ; la durée de cette dernière rotation est un peu plus longue que la durée de la circulation du centre de la Terre, ce qui produit le phénomène de la précession des équinoxes. Aux cinq planètes, Copernic attribue des mouvements analogues à ceux dont la Terre est pourvue. La Lune circule autour de la Terre.
85. Des hypothèses de Copernic, la plus neuve est celle qui consiste à faire circuler la Terre autour du Soleil. Nul, depuis Aristarque de Samos et Séleucus, ne l'avait adoptée ; les astronomes du Moyen-Âge l'avaient tous rejetée parce qu'ils supposaient les étoiles beaucoup trop rapprochées de la Terre et du Soleil, et qu'une circulation annuelle de la Terre eût alors donné aux étoiles une parallaxe sensible. Au contraire, divers auteurs, nous l'avons vu,

avaient proposé d'attribuer à la Terre soit l'un, soit l'autre, des deux mouvements que Copernic adjoint à la circulation annuelle.

86. Pour sauver l'hypothèse du mouvement diurne de la Terre des objections formulées par la Physique péripatéticienne, Copernic invoque exactement les mêmes raisons que Nicole Oresme ; c'est aussi la théorie de la gravité proposée par Nicole Oresme qu'il admet pour expliquer comment chaque planète retient les diverses parties de ses éléments. Copernic se montre disciple de la Physique parisienne jusqu'en cette opinion qu'il indique accidentellement : l'accélération de la chute des corps pesants s'explique par l'accroissement continu que l'*impetus* reçoit de la gravité.

XIII. La fortune du système de Copernic au XVI^e siècle

87. Copernic et son disciple Joachim Rhæticus regardaient vraisemblablement les mouvements attribués par leur théorie à la Terre et aux planètes, le repos du Soleil et du Ciel des étoiles fixes comme étant les véritables mouvements ou le véritable repos de ces corps. Les *De revolutionibus orbium cælestium libri sex* parurent avec une préface anonyme ~~qui exprimait qu'inspirait~~ une toute autre pensée ; cette préface était l'œuvre du théologien luthérien André Hossmann, dit Osiander (1498-1552) ; Osiander y exprimait cette opinion que les hypothèses proposées par les astronomes en général, et par Copernic en particulier, ne prétendent aucunement nous faire connaître la réalité des choses ; « *Neque enim necesse est eas hypotheses esse veras, imo, ne verisimiles quidem, sed sufficit hoc unum si calculum observationibus congruentem exhibeant.* »
88. L'opinion professée par Osiander au sujet des hypothèses astronomiques n'était pas nouvelle ; dès l'Antiquité hellénique, nombre de penseurs avaient soutenu que ces hypothèses n'avaient d'autre objet que de *sauver les apparences*, σώζειν τὰ φαινόμενα ; cette manière de voir n'avait cessé d'être, en l'Antiquité aussi bien

qu'au Moyen Âge, celle des philosophes qui voulaient user de l'Astronomie de Ptolémée tout en conservant la Physique péripatéticienne, incompatible avec cette Astronomie.

89. La doctrine d'Osiander fut donc très volontiers reçue, tout d'abord, par les astronomes ; sans croire que le mouvement de la Terre fût une réalité, ils acceptèrent avec admiration les combinaisons cinématiques imaginées par Copernic ; ils trouvaient, en ces combinaisons, le moyen de figurer le mouvement de la Lune et le phénomène de la précession des équinoxes beaucoup mieux que le système de Ptolémée ne le pouvait faire.
90. L'un des astronomes qui adoptèrent le plus nettement cette attitude à l'égard du système de Ptolémée fut Erasmus Reinhold (1511-1553) ; bien qu'il n'admit pas le mouvement de la Terre, il professait une grande admiration pour le système de Copernic ; il se servit de ce système pour calculer des tables astronomiques nouvelles, les *Prutenicæ tabulæ* (1551) ; ces tables contribuèrent grandement à répandre parmi les astronomes l'usage des combinaisons cinématiques imaginées par Copernic.
91. Les *Prutenicæ tabulæ* furent notamment employées par la commission qui, en 1582, réalisa la réforme grégorienne du calendrier ; sans croire au mouvement de la terre, les membres de cette commission n'hésitaient pas à user de tables fondées sur une théorie de la précession des équinoxes qui attribuait à la terre un certain mouvement.
92. Toutefois, cette liberté laissée à l'astronome d'user de toute hypothèse propre à sauver les phénomènes ne tarda pas à se trouver restreinte par les exigences des philosophes péripatéticiens et des théologiens protestants.

93. Osiander avait adjoint sa célèbre préface au livre de Copernic dans le but d'éviter les attaques des théologiens ; il n'y parvint pas.
94. Martin Luther (1483-1546), en ses *Tischreden* avait été le premier à s'indigner de l'impiété de ceux qui admettent l'hypothèse du mouvement terrestre repos solaire. Bien qu'il reconnût les avantages purement astronomiques du système de Copernic, Philippe Schwarzerde, dit Mélanchthon (1497-1560) combattit fortement l'hypothèse du mouvement de la Terre (1549), non seulement à l'aide des arguments que lui fournissait la Physique péripatéticienne, mais aussi et surtout à l'aide de nombreux textes tirés de l'Écriture Sainte. Le gendre de Mélanchthon, Caspar Peucer (1525-1602), tout en s'efforçant de mettre sa théorie des planètes en harmonie avec les progrès que le système copernicain y avait accomplis, rejetait comme absurdes les hypothèses de Copernic (1571).
95. On en vint alors à exiger des hypothèses astronomiques non seulement, comme le voulait Osiander, qu'elles donnassent par le calcul des conséquences conformes aux faits, mais encore qu'elles ne se trouvassent réfutées « ni au nom des principes de la Physique, ni au nom de l'autorité de l'Écriture Sainte. » Ce critérium [sic] fut explicitement et clairement formulé dès 1578 par un luthérien, le grand astronome danois Tycho-Brahé (1546-1601) ; c'est précisément en vertu de cette double exigence que les doctrines de Galilée devaient, en 1616 et en 1633, être condamnées par l'Inquisition.
96. Désireux de n'admettre aucune hypothèse qui allât soit contre la Physique d'Aristote, soit contre la lettre des Saintes Écritures, désireux de garder aussi tous les avantages astronomiques du système de Copernic, Tycho Brahé proposa un système nouveau ; celui-ci consistait, à très peu près, à laisser la Terre immobile et à

mouvoir les autres corps célestes de telle sorte que leurs déplacements relativement à la Terre demeuraissent les mêmes que le système de Copernic.

97. D'ailleurs, bien qu'il se fût posé en défenseur de la Physique d'Aristote, Tycho Brahé lui porta un coup funeste ; en 1572, une étoile inconnue jusqu'alors parut dans la constellation de Cassiopeée ; en montrant, par des observations précises, que l'astre nouveau était vraiment une étoile fixe, Tycho Brahé prouva avec évidence que le monde céleste n'était point, comme le voulait Aristote, formé d'une substance exempte de la génération et de la destruction.
98. Jusqu'au temps de Tycho Brahé, l'Église catholique ne s'était pas seulement montré indifférente à l'hypothèse du mouvement de la Terre ; c'est parmi ses membres que cette hypothèse avait trouvé ses premiers défenseurs. Nous savons qu'au milieu du XIV^e siècle, elle trouvait des partisans au sein de la très orthodoxe université de Paris ; Nicole Oresme est chanoine de Rouen au moment où il la défend, et, tout aussitôt, il est promu Évêque de Lisieux ; Nicolas de Cues est évêque de Brixen, cardinal, chargé d'importantes négociations par les papes Eugène IV, Nicolas V et Pie II ; Celio Calcagnini est protonotaire apostolique ; Nicolas Copernic est chanoine de Thorn ; c'est le cardinal Schomberg qui le presse de publier son ouvrage dont le pape Paul III accepte la dédicace. Nicole Oresme avait, d'ailleurs, clairement montré comment devaient s'interpréter les passages de l'Écriture que l'on prétendait opposer au système de Copernic, et, en 1584, Didacus a Stunica de Salamanque trouvait dans l'Écriture d'autres textes que l'on pouvait tout aussi sûrement invoquer en faveur du mouvement de la Terre. Cependant, en 1595, le Sénat protestant de l'Université de Tübingen obligeait Johann Kepler à retrancher, en

son *Mysterium cosmographicum*, le chapitre où il tentait d'accorder le système de Copernic avec l'Écriture.

99. Le Père jésuite Christophe Clavius (1537-1612), l'un des membres influents de la commission qui réforma le calendrier, semble être le premier astronome catholique qui ait adopté ~~la manière~~ le double critérium [sic] imposé par Tycho Brahé aux hypothèses astronomiques et qui ait jugé (1581) que les suppositions de Copernic devaient être rejetées comme contraires à la fois à la Physique péripatéticienne et aux textes de l'Écriture ; à la fin de sa vie, d'ailleurs, et sous l'influence des découvertes de Galilée, Clavius paraît avoir conçu des sentiments beaucoup plus favorables aux doctrines copernicaines.
100. Les adversaires de la philosophie d'Aristote se ralliaient volontiers au système de Copernic dont ils regardaient les hypothèses comme autant ~~d'~~ de propositions physiquement vraies ; ainsi faisaient Pierre La Ramée, dit Ramus (1502-1572) et surtout Giordano Bruno (vers 1550-1600). La Physique que développe Bruno ~~et qu'il~~ et en laquelle il incorpore l'hypothèse copernicaine procède de Nicolas de Cues, mais aussi et surtout de la Physique que l'on enseignait au XIV^e siècle à l'Université de Paris ; l'étendue infinie de l'Univers, la multiplicité des mondes étaient admises comme possibles ~~depuis~~ par beaucoup de théologiens depuis la fin du XIII^e siècle ; le mouvement lent qui fait passer à la surface les parties centrales de la terre était enseigné par Albert de Saxe avant de retenir l'attention de Léonard de Vinci ; la solution des arguments péripatéticiens contre le mouvement de la Terre, la théorie de la pesanteur que requiert [...] l'assimilation entre la terre et les planètes semblent empruntées par Bruno à Nicole Oresme.
101. L'apostasie et les hérésies qui firent, en 1600, condamner Giordano Bruno n'avaient rien à voir avec les doctrines physiques

qu'il avait adoptées et, en particulier, avec l'astronomie copernicaine. En fait, il ne paraît pas qu'au XVI^e siècle, l'Église ait manifesté la moindre inquiétude à l'égard du système de Copernic.

XIV. La théorie des marées

102. C'est sans doute aux grandes navigations qui ont illustré la fin du XV^e siècle qu'il faut attribuer l'importance prise, au XVI^e siècle, par le problème des marées et les progrès considérables faits, à cette époque, ~~par~~ vers la solution de ce problème.
103. La corrélation qui existe entre le phénomène du flux et du reflux et le cours de la Lune était connue dès l'antiquité ; Posidonius l'avait exactement décrite ; les astronomes arabes la connaissaient également et l'exposé qu'au IX^e siècle, Albumasar en avait donné en son *Introductorium magnum ad Astronomiam* demeura classique pendant tout le Moyen-Âge.
104. L'observation du phénomène des marées conduisait donc tout naturellement à la supposition que la Lune attire les eaux de la mer ; dès le XIII^e siècle, Guillaume d'Auvergne compare cette attraction à celle que l'aimant exerce sur le fer.
105. La seule attraction de la Lune ne suffit pas, cependant, à rendre compte de l'alternance des vives-eaux et des mortes-eaux ; ce phénomène indique nettement qu'une certaine intervention du Soleil doit être invoquée. L'idée de superposer deux marées, l'une due au Soleil et l'autre à la Lune, apparaît, sous une forme bien vague encore, en la seconde moitié du XIV^e siècle, dans les *Questions sur les livres des Météores* composées par Thémon le fils du Juif.

106. Cette idée fut affirmée de la manière la plus nette, en 1528, par un Dalmate qui enseignait la médecine à Padoue, Frédéric Grisogone de Zara. Grisogone admet que, sous l'action seule de la Lune, la mer prendrait une figure ovoïde dont le grand axe serait dirigé vers le centre de la Lune ; l'action du Soleil lui donnerait, de même, la forme d'un ovoïde, moins allongé que le premier, dont le grand axe serait dirigé vers le centre du Soleil ; la variation du niveau de la mer à chaque instant et en chaque lieu s'obtient en ajoutant l'élévation ou la dépression que produirait la seule marée solaire à l'élévation ou à la dépression que produirait la seule marée lunaire.
107. En 1557, Cardan (Girolamo Cardano, 1501-1576) admet et expose brièvement la théorie de Frédéric Grisogone. En 1559, un ouvrage posthume de Frédéric Delfino donnait, de l'allure de la marée, une description identique à celle qui se déduit du mécanisme imaginé par Grisogone. Paolo Gallucci en 1588, Annibale Raimondo en 1589 reproduisent la doctrine du médecin dalmate. Enfin, en 1600, Claude Duret, plagiant impudemment l'opuscule de Delfino, fait connaître en France la description des marées que donne cet opuscule.

XV. La Statique du XVI^e siècle – Simon Stevin

108. Cardan s'inspire indifféremment, en ce qu'il écrit sur la Statique, des écrits d'Archimède et des traités de l'École de Jordanus ; vraisemblablement aussi, il plagie les notes laissées par Léonard de Vinci ; c'est peut-être à ces notes qu'il emprunte ce théorème : Un système pesant est en équilibre lorsque le centre de gravité de ce système est le plus bas possible.
109. Nicolò Tartaglia (vers 1500-1557), l'antagoniste de Cardan, plagie impudemment le traité, qu'il croit oublié, d'un commentateur

de Jordanus ; le fidèle disciple de Cardan, Ferrari, reproche durement à Tartaglia ce vol qui a cependant l'avantage de remettre en vogue certaines découvertes de la Statique au XIII^e siècle, notamment la loi d'équilibre d'un grave soutenu par un plan incliné.

110. Par un autre plagiat, non moins cynique, Tartaglia publie sous son nom une traduction du *Traité des corps flottants* d'Archimède que Guillaume de Moerbeke avait faite à la fin du XIII^e siècle. Cette publication malhonnête n'en contribua pas moins à remettre en honneur l'étude des travaux mécaniques d'Archimède ; cette étude eut la plus grande influence sur les progrès de la science à la fin du XVI^e siècle et au début du XVII^e siècle ; le concours des méthodes mathématiques d'Archimède et de la Physique parisienne a engendré le mouvement qui aboutit à l'œuvre de Galilée.
111. La traduction et le commentaire des travaux d'Archimède sollicita l'attention de divers géomètres tels que François Maurolycus de Messine (1494-1575) et Frédéric Commandin d'Urbino (1509-1575) ; ces deux auteurs, continuant l'œuvre du génial Syracusain, déterminaient la position du centre de gravité de divers solides. Commandin traduisait et commentait, en outre, les *Collections mathématiques* de Pappus et le fragment des *Mécaniques* de Héron d'Alexandrie qui s'y trouvait joint.
112. L'admiration pour ces monuments de la Science antique provoqua, chez nombre d'Italiens, un profond dédain de la Statique du Moyen Âge ; la fécondité du principe des déplacements virtuels, si heureusement employé par l'École de Jordanus de Nemore, fut méconnue ; privée des lois que cette École avait découvertes, de celles que Léonard de Vinci y avait jointes, la Statique se trouva singulièrement apauvrie [sic] dans les traités de ces trop fanatiques admirateurs de la méthode d'Archimède, parmi lesquels

nous devons surtout citer Guidobaldo marquis del Monte (1545-1607) et Giovanni Battista Benedetti (1530-1590).

113. Des mathématiciens qui prétendaient suivre exclusivement, en Statique, la rigoureuse méthode d'Archimède et des géomètres hellènes, le plus illustre est Simon Stevin de Bruges (1548-1620). Grâce à lui, la Statique des corps solides recouvra tout ce que l'École de Jordanus et Léonard de Vinci avaient conquis et tout ce que le dédain des Guidobaldo del Monte et des Benedetti avait fait perdre. La loi de l'équilibre du levier, qui est une des propositions fondamentales dont Stevin fasse usage, est établie par lui à l'aide d'une ingénieuse démonstration dont Galilée devait user également, et que l'on trouve en un opuscule anonyme du XIII^e siècle ; pour établir un autre principe essentiel de sa théorie, la loi d'équilibre d'un grave sur un plan incliné, il recourt de la manière la plus heureuse à l'impossibilité du mouvement perpétuel ; cette impossibilité avait été affirmée avec une grande précision par Léonard de Vinci et par Cardan.
114. La principale gloire de Stevin lui est assurée par ses découvertes en Hydrostatique ; la détermination de la grandeur et de la position du point d'application de la pression qu'une paroi inclinée d'un vase supporte de la part du liquide contenu dans ce vase suffirait à assurer au géomètre de Bruges une des premières places parmi les créateurs de la théorie de l'équilibre des fluides.
115. De son côté, Giovanni Battista Benedetti avait été conduit sur le point d'énoncer le principe dit de Pascal ; une addition insignifiante permettra à Mersenne de tirer ce principe et l'idée de la presse hydraulique de ce qu'avait écrit le géomètre italien ; Benedetti avait été ~~en~~ justifié ses propositions en usant, de la loi à titre d'axiome, de la loi d'équilibre des liquides dans les vases communiquants [sic] ; avant lui, Léonard de Vinci avait suivi la même démarche logique.

XVI. Les progrès de la Dynamique au XVI^e siècle

116. Au XVI^e siècle, les géomètres qui, en dépit des routines de l'Averroïsme et des persifflages [sic] de l'Humanisme, continuèrent de cultiver la Dynamique parisienne de l'*impetus*, en furent récompensés par de belles découvertes.
117. Fixant l'ambiguïté où Albert de Saxe était demeuré, Léonard de Vinci avait affirmé qu'en un grave qui tombe, la vitesse croît ~~comme~~ proportionnellement à la durée de la chute ; mais il n'avait pas su déterminer la loi qui lie à cette durée le chemin parcouru par le corps qui tombe. Pour trouver cette loi, cependant, il lui eût suffi d'invoquer la proposition suivante : En un mouvement uniformément varié, l'espace le chemin parcouru par le mobile est égal à celui qu'il parcourrait en un mouvement uniforme ~~ment varié~~ dont la durée serait celle du mouvement précédent, et dont la vitesse serait celle qui affectait le mouvement précédent à l'instant milieu de sa durée ; cette proposition était connue de Nicole Oresme qui l'avait démontrée exactement comme Galilée la démontrera plus tard ; elle avait été énoncée et discutée, à la fin du XIV^e siècle, par tous les logiciens qui, à l'École Université d'Oxford, composaient l'école de William d'Heytesbury chancelier d'Oxford en 1375 ; elle avait été ensuite examinée ou invoquée, au XV^e siècle, par tous les italiens qui s'étaient fait les commentateurs de ces logiciens ; enfin les maîtres de l'Université de Paris, contemporains de Léonard de Vinci, l'enseignaient et la démontraient comme Oresme.
118. Le rapprochement que le Vinci n'avait pas eu l'idée de faire, un ancien élève de l'Université de Paris, un dominicain espagnol, professeur de théologie à Alcalá de Hénarès, puis à Salamanque,

le publia en 1545 ; Dominique Soto (1494-1560) énonça donc ces deux lois :

119. La vitesse d'un corps qui tombe croît proportionnellement au temps de chute ;
120. Le chemin parcouru en ~~ee~~ un mouvement uniformément varié est le même qu'en un mouvement uniforme de même durée, ayant pour vitesse la vitesse moyenne du premier.
121. Soto affirma, en outre, que le mouvement d'un mobile lancé verticalement vers le haut est un mouvement uniformément retardé.
122. Ajoutons que toutes ces propositions ont été formulées par le célèbre dominicain comme s'il s'agissait de vérités généralement admises par les maîtres au milieu desquels il vit.
123. La théorie parisienne qui, en la chute accélérée des graves, voit l'effet d'un accroissement continuuel d'*impetus* causé par la pesanteur, est admise par Jules César Scaliger (1484-1558), par Giambattista Benedetti, et par le célèbre théologien jésuite Gabriel Vasquez (1551-1604) ; le premier de ces auteurs présente cette théorie sous une forme telle que l'accélération uniforme du mouvement semble en résulter naturellement.
124. Soto, Tartaglia, Cardan s'efforcent, comme Léonard de Vinci, d'expliquer le mouvement des projectiles en invoquant le conflit de l'*impetus* et de la gravité ; mais leurs tentatives sont viciées par une erreur péripatéticienne que plusieurs maîtres parisiens avaient rejetée depuis longtemps ; ils croient qu'à son début, le mouvement du projectile va en s'accélération, et ils attribuent cette accélération initiale à l'impulsion de l'air ébranlé. Pendant tout le XVI^e siècle, d'ailleurs, les Averroïstes italiens continuent à attribuer à l'air ambiant le transport même du projectile.
125. Tartaglia découvre empiriquement qu'une pièce d'artillerie atteint sa plus grande portée lorsqu'elle est pointée à 45° de l'horizon.

126. Giordano Bruno insiste sur l'explication, donnée par Nicole Oresme, de l'apparence verticale que garde la chute d'un ~~proje-~~
~~ctile~~ grave, en dépit du mouvement de la terre ; il faut, pour obtenir la trajectoire de ce corps, composer l'action de la pesanteur avec l'*impetus* que la Terre lui a imprimé.
127. Benedetti précise la loi ~~d'~~ que suit un tel *impetus* ; un corps mû en cercle et que la fronde abandonne à lui-même, se meut en ligne droite suivant la tangente menée au cercle, au point où il se trouvait au moment où il est devenu libre ; Benedetti doit donc être placé au nombre de ceux qui ont le plus contribué à la découverte de la loi de l'inertie.
128. En 1553, Benedetti avait donné le raisonnement suivant : Au sein de l'air ou d'un fluide quelconque, dix pierres égales tombent avec la même vitesse que l'une d'entre elles ; elles tomberaient encore avec la même vitesse si on les réunissait entre elles ; donc, au sein d'un fluide, deux pierres dont l'une est dix fois plus lourde que l'autre tombent avec la même vitesse. Benedetti exaltait l'extrême nouveauté de ce raisonnement ; en réalité, beaucoup de Scolastiques l'avaient tenu ; mais ils avaient tous déclaré qu'il n'était pas concluant, parce que la résistance de l'air sur la pierre la plus lourde pouvait fort bien n'être pas décuple de la résistance opposée à la pierre la plus légère ; Alessandro Achillini, entr'autres, avait fort clairement tenu ce langage. Pour que le raisonnement de Benedetti conduise à une conclusion juste, il le faut restreindre au mouvement des corps pesants dans le vide ; c'est ce que fera Galilée.

XVII. L'œuvre de Galilée

129. Galileo Galilei (1564-1642) avait été, dans sa jeunesse, péripatéticien convaincu ; il se convertit ensuite au système de Copernic à la défense duquel il consacra la plus grande partie de son œuvre. Le triomphe du système de Copernic ne pouvait être assuré que par le perfectionnement de la Mécanique et, en particulier, par la solution du problème que pose la chute des graves lorsque l'on suppose la terre en mouvement ; c'est vers cette solution que convergent bon nombre de recherches de Galilée ; pour mener cette solution à bien, il dut adopter certains des principes de la Dynamique parisienne ; malheureusement, il ne les ~~épuisa~~ employa pas tous et laissa à d'autres le soin d'en épuiser la fécondité. S'il ne comprit pas toujours toute la portée des de la Physique des maîtres ès arts du XIV^e siècle, il eut, sur eux, l'avantage sans prix d'être exercé au maniement de l'instrument mathématique, auquel il dut plusieurs de ses plus belles découvertes. D'autres découvertes lui furent assurées par l'emploi de la lunette dite de Galilée ; il n'en était assurément pas l'inventeur, mais il l'appliqua le premier à l'étude de la constitution des astres.
130. L'œuvre de Galilée est immense ; nous devons nous borner ici à en esquisser à très grands traits les caractères essentiels.
131. La Statique de Galilée est un compromis entre la méthode inexacte qu'avaient inaugurée les *Questions mécaniques* d'Aristote et la méthode correcte des déplacements virtuels dont l'École de Jordanus avait donné de belles applications. Implicitement liée à des idées ~~mé~~ dynamiques qui sont encore très profondément péripatéticiennes, elle introduit la considération d'un certain *impeto* ou *momento*, proportionnel à la vitesse du mobile, qui n'est pas sans analogie avec l'*impetus* des Parisiens.
132. L'Hydrostatique de Galilée use également d'une forme grossière du principe des déplacements virtuels, que semblent suggérer au

- grand géomètre pisan par les recherches effectuées, sur la théorie des eaux courantes, par son ami, le bénédictin Benedetto Castelli (1577-1644).
133. Galilée a admis, tout d'abord, que la vitesse d'un corps qui tombe croît proportionnellement au chemin parcouru ; puis, par une ingénieuse démonstration, il a ~~montré~~ prouvé qu'une telle loi était absurde. Il a admis alors que la chute libre d'un grave était uniformément accélérée ; en faveur de cette loi, il s'est contenté d'invoquer la raison de simplicité, sans faire aucunement appel à l'accroissement continu de l'*impetus* sous l'influence de la pesanteur.
134. La pesanteur crée, en des temps égaux, des *impetus* nouveaux et égaux qui, s'ajoutant aux *impetus* déjà acquis, font croître en progression arithmétique, en fonction du temps de chute, l'*impetus* total et, partant la vitesse de chute du grave ; ce raisonnement, préparé par toute la tradition parisienne et, en ~~parti~~ dernier lieu, par Jules César Scaliger, conduit à notre affirmation moderne : une force constante produit un mouvement uniformément accéléré. En l'œuvre de Galilée, on ne trouve trace ni du raisonnement, ni de la conclusion qui s'en déduit ; en revanche, ce raisonnement a été soigneusement développé par son ami Giambattista Baliani (1582-1666).
135. De la définition même de la vitesse, Baliani s'efforça de déduire la loi suivant laquelle, en fonction du temps, croît l'espace parcouru par le grave qui tombe ; il fut embarrassé par une difficulté qui avait également arrêté Léonard de Vinci ; il finit, toutefois, par entrevoir la solution de cette difficulté. Cette solution fut donnée, après des hésitations analogues, par un autre disciple de Galilée, Pierre Gassend, dit Gassendi (1592-1655).

136. Galilée avait obtenu la loi qui relie au temps de chute l'espace le chemin parcouru par un grave qui tombe en employant une démonstration qui devint célèbre sous le nom de *démonstration du triangle* ; cette démonstration est textuellement celle que Nicole Oresme avait donnée au XIV^e siècle ; nous avons vu que Soto avait déjà eu l'idée d'user de la proposition d'Oresme en l'étude de la chute accélérée des graves.
137. Galilée étendit à la chute le long d'un plan incliné les lois de la chute libre des graves ; il put soumettre au contrôle de l'expérience la loi du mouvement d'un poids sur un plan incliné.
138. Un grave qui, sans frottement ni résistance d'aucune sorte, décrirait une circonférence de cercle concentrique à la Terre garderait un *impeto* ou *momento* invariable, car la pesanteur ne contribuerait en rien à accroître ou à détruire cet *impeto* ; ce principe, qui peut se réclamer de la Dynamique de Buridan et de Albert de Saxe, est admis par Galilée. Sur une faible étendue, une sphère concentrique à la terre se confond sensiblement avec un plan horizontal ; un grave, lancé sur un plan horizontal, et soustrait à tout frottement, prendrait donc un mouvement *sensiblement* rectiligne et uniforme. C'est seulement sous cette forme restreinte et erronée que Galilée a connu la loi de l'inertie ; il était en cela fidèle disciple de l'École de Paris.
139. Si un grave, mû de la sorte par un *impeto* qui lui ferait décrire un cercle concentrique à la Terre, est, en outre, libre de tomber, l'*impeto* de rotation uniforme et la pesanteur se composeront sans se contrarier. Sur une petite étendue, le mouvement produit par cet *impeto* peut être confondu avec un mouvement rectiligne, horizontal et uniforme ; on pourra donc énoncer la loi approchée que voici : Un grave auquel on a imprimé une vitesse initiale *horizontale* en même temps que qu'on l'abandonnait à l'action de la pesanteur prend un mouvement qui s'obtient *sensiblement* en com-

- posant un mouvement horizontal uniforme avec [...] le mouvement vertical qu'il prendrait sans vitesse initiale. Galilée démontre alors que la trajectoire de ce grave est une parabole d'axe verticale.
140. Cette théorie du mouvement des projectiles repose sur des principes qui ne sont nullement conformes avec une exacte connaissance de la loi de l'inertie ; ces principes sont, au fond, identiques à ceux que Nicole Oresme invoquait lorsqu'il voulait expliquer comment un grave semble tomber verticalement en dépit de la rotation de la terre. Le raisonnement employé par Galilée ne lui permettait pas de dire comment se meut un projectile dont la vitesse initiale n'est pas horizontale.
 141. Un disciple du P. Benedetto Castelli et de Galilée, Evangelista Torricelli (1608-1647), étendit la méthode de Galilée au cas où la vitesse initiale du projectile a une direction autre que l'horizontale ; il prouva que la trajectoire demeurait une parabole d'axe vertical. D'autre part, Gassendi montra comment, en ce problème du mouvement des projectiles, la loi véritable de l'inertie, qui [...] venait d'être formulée par Descartes, devait être substituée aux principes admis par la Dynamique parisienne du XIV^e siècle.
 142. Nous ne terminerons pas ces courtes indications sur l'œuvre mécanique de Galilée sans mentionner ses observations sur la durée d'oscillation du pendule, observations qui ouvraient à la Dynamique un champ nouveau et admirablement fécond.
 143. Nous avons dit comment les progrès faits en Dynamique par Galilée servaient à la défense du système de Copernic ; les découvertes que la lunette lui permit de faire dans le ciel concoururent au même objet ; [...] les taches qui altèrent la surface du Soleil, les montagnes, semblables à celle [sic] de la Terre, qui obscurcissent au regard certaines parties du disque lunaire, montraient assez

que les corps célestes ne sont point, comme le voulait la Physique d'Aristote, formés d'une substance incorruptible, sans analogie avec les éléments sublunaires ; d'autre part, le rôle que la Lune jouait par rapport à la Terre, en cette Astronomie héliocentrique, les deux *planètes des Médicis*, que Galilée avait aperçu le premier, le jouaient par rapport à Jupiter.

144. Non content d'avoir, par tant d'excellentes raisons, ruiné les arguments que l'on opposait au système de Copernic, Galilée voulut, en faveur de ce système, apporter une preuve positive ; inspiré peut-être par Celio Calcagnini, il crut que le phénomène des marées lui fournirait cette preuve ; il rejeta donc toute explication du flux et du reflux fondée sur l'attraction du Soleil et de la Lune et pour attribuer le mouvement de l'Océan à la force centrifuge produite par la rotation terrestre ; une telle explication rattacherait la période du flux au jour sidéral, et non pas au jour lunaire, comme l'exigent les observations les plus communes et les plus anciennes ; cette seule remarque aurait dû retenir Galilée et l'empêcher de produire un argument plus propre à discréditer la doctrine du mouvement de la Terre qu'à la confirmer.
145. À deux reprises, en 1616 et en 1633, l'Inquisition condamna ce que Galilée avait écrit en faveur du système de Copernic. L'hypothèse du mouvement de la Terre fut déclarée : *falsa in Philosophia et ad minus erronea in fide* ; l'hypothèse du repos du Soleil fut qualifiée : *falsa in Philosophia et formaliter hæretica*. Faisant sienne la doctrine que le luthérien Tycho-Brahé avait formulée en 1578, le Saint Office interdisait l'emploi de toute hypothèse astronomique qui ne s'accordait pas à la fois avec les principes de la Physique d'Aristote et avec la lettre de l'Écriture.
146. Parmi les motifs qui ont poussé l'Inquisition à porter cette condamnation à jamais déplorable, il semble que l'historien puisse discerner trois catégories.

147. Il doit mentionner, en premier lieu, le souci, très réel chez certains juges, de maintenir l'interprétation aussi littérale que possible de l'Écriture Sainte ; il semble que le Protestantisme, en reprochant sans cesse au Catholicisme de s'écarter de cette interprétation, ait grandement contribué à ~~faire gran~~ faire naître et croître ce souci ; les théologiens protestants de Wittemberg et de Tübingen, en tous cas, l'avaient senti [...] bien avant que les informateurs du Saint Office ne l'éprouvassent.
148. L'historien doit ensuite attribuer la condamnation de Galilée pour une part, et pour la plus forte part, au culte servile de la Philosophie antique ; nous avons vu à quel excès ridicules cette ~~ad~~ superstieuse [sic] admiration du Philosophe et de son Commentateur avait ~~porté~~ maintes fois ~~porté~~ les Averroïstes italiens ; vaincue sur tous les terrains par l'expérience et par le raisonnement, la Physique péripatéticienne emprunta pour se défendre les armes canoniques de l'Église ; et les juges de Galilée ne rougirent pas de faire marcher, de pair avec l'erreur contre la foi et avec l'hérésie, le crime de contredire à la Cosmologie du Stagirite.
149. Enfin, des jalousies et des inimitiés personnelles paraissent avoir joué un grand rôle en ce procès qui molesta Galilée, qui ne gêna guère les progrès de la Science, mais qui causa à la foi catholique des dommages dont il est difficile de mesurer l'étendue et la gravité.

XVIII. Les premiers essais de Mécanique céleste – William Gilbert – Johann Képler

150. Copernic avait cherché à définir exactement le mouvement de chacun des corps célestes et Galilée s'était efforcé de prouver que

ce mouvement procédait comme l'avait admis Copernic ; ~~ni Galilée~~ ni Copernic ni Galilée n'avaient tenté d'étendre aux astres ce qu'ils savaient de la Dynamique des mouvements sublunaires, et de déterminer par-là les forces qui entretiennent les mouvements célestes. Ils s'étaient contentés d'admettre que la rotation diurne de la Terre se perpétue en vertu d'un *impetus* donné une fois pour toutes ; que les parties des éléments qui appartiennent à un astre tendent vers le centre de cet astre en vertu d'une gravité, particulière à chacun des corps célestes, par laquelle ce corps tend à maintenir son intégrité ; leur Mécanique céleste ne dépassait guère ce qu'avaient enseigné Jean Buridan, Nicole Oresme et Nicolas de Cues.

151. Vers le temps où vivait Galilée, on vit se produire les premières tentatives destinées à constituer une Mécanique céleste, c'est-à-dire à expliquer les mouvements des astres à l'aide de forces analogues à celles dont, sur terre, nous éprouvons les effets ; les plus importantes de ces tentatives sont celles de William Gilbert (1540-1603) et de ~~Jean~~ Johann Kepler (1571-1631).
152. On doit à Gilbert un grand traité de l'aimant où il a systématiquement réuni et expérimenté, sans y rien ajouter de bien essentiel, les connaissances que possédait le Moyen-Âge sur les actions électriques et magnétiques ; c'est en ce ~~ouvrage traité~~ ouvrage traité qu'il a commencé à ~~développer exposer~~ sa *Philosophie aimantique*, c'est-à-dire sa Mécanique céleste ; l'ouvrage où il la développait pleinement fut publié longtemps après sa mort, en 1651.
153. Comme Nicole Oresme et Copernic, Gilbert admet, en chaque astre, une gravité particulière grâce à laquelle les parties matérielles appartenant à cet astre, *et celles-là seulement*, tendent à rejoindre cet astre lorsqu'elles en ont été séparées ; Gilbert compare cette gravité particulière à chaque astre à l'action par laquelle un morceau de fer ~~tend~~ tend à court vers l'aimant dont il partage la nature.

Cette opinion, en laquelle Gilbert avait eu de nombreux précurseurs et aura de nombreux imitateurs, a séduit, en particulier, Francis Bacon (1561-1626) ; Bacon fut le héraut enthousiaste de la méthode expérimentale qu'il n'a jamais pratiquée et dont il se faisait l'idée la plus fausse.

154. Selon Gilbert, la Terre, le Soleil et les autres astres sont animés, et l'âme de chacun d'eux ~~lui~~ communique au corps un mouvement de rotation perpétuel.
155. Le Soleil exerce à distance, sur ~~les diverses~~ chaque planète, ~~des~~ une action normale au rayon vecteur qui va du centre du Soleil à la planète ; cette action fait tourner la planète autour du Soleil comme un cheval attelé à un manège fait tourner celui-ci.
156. En ses premiers essais de Mécanique céleste, Képler subit, de son propre aveu, l'influence de Nicolas de Cues et celle de Gilbert. Comme Inspiré par le premier de ces auteurs, il attribue la rotation de la Terre sur elle-même à un *impetus* communiqué par le Créateur au commencement des temps ; mais, inspiré par le second, il admet que cet *impetus* a fini par se transformer en une âme ; le Soleil, dans le système primitif de Képler comme dans celui de Gilbert, exerce à distance, sur chaque planète, une force, normale au rayon vecteur, qui produit la circulation de la planète.
157. Mais Képler a eu l'idée géniale de substituer une *attraction universelle* à l'attraction *aimantique*, particulière à chaque astre, que Gilbert considérait ; il a supposé que toute masse matérielle tendait vers toute autre masse matérielle, à quelque corps céleste qu'appartînt chacune d'elles ; qu'une portion de matière placée entre deux astres tendrait vers ~~eelui qui~~ le plus gros et le plus proche lors même qu'elle ne lui aurait jamais appartenu ; qu'au moment du flux, les eaux de la mer se soulevaient vers la Lune

non pas qu'elles eussent une affinité particulière pour cet astre humide, mais en vertu de cette tendance générale qui porte les unes vers les autres toutes les masses matérielles.

158. Au cours de ses tentatives multiples pour expliquer le mouvement des astres, Képler a été amené à compliquer sa Mécanique céleste primitive ; il a admis que tous les corps célestes étaient plongés au sein d'un fluide éthéré, que la rotation du Soleil engendrait un tourbillon au sein de ce fluide dont les réactions intervenaient pour dévier chaque planète du chemin circulaire ; il a admis également qu'une certaine vertu, analogue à celle qui dirige l'aiguille aimantée, maintenait invariable dans l'espace la direction de l'axe autour duquel s'effectue la rotation de chaque planète.
159. La Mécanique céleste, hésitante et compliquée, que Képler a professée dérive d'une Dynamique bien arriérée, plus voisine, en beaucoup de points, de la Dynamique péripatéticienne que de la Dynamique parisienne ; ces hypothèses nombreuses et vagues ont, cependant, exercé une incontestable influence sur les tentatives qui se sont poursuivies, de Képler à Newton, pour déterminer les forces qui meuvent les astres.
160. Si, toutefois, Képler a préparé l'œuvre de Newton, c'est surtout par la découverte des trois admirables lois qui ont immortalisé son nom ; en enseignant que les planètes décrivaient non pas des cercles, mais des ellipses, cette découverte produisait, dans le domaine de l'Astronomie, une révolution plus profonde encore que la révolution copernicaine ; elle ruinait le dernier principe qui fût demeuré debout de la Physique antique, le principe selon lequel tout mouvement céleste se devait résoudre en mouvements circulaires.

XIX. La querelle de la Géostatique

161. Repoussée par Képler, la *Philosophie aimantique* que Gilbert avait adoptée et développée se trouva fort malmenée en une querelle dont les principes de la Statique furent le sujet.
162. Bon nombre de Scolastiques parisiens du XIV^e siècle et, en particulier, Albert de Saxe avaient admis ce principe : Il y a, en tout grave, un point fixe et déterminé qui tend à se conjoindre au centre du Monde ; ce point est identique au centre de gravité considéré par Archimède. De ce principe, divers auteurs et, en particulier, Léonard de Vinci avaient déduit des corollaires qui sont demeurés en Statique. La révolution copernicaine avait peu modifié ce principe ; au centre de l'Univers, elle avait simplement substitué un point particulier à chaque astre ; c'est vers ce point que tendait le centre de gravité de toute masse appartenant à cet astre ; Copernic, Galilée, Gilbert admettaient le principe ainsi modifié, que Képler seul rejetait.
163. En 1635, Jean de Beaugrand déduisait de ce principe une théorie paradoxale sur la pesanteur des corps et, en particulier, sur la variation qu'éprouve le poids d'un corps dont on modifie la distance au centre du Monde. Des opinions analogues à celles que Beaugrand avait proposées en sa *Géostatique* furent soutenues, en Italie, par le P. Benedetto Castelli et, en France, par Pierre Fermat (1608-1665). La doctrine de Fermat fut discutée et réfutée par Étienne Pascal (1588-1651) et Gilles Personne [sic] de Roberval (1602-1675) ; l'admirable controverse que ces auteurs eurent avec Fermat contribua grandement à préciser un certain nombre de notions employées en Statique, entre autres, celle de centre de gravité.

164. Pour donner aux propositions essentielles de la Statique un fondement inébranlable, Descartes fut amené, par la controverse dont nous venons de parler, à reprendre la méthode des déplacements virtuels exactement sous la forme où l'École de Jordanus l'avait employée.
165. D'autre part, Torricelli fonda tous ses raisonnements relatifs aux lois de l'équilibre sur cet axiome : Un système pesant est en équilibre lorsque le centre de gravité de tous les corps qui le forment est le plus bas possible. Cette proposition avait été tirée par Cardan et, peut-être, par Léonard de Vinci de la doctrine d'Albert de Saxe ; mais Torricelli eut soin de ne l'employer qu'en des circonstances où l'on regarde toutes les verticales comme parallèles entre elles ; par-là, il brisa tout lien entre l'axiome qu'il admettait et les hypothèses douteuses soit de la Physique parisienne, soit de la Philosophie aimantique.
166. Les principes de la Statique se trouvèrent, désormais, formulés avec précision. John Wallis (1616-1703), l'abbé Pierre Varignon (1654-1722) et Jean Bernoulli (1667-1748) n'eurent plus qu'à compléter et à développer les indications de Stevin, de Roberval, de Descartes et de Torricelli.

XX. L'œuvre de René Descartes

167. Nous venons de dire quelle part René Descartes (1596-1650) avait pris à la constitution de la Statique en remettant en honneur la méthode des déplacements virtuels ; il a pris à la constitution de la Dynamique une part encore plus importante.
168. Il a clairement formulé la loi de l'inertie, que Benedetti avait aperçue ; tout corps qui se meut tend, si rien ne l'empêche, à continuer son mouvement en ligne droite avec une vitesse constante ; un corps ne peut se mouvoir en cercle que s'il est retenu vers le

centre, d'où la force centrifuge par laquelle ce corps tend à s'éloigner du centre ; les considérations de Descartes au sujet de cette loi sont tellement semblables à celles de Benedetti qui l'on peut admettre une influence exercée par la découverte de celui-ci sur la découverte de celui-là ; d'autant que les travaux de Benedetti étaient connus du P. Marin Mersenne (1588-1648) qui fut le fidèle ami et le correspondant de Descartes.

169. À la loi de l'inertie, Descartes rattacha cette vérité : une pesanteur constante en grandeur et en direction engendre un mouvement uniformément accéléré. Nous avons vu, d'ailleurs, comment Pierre Gassend avait su rectifier, à l'aide des principes de Descartes, ce que Galilée avait enseigné touchant la chute des corps pesants et le mouvement des projectiles.
170. En Statique, on peut bien souvent remplacer un corps pesant par un point matériel placé en son centre de gravité ; peut-on, en Dynamique, traiter le mouvement d'un corps comme si ce corps était tout entier concentré en l'un de ces points, et quel est ce point ? Cette question, relative à l'existence et à la recherche du *centre d'impulsion* avait déjà préoccupé ~~Galil~~ Léonard de Vinci et, après lui, Bernardino Baldi (1553-1617) ; Baldi avait reconnu qu'en un corps animé d'un mouvement de translation, le centre d'impulsion ne diffère pas du centre de gravité.
171. Existe-t-il un centre d'impulsion, et où se trouve-t-il, en un corps animé d'un mouvement autre qu'une translation, par exemple d'une rotation autour d'un axe ? En d'autres termes, existe-t-il un pendule simple qui se meuve de la même manière qu'un pendule composé donné ? Inspiré, sans doute, par la lecture de Baldi, le P. Mersenne posa ce problème à ses deux amis Roberval et Descartes ; les efforts que les deux géomètres firent pour le résoudre et le désaccord des solutions qu'ils proposèrent les brouilla l'un

avec l'autre ; Descartes avait, plus que Roberval, approché de la connaissance de la vérité ; mais les principes de Dynamique dont il usait n'avaient pas une précision assez grande pour qu'il pût justifier son opinion d'une manière convaincante ; il devait laisser cette gloire à Christiaan Huygens.

172. Les jésuites qui, au Collège de la Flèche, avaient été les maîtres de Mersenne et de Descartes, enseignaient non pas la Physique péripatéticienne en sa routinière intégrité, mais la Physique parisienne ; le traité de Physique qui guidait l'enseignement de la Flèche était représenté par les *Commentaires* à Aristote publiés, à la fin du XVI^e siècle et au début du XVII^e siècle, par les Jésuites de Coïmbre. On comprend donc que la Dynamique de Descartes ait présenté de nombreux points de contact avec la Dynamique de Jean Buridan et des Parisiens. Les rapports de la Physique parisienne et de la Physique cartésienne étaient assez étroits pour que certains maîtres de la Flèche, tels que le P. Étienne Noël (1581-1660) *devinssent cartésiens*. D'autres jésuites tentèrent d'accomplir une sorte de synthèse de la Mécanique de Galilée et de Descartes avec la Mécanique enseignée par la Scolastique parisienne ; au premier rang de ceux-ci, il faut citer un ami du P. Mersenne, le P. Honoré Fabri (1606-1688).
173. En tout corps en mouvement, Descartes admet l'existence d'une certaine puissance à continuer son mouvement dans la même direction et avec la même vitesse ; cette puissance, qu'il nomme la *quantité de mouvement*, il la mesure en évaluant le produit de la masse du mobile par la vitesse qui l'entraîne. L'affinité est étroite entre le rôle que Descartes attribue à cette quantité de mouvement et celui qu'un Buridan attribuait à l'*impetus* ; le P. Fabri ne méconnaît pas cette analogie ; le *momentum* qu'il considère est, à la fois, l'*impetus* des Parisiens et la *quantité de mouvement* de Descartes ; en Statique, il identifie ce *momentum* avec ce que Galilée

appelait *momento* ou *impeto*, et cette identification est très certainement conforme à la pensée du Pisan. La synthèse du P. Fabri est bien propre à mettre en évidence cette vérité : La Dynamique moderne dont Galilée et Descartes posaient les fondements procédait presque immédiatement de la Statique enseignée, au XIV^e siècle, en la faculté des arts de Paris.

174. Si les vérités particulières de Physique que Descartes démontrait ou entrevoyait se pouvaient aisément relier à la Philosophie du XIV^e siècle, les principes sur lesquels le grand géomètre les voulait faire reposer étaient absolument incompatibles avec cette Philosophie. Niant, en effet, qu'il existât en la réalité quoi que ce soit de qualitatif, Descartes ~~voulait~~ exigeait que la matière se réduisît à l'étendue et aux attributs dont l'étendue lui semblait susceptible, savoir la figure et le mouvement ; c'est par des combinaisons de diverses figures et de divers mouvements que devaient, à son gré, s'expliquer tous les effets de Physique.
175. La puissance par laquelle un corps tend à conserver la direction et la vitesse de son mouvement n'est donc pas une qualité, distincte du mouvement, tel que l'*impetus* considéré par les Scolastiques ; ce n'est rien d'autre que le mouvement lui-même, ainsi que Guillaume d'Ockam l'enseignait déjà au début du XIV^e siècle.
176. Un corps en mouvement et isolé garderait toujours même quantité de mouvement ; mais il n'y a pas de corps isolé dans le vide ; la matière étant identique à l'étendue, le vide est inconcevable ; la compressibilité l'est également ; les seuls mouvements concevables sont ceux qui se peuvent produire au sein d'une matière incompressible, c'est-à-dire des mouvements tourbillonnaires fermés sur eux-mêmes.

177. En de tels mouvements, les corps se chassent les uns les autres de la place qu'ils occupaient ; en une telle communication de mouvement, la quantité de mouvement de chacun de ces corps varie ; mais la quantité totale de mouvement de tous les corps qui se sont mûs les uns les autres demeure invariable ; Dieu maintient toujours dans ~~les corps~~ le monde même quantité de mouvement.
178. Cette communication de mouvement par choc direct est la seule action que les corps puissent exercer les uns sur les autres ; ~~dans~~ en la Physique de Descartes comme en celle d'Aristote, un corps n'en peut mettre un autre en mouvement que s'il le touche ; l'action immédiate à distance est inconcevable.
179. Il existe diverses espèces de matières, qui ne diffèrent les unes des autres que par les grandeurs et figures des parties juxtaposées qui les forment ; en particulier, l'espace qui s'étend entre les divers corps célestes est rempli par une certaine *matière subtile* dont les parties très ténues pénètrent aisément les pores que laissent entre elles les parties constitutives plus grossières des autres corps. Les propriétés de la matière subtile jouent un rôle essentiel en toute la Cosmologie de Descartes.
180. Les tourbillons dont se meut la matière subtile et les pressions qu'engendrent ces mouvements tourbillonnaires servent à expliquer tous les phénomènes célestes ; Leibniz a fort bien jugé que Descartes, en cette partie de son œuvre, avait beaucoup emprunté à Képler.
181. Descartes s'est également efforcé d'expliquer, à l'aide des figures et mouvements de la matière subtile et des autres matières, les divers effets que l'on observe en Physique, en particulier les propriétés de l'aimant et celles de la lumière. La lumière est l'effet de identique à la pression que la matière subtile exerce sur les corps ; comme la matière subtile est incompressible, la lumière se transmet instantanément à toute distance, si grande soit-elle.

182. Les suppositions à l'aide desquels Descartes a tenté de réduire tous les phénomènes physiques à des combinaisons de figures et de mouvements n'ont eu à-peu-près aucune part aux découvertes qu'il a faites en Physique ; ainsi l'identification de la lumière avec la pression exercée par la matière subtile ne joue aucun rôle dans l'invention des vérités nouvelles que Descartes a enseignées en Optique.
183. Au premier rang de ces vérités, il faut placer la loi de la réfraction de la lumière passant d'un milieu dans un autre, soit que Descartes ait découvert lui-même cette loi, soit, comme l'en a accusé Huygens, qu'il l'ait empruntée à Willebrord Snell (1591-1626) sans en citer le véritable auteur. Par cette loi, Descartes a donné la théorie de la réfraction à travers un prisme, ce qui lui a permis de mesurer ~~la théorie de la~~ les indices de réfraction ; il a grandement perfectionné l'étude des lentilles ; enfin, il a complété l'explication de l'arc-en-ciel, qui n'avait nullement progressé depuis le traité donné en l'an 1300 par Thierry de Fribourg ; toutefois, la raison pour laquelle les rayons sortant des gouttes d'eau se montrent diversement colorés n'était pas mieux connue de Descartes que d'Aristote ; pour se manifester, elle attendra que Newton la découvre.

XXI. Les progrès de la Physique expérimentale

184. Même en l'œuvre de Descartes, les découvertes de Physique furent à-peu-près indépendantes du Cartésianisme ; la connaissance des vérités naturelles continua de progresser hors de l'influence du Cartésianisme et, parfois, à l'encontre de ce système, encore que ceux auxquels ces progrès étaient dûs [sic] fussent souvent cartésiens.

185. Ces progrès ont été en très grande partie l'effet d'un usage de de plus en plus fréquent et de plus en plus habile de la méthode expérimentale.
186. L'art de [...] faire des expériences logiquement enchaînées et d'en déduire les conséquences qu'elles entraînent est fort ancien ; en un sens, les œuvres que cet art va produire ne seront pas plus parfaites que les recherches de Pierre de Maricourt sur l'aimant ou de Thierry de Fribourg sur l'arc-en-ciel. Mais si l'art demeure le même, la technique va se perfectionnant ; des ouvriers plus habiles, des procédés plus puissants fournissent aux physiciens des instruments plus compliqués et mieux exécutés ; il peut ainsi réaliser des expériences plus délicates.
187. De ce développement nouveau de la méthode expérimentale, les essais, encore bien imparfaits, ~~de Galilée~~ par lesquels Galilée et le P. Mersenne ont tenté de déterminer le poids spécifique de l'air marquent le début. Tout aussitôt, il se trouve vivement pressé par les discussions relatives au vide.
188. En la Physique péripatéticienne, l'existence d'un espace vide était une contradiction logique ; après les condamnations portées à Paris, en 1277, par Étienne Tempier, l'existence du vide cessa d'être considérée comme absurde ; on admit seulement comme une vérité de fait que les puissances de la nature sont ainsi faites qu'elles s'opposent à la production d'un espace vide. Touchant les forces qui empêchent le vide d'apparaître, diverses conjectures étaient proposées ; la plus sensée et, semble-t-il, la plus courante chez les Parisiens ~~de la fin~~ du XVI^e siècle était celle-ci : Les corps contigus adhèrent les uns aux autres, et cette adhérence est maintenue par des forces semblables à celles par lesquelles un morceau de fer est retenu par l'aimant qu'il touche ; ceux qui nommaient cette sorte de force *horror vacui* n'entendaient aucunement, en usant de cette appellation, animer les corps ni leur prêter des sentiments analogues aux nôtres.

189. Un morceau de fer trop lourd se détache de l'aimant qui le doit supporter ; sa pesanteur a vaincu la force par laquelle l'aimant le retenait ; de même, le poids d'un corps trop lourd peut faire empêcher l'horreur du vide de soulever ce corps. ~~Cette explication~~ ~~suite~~ Ce corollaire fort logique de l'hypothèse que nous venons de rappeler fut formulé par Galilée ; il y vit l'explication d'un fait bien connu des fontainiers de son temps : une pompe aspirante ne peut élever l'eau plus haut que trente-deux pieds.
190. Ce corollaire entraînait la possibilité de produire un espace vide ; c'est ce que vit Torricelli qui, en 1644, réalisa la célèbre « expérience du vif-argent » destiné [sic] à immortaliser son nom. Mais en même temps, il entrevit une nouvelle explication de cette expérience ; le vif-argent est soutenu dans le tube non par l'horreur du vide, qui n'existe pas, mais par la pression que l'air pesant exerce sur la surface extérieure de la cuvette.
191. L'expérience de Torricelli sollicita vivement l'attention des physiciens ; connue en France, grâce au P. Mersenne, elle suscita, de la part de Mersenne et de ceux qui avaient commerce avec lui, de nombreuses expériences où Roberval et Blaise Pascal (1623-1662) rivalisèrent d'ingéniosité ; afin de disposer plus aisément des ressources de la technique, Pascal fit dans une verrerie de Rouen ses saisissantes expériences.
192. Parmi les nombreux chercheurs que préoccupait l'expérience de Torricelli, les uns acceptaient l'explication par la « colonne d'air » que le grand géomètre italien avait proposée ; les autres, tel Roberval, tenaient pour l'ancienne hypothèse d'une attraction analogue aux actions magnétiques. Pour trancher le différend, une expérience pouvait être faite ; il s'agissait de mesurer à quelle hauteur le mercure demeure suspendu dans le tube de Torricelli

lorsqu'on l'observe d'abord au pied d'une montagne, puis au sommet de cette même montagne ; l'idée de cette expérience paraît s'être présentée d'elle-même à l'esprit de plusieurs physiciens, notamment du P. Mersenne, de Descartes et de Blaise Pascal ; sur les indications de ce dernier et par les soins de son beau-frère Périer, elle fut exécutée entre la base et le sommet du Puy-de-Dôme le 19 septembre 1648. Le *Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*, que Blaise Pascal rédigea par la suite, est justement cité comme un modèle de l'art d'enchaîner logiquement les expériences et les déductions.

193. Entre atomistes et cartésiens, on discuta fort pour savoir si le haut du tube de Torricelli est réellement vide ou s'il est rempli de matière subtile ; mais ces discussions portèrent peu de fruit. En revanche, la méthode expérimentale, si exactement suivie par Torricelli, par Pascal et par leurs émules, continua de progresser pour le plus grand bien de la Physique.
194. Otto de von Guericke (1602-1686) semble avoir précédé de beaucoup Torricelli en la production d'un espace vide, puisqu'il paraît avoir construit entre 1632 et 1638 sa première machine pneumatique ; à l'aide de cet instrument, il fit, en 1654, les célèbres « expériences de Magdebourg » que publia, en 1657, son ami le P. Gaspar Schott (1608-1660).
195. Informé par le P. Schott des recherches d'Otto von Guericke, Robert Boyle (1627-1691) perfectionna la machine pneumatique, et avec l'aide de Richard Townley, son élève, poursuivit les expériences qui ont fait connaître la loi de compressibilité des gaz parfaits. Ces expériences furent reprises et poursuivies en France par l'abbé Mariotte (1620-1684).
196. L'emploi de la dilatation d'un fluide pour mettre en évidence les changements de température était déjà connu de Galilée, soit que

Galilée fût l'inventeur de ce thermoscope, soit qu'il eût été découvert par quelqu'un des nombreux physiciens auxquels on en attribue la priorité : Santorio dit Sanctorius (1560-1636), fra Paolo Sarpi (1552-1623), Cornelius Drebbel (1572-1634), et Robert Fludd (1574-1637). Bien que les divers thermoscopes à air ou à liquide employés tout d'abord, ne portassent qu'une graduation arbitraire, ils permettaient déjà de mettre en évidence la constance de la température ou le sens de ses variations, partant de découvrir bon nombre de lois de Physique.

197. C'est ainsi que cet appareil put être employé par l'Académie del Cimento, inaugurée le 19 juin 1657 à Florence et consacrée à l'étude de la Physique expérimentale ; aux membres de cette Académie on doit, en particulier, la démonstration de la constance du point de fusion de la glace et de l'absorption de chaleur qui accompagne la fusion.
198. De telles observations, faites au moyen du thermoscope, rendaient extrêmement désirable la transformation de cet appareil en thermomètre à l'aide d'une graduation définie de telle sorte que l'on pût, en tous lieux, réaliser des instruments comparables les uns avec les autres ; ce problème, l'un des plus importants de la Physique, ne fut résolu qu'en 1702 par Guillaume Amontons (1663-1705), mais il le fut de la manière la plus remarquable. Amontons prit pour point de départ ces deux lois, découvertes ou vérifiées par lui : Le point d'ébullition de l'eau sous la pression atmosphérique est constant. Les pressions supportées par deux masses d'air quelconques que l'on chauffe de la même manière, en deux volumes constants quelconques, gardent un rapport indépendant de la température. Ces deux lois permirent à Amontons d'employer le thermomètre à air sous volume constant et de le graduer de telle

sorte qu'il donnât ce que nous nommons aujourd'hui la température absolue. De toutes les définitions qui ont été proposées depuis pour le degré de température, il avait, du premier coup, trouvé la plus parfaite.

199. Pourvue d'instruments propres à mesurer la pression et à repérer la température, la Physique expérimentale ne pouvait manquer de faire de rapides progrès ; ces progrès se trouvaient encore favorisés par l'intérêt qu'y prenaient les Sociétés savantes récemment fondées. L'Academia del Cimento, inaugurée en 1657, avait pris fin en 1667 ; mais la Royal Society de Londres avait commencé ses séances en 1663 ; en 1666, l'Académie des Sciences de Paris avait été fondée ou, plutôt, organisée par Colbert. Ces diverses Académies devinrent tout aussitôt des foyers intenses de recherche scientifique touchant les phénomènes naturels.

XXII. La théorie ondulatoire de la lumière

200. C'est à l'Académie des Sciences de Paris qu'en 1678, Christiaan Huygens (1629-1695) présentait son *Traité de la lumière*.
201. Selon le système Cartésien, la lumière doit, par l'intermédiaire de la matière subtile incompressible, se transmettre instantanément à toute distance. Descartes n'avait pas hésité à déclarer à Fermat que sa Philosophie entière s'effondrerait le jour où l'on démontrerait que la lumière se propage avec une vitesse finie. Or, en 1675, l'astronome danois Ole Römer (1644-1710) communiquait à l'Académie des Sciences la mesure de la vitesse considérable, mais finie, avec laquelle la lumière traverse l'espace qui sépare les planètes les unes des autres ; l'étude des éclipses des satellites de Jupiter lui avait fourni cette détermination.
202. La théorie optique de Descartes était ruinée ; Christiaan Huygens entreprit d'édifier une théorie nouvelle de la lumière. Il se laissa

constamment guider par la supposition qu'au sein de l'*éther* compressible, substitué à la *matière subtile* incompressible, la lumière se propage par ondes toutes semblables à celles qui transmettent le son au travers d'une masse gazeuse.

203. Cette assimilation le conduisit à une explication, demeurée classique, des lois de la réflexion et de la réfraction ; en cette explication, l'indice de réfraction de la lumière passant d'un ~~premier~~ milieu dans un autre est égal au rapport de la vitesse de propagation dans le premier milieu à la vitesse de propagation dans le second ; cette loi fondamentale devait attendre jusqu'en 1850 que Foucault ~~en~~ lui donnât la confirmation directe de l'expérience.
204. Mais Huygens ne s'en tint pas là.
205. Erasme Berthelsen, dit Bartholinus (1625-1698) avait découvert, en 1669, la double réfraction du spath d'Islande ; par une généralisation aussi ingénieuse qu'audacieuse de la théorie qu'il avait donnée pour les milieux non cristallisés, Huygens parvint à tracer la figure de la surface d'onde lumineuse au sein d'un cristal tel que le spath ou le quartz, et à déterminer les lois, si complexes en apparence, de la double réfraction de la lumière au sein de ces cristaux. Il mit, en même temps, en évidence les phénomènes de polarisation qui accompagnent cette double réfraction, mais sans pouvoir tirer, de sa théorie optique, l'explication de ces effets.
206. La comparaison entre la lumière et le son conduisit en 1699 le P. Malebranche (1638-1715) à des suppositions singulièrement fécondes. La lumière, selon Malebranche, est un mouvement vibratoire analogue à celui qui produit le son ; l'amplitude plus ou moins grande de ce mouvement engendre, en l'un comme en l'autre cas, une intensité plus ou moins forte ; mais tandis que, pour le son, chaque période correspond à une note particulière, elle correspond, pour la lumière, à une couleur particulière. Par

cette analogie, Malebranche était conduit à concevoir la notion de lumière monochromatique que Newton allait tirer d'expériences admirablement conduites ; en outre, ~~entre~~ il établissait entre la couleur simple et la période de la vibration lumineuse la relation que l'Optique d'Young et de Fresnel devait conserver.

XXIII. La constitution de la Dynamique

207. Pour les Cartésiens aussi bien que pour les Atomistes, le choc était le seul procédé par lequel les corps pussent se mettre les uns les autres en mouvement ; aux ~~uns~~ Cartésiens comme aux ~~autres~~ Atomistes, donc, la théorie du choc apparaissait comme le premier chapitre d'une Physique rationnelle. Cette théorie avait déjà provoqué les tentatives de Galilée, de Marcus Marci (1639) et de Descartes lorsqu'en 1668, la Royal Society de Londres la proposa pour sujet de concours ; des trois mémoires importants qui furent soumis au jugement de cette société par John Wallis, par ~~Matthew~~ Christophe Wren (~~1585~~ 1632-1723) et par Christiaan Huygens, le dernier seul retiendra notre attention en cette rapide étude.
208. Huygens y adoptait ce principe : Si un système matériel soumis à la seule action de la pesanteur, part d'une certaine position avec des vitesses initiales toutes égales à zéro, à aucun moment, le centre de gravité de ce système ne pourra monter plus haut qu'il n'était au début du mouvement ; ce principe, il le justifiait en observant que, s'il était faux, le mouvement perpétuel serait possible.
209. Pour retrouver l'origine de cet axiome, il faudrait remonter jusqu'au *De subtilitate* de Cardan, qui l'avait peut-être tiré des notes de Léonard de Vinci ; la proposition dont Torricelli avait fait dépendre sa Statique était un corollaire de ce postulat.
210. En admettant l'exactitude de ce postulat même dans le cas où des parties du système s'entrechoquent, en le combinant avec la loi de

la chute accélérée des graves, tirée des œuvres de Galilée, et avec un autre postulat sur la relativité du mouvement, Huygens parvenait à la loi du choc des corps durs ; il montrait que la quantité dont ce choc laisse la valeur invariable, ce n'est pas, comme le voulait Descartes, la quantité totale de mouvement, mais celle que Leibniz allait nommer *quantité de force vive*.

211. L'axiome qui l'avait si heureusement servi en l'étude du choc des corps, Huygens l'étendit à un corps pesant qui oscille autour d'un axe horizontal ; par-là, son *Horologium oscillatorium*, paru en 1673, put résoudre de la manière la plus élégante et la plus complète le problème des centres d'oscillation déjà abordé par Descartes et par Roberval.
212. L'axiome d'Huygens ruinait la Dynamique cartésienne ; c'est ce que Godfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716) montra en 1686. Si l'on veut, comme Descartes, mesurer l'effet d'une force par le travail qu'elle produit, si l'on admet, d'ailleurs, l'axiome d'Huygens et la loi de la chute des graves, on trouve que cet effet n'est pas mesuré par l'accroissement de la quantité de mouvement du mobile, mais par l'accroissement qu'éprouve la moitié du produit de la masse du mobile par le carré de sa vitesse ; c'est ce produit que Leibniz nomme *force vive* (*vis viva*).
213. L'*Horologium oscillatorium* d'Huygens ne donnait pas seulement la solution du problème du centre d'oscillation ; il donnait en outre l'énoncé des lois qui, en un mouvement circulaire, régissent la grandeur de la force centrifuge ; par-là, il préparait la voie au législateur de la Dynamique, à Newton.

XXIV. L'œuvre de Newton

214. Depuis le temps de Galilée et de Descartes jusqu'au temps de Huygens et de Leibniz, la plûpart [sic] des grandes vérités de la Dynamique avaient été découvertes ; cette science réclamait un Euclide qui l'organisât sur le même type que la Géométrie ; Isaac Newton (1642-1727) fut cet Euclide ; en ses *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, publiés en 1687, il parvint à déduire la science entière du mouvement de trois postulats : L'inertie, l'indépendance des effets des forces et des mouvements antérieurement acquis, l'égalité de l'action et de la réaction.
215. N'eussent-ils contenu que cette [~~...~~] coordination de la Dynamique en un système logique que les *Principes* de Newton eussent été, néanmoins, l'un des écrits les plus importants que l'humanité ait produits ; mais ils donnaient, en outre, de cette Dynamique, la plus grandiose application qui se pût concevoir en la faisant servir à l'établissement de la Mécanique céleste.
216. Newton parvint, en effet, à montrer que les lois de la chute des graves à la surface de la terre, les lois qui président au mouvement des planètes autour du Soleil et des satellites autour des planètes qu'ils accompagnent, enfin les lois qui régissent ~~le flux et le reflux~~ ~~le flux et le reflux de la mer~~ [sic] la figure de la terre ou des autres astres ainsi que le flux et le reflux de la mer, ne sont que les nombreux corollaires de cette hypothèse unique : Deux parties de matière, quelles qu'en ~~soit~~ soient l'origine et la nature, exercent l'une sur l'autre une attraction ~~réci-proq~~ réci-proq proportionnelle au produit de leurs masses et en raison inverse du carré de la distance qui les sépare.
217. Le principe dominateur de la Physique antique affirmait la distinction essentielle entre les lois qui président aux mouvements des astres, êtres exempts de naissance, de changement et de mort,

et les lois qui président aux ~~trans~~ mouvements des corps sublunaires, soumis à la génération et à la corruption ; depuis la naissance de la Physique chrétienne, [...] et surtout depuis la fin du XIII^e siècle, l'œuvre des physiciens avait été un long effort pour renverser l'autorité de ce principe et pour soumettre aux mêmes règles le monde céleste et le monde sublunaire ; la doctrine de la *gravitation universelle* était l'aboutissement de cet effort quatre fois séculaire.

218. Au fur et à mesure que les années s'approchent de celle où Newton mettra produira son système au jour, on voit se multiplier des tentatives cosmologiques qui sont comme les avant-coureurs de cette découverte. Otto de Guericke, reprenant, en 1672, la Mécanique céleste de Képler, n'y apporte qu'une correction, et cette correction malheureuse fait disparaître la seule proposition par laquelle cette Mécanique préparait celle de Newton ; Képler admettait que deux masses matérielles quelconques s'attirent ; à l'imitation de Copernic, de Gilbert et de Galilée, Otto de Guericke restreint cette mutuelle attraction aux parties d'un même astre ; bien loin d'être attirées par la Terre, des parcelles de la Lune seraient repoussées par la Terre si on les plaçait à la surface de ce corps. Mais dès 1644, sous le pseudonyme d'Aristarque de Samos, Roberval donnait une Mécanique céleste où l'attraction était *peut-être* mutuelle entre deux masses quelconques ; où, en tous cas, la Terre et Jupiter attireraient leur satellite avec une puissance identique à la gravité dont ils dotent leurs propres fragments. En 1665, sous prétexte d'expliquer les mouvements des satellites de Jupiter, Alphonse Borelli (1608-1679) tente de donner une théorie qui embrasse à la fois les mouvements des planètes autour du Soleil et les mouvements des satellites autour des planètes ; le premier des modernes (car Plutarque l'a précédé), il a l'idée que l'attraction par laquelle une planète tend vers le Soleil, par laquelle

un satellite tend vers l'astre qu'il accompagne, fait équilibre à la force centrifuge produite par la circulation de cette planète ou de ce satellite. En 1674, Robert Hooke (1635-1702) formule avec précision la même idée ; il suppose déjà que l'attraction de deux masses doit varier en raison inverse du carré de leur distance, en sorte qu'il est en possession des hypothèses fondamentales de la théorie de la gravitation universelle ; ces hypothèses, Wren les admet vers la même époque ; mais ni l'un ni l'autre n'est en état d'en tirer la Mécanique céleste, parce qu'il leur manque encore la connaissance des lois de la force centrifuge, que Huygens publie à ce moment même. En 1684, Edmond Halley (1656-1742) tente de combiner les théorèmes d'Huygens avec les hypothèses de Hooke ; mais avant que son travail ne soit achevé, Newton ~~qui, depuis~~ présente ses *Principes* à la Royal Society ; depuis vingt ans, cet homme de génie poursuivait dans le silence ses méditations sur le système du Monde. Halley, qui n'avait pu devancer Newton, eut la gloire d'étendre le domaine de la gravitation universelle en y faisant entrer les comètes (1705).

219. Newton ne se contenta pas de créer la Mécanique céleste ; il fit faire à l'Optique un progrès considérable ; la coloration du spectre que donne la lumière blanche en traversant un prisme de verre n'avait cessé, depuis l'Antiquité, de provoquer l'admiration des observateurs et la sagacité des physiciens, sans que personne en eût fourni une explication satisfaisante ; cette explication, Newton la donna en créant une théorie des couleurs, ce à quoi tant de philosophes, depuis Aristote, s'étaient vainement efforcés. La théorie donnée par le physicien anglais s'accordait avec celle que le P. Malebranche concevait au même moment ; mais la théorie de Malebranche n'était encore qu'une hypothèse suggérée par l'analogie entre la lumière et le son ; l'explication de Newton, au contraire, est tirée d'expériences aussi simples qu'ingénieuses ; l'exposé que l'auteur en a donné est un des plus beaux exemples d'induction expérimentale.

220. Newton, malheureusement, méconnut cette analogie entre le son et la lumière qui avait fourni à Huygens et à Malebranche des aperçus si féconds. Il supposa que la lumière était formée de projectiles extrêmement [sic] petits lancés avec une extrême vitesse par les corps incandescents. Les particules du milieu au sein duquel ces projectiles se meuvent exercent sur eux des attractions qui sont analogues à l'attraction universelle ; mais ces nouvelles attractions ne varient pas en raison inverse du carré de la distance ; elles varient suivant une autre fonction de la distance, de telle manière qu'elles s'exercent avec une très grande puissance entre une particule matérielle et un corpuscule lumineux très voisins, mais qu'elles deviennent tout à fait insensibles aussitôt que les deux masses entre lesquelles elles s'exercent sont séparées l'une de l'autre par une longueur perceptible.
221. Ces actions exercées par les particules d'un milieu sur les corpuscules lumineux qui les traversent ~~font~~ changent la vitesse avec laquelle ces corps se meuvent et la direction qu'ils suivent, au moment où ils passent d'un milieu dans un autre ; de là le phénomène de la réfraction ; l'indice de réfraction est le rapport de la vitesse qu'a la lumière dans le milieu où elle entre à la vitesse qu'elle avait dans le milieu qu'elle quitte ; cette valeur de l'indice est précisément l'inverse de celle que lui attribue la théorie d'Huygens ; de là, entre les deux théories, une opposition qui sera, en 1850, soumise par Foucault au jugement de l'expérience ; l'expérience condamnera alors la *théorie de l'émission* proposée par Newton.
222. Newton parvint à démêler les lois expérimentales qui régissent la coloration des lames minces telles que les bulles de savon ; il y parvint en obligeant, par la forme appropriée de la lame mince, ces couleurs à prendre la disposition régulière que l'on a appelée

anneaux de Newton. Pour expliquer ce phénomène, il imagina que les projectiles lumineux avaient une forme telle qu'ils pussent, à la ~~traversée de~~ surface de contact de deux milieux, soit passer aisément, soit se réfléchir aisément, selon qu'ils se présentaient d'une manière ou d'une autre au moment du passage ; un mouvement de rotation les fait passer alternativement par des *accès de facile transmission* et par des accès de *facile réflexion*.

223. Newton pensait avoir rendu raison des principaux phénomènes optiques en supposant qu'à côté de l'attraction universelle, il existât une attraction, sensible seulement à très petite distance, exercée par les particules des corps sur les corpuscules lumineux ; il en vint naturellement à croire que ces deux sortes d'attraction suffiraient à expliquer tous les phénomènes de la Physique ; les actions qui sont sensibles à des distances notables, telles que les actions électriques et magnétiques, devaient suivre des lois analogues à celles qui régissent la gravité universelle ; au contraire, les effets de la capillarité et de la cohésion, les ~~[-...]~~ dissolutions et les réactions chimiques devaient dépendre d'*attractions moléculaires*, sensibles seulement à des distances extrêmement petites, et analogues à celles qu'éprouvent les corpuscules lumineux.
224. Cette vaste hypothèse était proposée par Newton en une *question* placée à la fin de la seconde édition de l'*Optique* (1717) ; cette question traçait, en quelque sorte, le programme que la Physique du XVIII^e siècle allait s'efforcer de remplir.

XXV. Les progrès de la Mécanique générale et de la Mécanique céleste au XVIII^e siècle

225. Ce programme comporte trois parties :
226. En premier lieu, il demande que la Mécanique générale et la Mécanique céleste progressent dans la voie que Newton a tracée.

227. En second lieu, il réclame que les phénomènes électriques et magnétiques soient ordonnés en une théorie analogue à celle de la gravitation universelle.
228. En troisième lieu, il souhaite que les attractions moléculaires fournissent l'explication détaillée des divers changements qu'étudient la Physique et la Chimie.
229. Nombreux furent ceux qui s'élançèrent sur les traces de Newton et s'efforcèrent d'accroître le domaine de la Mécanique générale et de la Mécanique céleste ; mais il en est trois qui semblent ~~surpasser~~ avoir dépassé tous les autres ; ce sont Alexis Claude Clairaut (1713-1765), Jean Le Rond D'Alembert (1717-1783) et Léonard Euler (1707-1783).
230. Les progrès que la Mécanique générale a accomplis, grâce à ces trois génies, peuvent se résumer ainsi :
231. En 1743, par son principe de l'équilibre des canaux, facile à rattacher au principe des déplacements virtuels, Clairaut obtint les équations générales de l'équilibre des liquides. La même année, D'Alembert avait formulé une règle qui ramène tout problème de mouvement à un problème d'équilibre ; en 1744, il fit l'application de cette règle aux équations de l'Hydrostatique données par Clairaut et il produisit les équations de l'Hydrodynamique ; ces équations, Euler les transforma et put ainsi obtenir dans l'étude du mouvement des liquides des résultats non moins importants que ceux dont il s'était rendu maître en analysant le mouvement des solides.
232. Clairaut a poussé dans toutes les directions les conséquences de l'hypothèse de l'attraction universelle ; en 1743, les équations de l'Hydrostatique qu'il avait établies lui ont permis de perfectionner la théorie de la figure de la terre ; en 1752, il donna la théorie des

inégalités lunaires dont il avait, tout d'abord, désespéré de rendre compte par les principes de Newton ; les méthodes qu'il avait créées pour l'étude des perturbations que les diverses planètes produisent en la marche d'un astre lui permettent en 1758 d'annoncer avec précision l'époque du retour de la comète de Halley ; la confirmation de cette prévision, en laquelle Lalande (1732-1807) et M^{me} Lepaute avaient aidé Clairaut de leur science de calculateurs, mettait hors de doute la légitimité de l'extension des hypothèses de Newton aux comètes.

233. Quelque grands que soient les perfectionnements apportés par Clairaut au système de l'attraction universelle, ils n'éclipsent pas n'atteignent pas en importance le complément que D'Alembert a donné à ce système. Newton n'avait pu déduire de ses suppositions une théorie satisfaisante de la précession des équinoxes et cette lacune déparait l'harmonieuse doctrine de la gravitation universelle ; en 1749, d'Alembert tira de l'hypothèse de cette gravitation, l'explication de la précession des équinoxes et de la nutation de l'axe de la terre ; bientôt, grâce aux admirables ressources de son génie mathématiques, Euler perfectionnait encore la belle découverte de D'Alembert.
234. Clairaut, D'Alembert et Euler avaient été les génies les plus brillants parmi toute une pleïade [sic] de mécaniciens et d'astronomes ; à cette pleïade [sic] en succéda une autre en laquelle se remarquaient surtout deux hommes d'une incomparable grandeur intellectuelle, Joseph Louis Lagrange (1736-1813) et Pierre-Simon Laplace (1749-1827). On a dit de Laplace qu'il était né pour achever la Mécanique céleste s'il était de la nature d'une science de pouvoir jamais être achevée ; on en pourrait dire autant de Lagrange et de la Mécanique générale. En 1787, Lagrange donnait la première édition de sa *Mécanique analytique*, dont la seconde édition, grandement accrue, acheva de paraître après la mort de l'auteur ; la *Mécanique céleste* de Laplace fut

publiée en 1799 à 1805 ; ces deux ouvrages présentent aux yeux le tableau de ~~toutes les la plupart des conquêtes que le XVIII^e siècle avait faites, au cours du XVIII^e siècle~~, à l'aide des principes que Newton avait assignés à la Mécanique générale et des lois qu'il avait imposées à la gravitation universelle. Ces deux traités, cependant, si vastes et imposants soient-ils, ne renferment pas, à beaucoup près, toutes les découvertes que la Mécanique générale et la Mécanique céleste doivent à leurs auteurs ; pour ne pas être injuste à l'excès envers Lagrange, il faudrait placer à côté de la *Mécanique analytique*, les recherches qu'il a poursuivies sur le mouvement des fluides compressibles et la théorie du son ; et l'on n'aurait de l'œuvre de Laplace qu'une idée incomplète si l'on omettait la grandiose hypothèse cosmogonique par laquelle il couronna, en 1796, son *Exposition du système du monde* ; en développant cette hypothèse, l'illustre géomètre ignorait qu'Immanuel Kant (1724-1804) eût, dès 1755, émis des suppositions analogues, mais déparées par de graves erreurs touchant les théorèmes de la Dynamique.

XXVI. La constitution de la théorie de l'électricité et du magnétisme

235. L'étude des actions électriques demeura longtemps à peine ébauchée ; au début du XVIII^e siècle, elle se trouvait encore presque en l'état où Thalès de Milet l'avait laissée ; elle ~~se trouvait encore~~ restait fort loin du degré où l'étude des attractions et des répulsions ~~électriques~~ magnétiques [...] ~~avait été~~ portée au temps de Pierre de Maricourt. Lorsqu'en 1733 et 1734, Charles François de Cisternay du Fay (1698-1739) eut distingué deux espèces d'électricité, l'électricité résineuse et l'électricité vitrée, lorsqu'il eut

prouvé que les corps chargés d'électricités de même espèce se repoussent, tandis que les corps chargés d'électricités d'espèces différentes s'attirent, la science électrique se trouva amenée au même niveau que la science magnétique avait atteint depuis longtemps et, dès lors, ces deux sciences, unies l'une à l'autre par la plus étroite analogie, progressèrent du même pas.

236. Elles progressèrent rapidement, car l'étude des phénomènes électriques fut, au XVIII^e siècle, l'objet d'un extrême engouement ; les physiciens n'étaient pas seuls à s'y adonner, et les gens du monde se pressaient dans les salons où des vulgarisateurs tels que l'abbé Nollet (1700-1770) prenaient pour préparateurs les principaux [sic] marquis et les sémillantes marquises. Innombrables furent les expérimentateurs qui s'attachèrent à varier les observations sur l'électricité et le magnétisme ; sans tenter une impossible énumération, bornons-nous à citer celui d'entre eux qui a le mieux plus aidé, par ses recherches logiquement conduites, à la formation des théories de l'électricité et du magnétisme ; nous avons nommé Benjamin Franklin (1706-1790). Les recherches d'Henry Cavendish (1731-1810) mériteraient d'être mises sur le même rang que celles de Franklin si elles n'étaient, en son temps, demeurées peu connues.

237. Par les expériences de Franklin et par celles qu'il y joignit, Franz Ulrich Theodor Æpinus (1724-1802) tenta le premier de résoudre le problème indiqué par Newton et de justifier, à l'aide des lois des forces attractives et répulsives, la distribution qu'affecte de l'électricité ou le du magnétisme sur les corps qu'ils affectent ; ses recherches ne pouvaient être poussées fort loin, car on ignorait encore comment ces forces dépendent de la distance à laquelle elles s'exercent. Æpinus parvint, d'ailleurs, à [:-:] resserrer le lien déjà si étroit qui unissait la science électrique à la science du magnétisme en mettant en évidence la polarisation de chacun des élé-

ments de la lame isolante qui sépare les deux armatures du condensateur ; l'expérience qu'il fit à cet égard, en 1759, devait suggérer à Coulomb l'expérience des aimants brisés et la théorie de la polarisation magnétique, fondement de l'étude des aimants ; elle devait également servir de point de départ à toute une branche de la science électrique, à l'étude des corps diélectriques que devaient, au XIX^e siècle, développer Michel Faraday et J. Clerk Maxwell.

238. L'analogie avec la loi si féconde de la gravitation universelle portait sans doute les physiciens à supposer que les actions forces électriques et magnétiques varient en raison inverse du carré de la distance qui sépare les éléments agissants ; mais à cette présomption manquait jusqu'alors le contrôle de l'expérience.
239. Ce contrôle, [---] Charles-Augustin Coulomb (1736-1806) le donna, en 1780, à l'aide de la balance de torsion ; l'emploi de cette balance et du corps d'épreuve lui permit, en outre, de faire au sujet de la distribution de l'électricité sur les corps conducteurs des expériences détaillées et quantitatives qui n'avaient point eu, jusque-là, d'analogues.
240. Les expériences de Coulomb ayant mis hors de doute la forme des lois élémentaires de l'électricité et du magnétisme, il restait à établir, par l'analyse mathématique, comment l'électricité se répartit sur des corps conducteurs de figure donnée, comment un morceau de fer doux s'aimante en des circonstances données. La solution de tels problèmes fut tentée par Coulomb, et aussi, en 1787, par le créateur législateur de la cristallographie, l'abbé René Just Haüy (1743-1822) ; ni l'un ni l'autre de ces deux auteurs ne poussa bien loin ses essais. Pour fixer les principes qui devaient permettre d'analyser la distribution de l'électricité sur les corps

conducteurs, du magnétisme sur le fer doux, il fallut le génie de Siméon-Denis Poisson (1781-1840).

241. En 1812, Poisson montrait comment la recherche de la distribution qu'affecte l'électricité en équilibre sur les corps conducteurs se ramène à un problème d'analyse ; il résolvait complètement ce problème pour le cas de deux sphères séparées qui s'influencent l'une l'autre et aussi pour le cas de deux sphères qui se touchent ; ce dernier cas avait été l'objet, de la part de Pois Coulomb, d'expériences qui fournissaient à la théorie de Poisson un précieux contrôle. En 1824, Poisson établissait, au sujet de conducteurs creux limités soit intérieurement, soit extérieurement, par une cavité sphérique, des théorèmes qu'en 1828, Georges Green (1793-1841) devait étendre à des conducteurs creux quelconques, et que Faraday devait, plus tard, retrouver par l'expérience.
242. De 1813 à 1824, Poisson abordait l'étude des actions magnétiques et de l'aimantation par influence ; en dépit de quelques inexactitudes que l'avenir devait corriger, les formules établies par Poisson demeurent à la base de toutes les recherches dont le magnétisme a fait l'objet depuis ce temps.
243. Grâce aux mémoires de Poisson, la théorie des forces qui s'exercent en raison inverse du carré de la distance, en conquérant le domaine de l'électricité statique et du magnétisme, avait singulièrement accru le champ que la Mécanique céleste lui avait d'abord livré. L'étude des actions exercées par le courant électrique allait ~~livrer~~ ouvrir à cette théorie une nouvelle et ~~féconde~~ opulente contrée.
244. Les découvertes d'Aloisio Galvani (1737-1798) et d'Alessandro Volta (1745-1827) avaient doté la Physique de la pile voltaïque. Rappeler, même sommairement, les recherches diverses auxquelles donna lieu le courant engendré par la pile serait ici chose

impossible ; en l'histoire si complexe de cette partie de la Physique, bornons-nous à signaler quelques points.

245. Tous les physiciens assimilaient le conducteur, siège d'un courant, à un espace où circule un fluide. Or, Euler, en ses travaux sur l'Hydrodynamique, avait établi des formules générales qui s'appliquent au mouvement de tout fluide. Imitant la méthode d'Euler, Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) avait abordé l'étude de la circulation de la chaleur, alors regardée comme un fluide et nommé *le calorique*, au sein des corps conducteurs ; les lois mathématiques auxquelles il avait été conduit avaient mis une fois de plus en évidence l'extrême importance de [sic] méthodes mathématiques que Lagrange et Laplace avaient ~~introdui~~ inaugurées en l'étude de l'attraction universelle, qu'au même moment, Poisson étendait à l'étude de l'électrostatique. Pour traiter mathématiquement de la circulation du fluide électrique à l'intérieur des corps conducteurs, il suffisait de reprendre à-peu-près textuellement l'analyse de Fourier en substituant le mot électricité au mot chaleur ; c'est ce qu'en 1827 avait fait George Simon Ohm (1789-1854).
246. Cependant, le 21 juillet 1820, Hans Christian Oersted (1777-1851) avait découvert l'action que le courant électrique exerce sur l'aiguille aimantée. À cette découverte, André Marie Ampère (1775-1836) joignait bientôt celle des actions qu'exercent l'un sur l'autre deux conducteurs traversés par des courants électriques ; à l'étude des forces électrodynamiques et électromagnétiques, il appliquait une méthode semblable à celle que Newton avait appliquée à l'étude de l'attraction universelle ; et en 1826, il donnait la théorie complète de toutes ces forces en son *Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques unique-*

ment déduite de l'expérience, ouvrage qui peut, sans faiblir, soutenir la comparaison avec les *Philosophiæ naturalis principia mathematica*.

247. Nous ne voulons pas pousser au-delà de cette date l'histoire de l'électricité et du magnétisme ; contentons-nous de faire, entre les deux écrits que nous venons de citer, un nouveau rapprochement ; de même que le traité de Newton a suscité, de la part des successeurs de ce grand homme, une foule de découvertes, de même le mémoire d'Ampère a été le point de départ de recherches qui ont extrêmement étendu le domaine de l'Électrodynamique et de l'Électromagnétisme.
248. ~~En~~ 1831, Michael Faraday (1791-1867), expérimentateur dont l'activité, l'habileté et le bonheur n'ont, peut-être, jamais été égalés, établissait en 1831 les lois expérimentales de l'induction électrodynamique et de l'induction électromagnétique ; de 1845 à 1847, Franz Ernst Neuman [sic] (1798-1895) d'une part, Wilhelm Weber (1804-1891) d'autre part, en suivant pas à pas la méthode par laquelle Ampère avait étudié les ~~phénom~~ forces électrodynamiques, parvinrent à établir la théorie mathématique de ces phénomènes d'induction.
249. Michel Faraday était un adversaire des doctrines newtoniennes ; il lui déplaisait fort que l'on eût recours à des actions à distance ; il pensait éliminer l'emploi de telles actions lorsqu'il s'appliquait à analyser la polarisation des milieux isolants qu'il nommait *diélectriques* ; cependant, c'est en étendant aux corps diélectriques les formules que Poisson, Ampère et Franz Neumann avaient établies pour les aimants et pour les corps conducteurs, que James Clerk Maxwell (1831-1879) a pu créer une nouvelle branche de l'Électrodynamique et, par-là, ~~découvrir~~ manifeste [sic] le lien, cherché depuis si longtemps, entre qui unit la Science de l'électricité et l'Optique. Cette merveilleuse découverte ne fut

pas une des moindres conquêtes de la méthode définie et pratiquée par Newton.

XXVII. L'attraction moléculaire

250. Pendant que l'attraction universelle, proportionnelle au produit des masses et en raison inverse du carré de la distance, établissait son domaine en toute l'étendue de la Science des astres ; pendant que la théorie de l'électricité et du magnétisme s'organisait grâce à la considération d'autres forces, inverses, elles aussi, au carré de la distance, d'autres parties de la Physique allaient se trouver non moins vivement éclairées par une autre hypothèse de Newton ; nous voulons parler de cette supposition qu'entre deux particules matérielles s'exerce une attraction, distincte de l'attraction universelle, extrêmement puissante lorsque les deux particules sont extrêmement voisines, mais négligeable aussitôt que les deux masses qu'elle sollicite se trouvent à une distance sensible l'une de l'autre.
251. Parmi les phénomènes que de telles attractions devaient expliquer, Newton avait déjà signalé les effets de capillarité, au sujet desquels Francis Hawksbee († 1705) avait fait d'intéressantes expériences. En 1718, James Jurin (1684-1750) avait tenté, mais sans grand succès, de suivre l'idée de Newton ; c'est Clairaut qui, en 1743, montra comment les méthodes de l'Hydrostatique permettaient d'appliquer cette idée à l'explication des phénomènes capillaires ; malheureusement, ses raisonnements rigoureux ne lui fournirent aucun résultat important parce qu'il avait attribué au rayon d'activité moléculaire une valeur beaucoup trop grande.
252. Les actions chimiques étaient également de celles qui, au gré de Newton, devaient dépendre de l'attraction moléculaire. John Keill

(1671-1721), John Freind (1675-1728) et Pierre Joseph Macquer (1718-1784) furent de ceux qui crurent à la fécondité de cette pensée de Newton.

253. L'hypothèse de l'attraction moléculaire eut le don d'irriter un homme que sa médiocrité scientifique n'avait pas empêché d'acquérir une très haute autorité ; nous avons nommé Georges Louis Leclerc de Buffon (1707-1788) ; incapable de comprendre qu'une attraction pût ne pas être inversement proportionnelle au carré de la distance, Buffon ~~surtout~~ entama à ce sujet, contre Clairaut, une discussion où son ignorance bouffie d'orgueil put s'imaginer qu'elle avait en raison de la science modeste de son adversaire.
254. Les idées que Buffon avait attaquées et que Clairaut avait défendues furent [...] exposées avec une rare ampleur par le P. Ruggiero Giuseppe Boscovich (1711-1787). S'inspirant à la fois des pensées de Newton et de celles de Leibniz, ce savant jésuite conçut une Cosmologie en laquelle l'Univers est uniquement composé de points matériels ; deux à deux, ces points matériels s'attirent ; lorsque leur distance est notable, leur attraction se réduit sensiblement à l'attraction universelle ; à toute petite distance, des termes qui étaient négligeables au cas précédent, prennent, au contraire, une importance dominante.
255. La Cosmologie de Boscovich traçait à la théorie physique un programme que les géomètres de la fin du XVIII^e siècle et d'une grande partie du XIX^e siècle allaient s'efforcer de remplir.
256. Les essais de Johann Andreas von Segner (1704-1777), puis de Thomas Young (1773-1829) avaient de nouveau attiré l'attention sur les phénomènes capillaires ; à l'aide de l'hypothèse de l'attraction moléculaire et de la méthode suivie par Clairaut, Laplace en donna, en 1806 et en 1807, une théorie extrêmement

belle dont, en 1829, Carl Friedrich Gauss (1777-1855) trouva moyen d'accroître encore l'élégance.

257. Partisan convaincu de la doctrine cosmologique de Boscovich, Laplace communiqua sa conviction aux nombreux géomètres qui subissaient l'ascendant de son génie ; parmi ceux-ci, bornons-nous à citer Claude Louis Marie Henry Navier (1785-1836), Poisson, et Augustin Louis Cauchy (1789-1857) ; en développant les conséquences de l'hypothèse de l'attraction moléculaire, Navier, Poisson et Cauchy parvinrent à construire la théorie de l'équilibre et des petits mouvements des corps élastiques, l'une des plus belles et des plus fécondes [...] de la Physique moderne. La défaveur où les progrès de la Thermodynamique ont, de nos jours, entraîné la Cosmologie de Boscovich n'a, d'ailleurs, presque rien ruiné de ce que Laplace, Gauss, Navier, Poisson, Cauchy et beaucoup d'autres avaient tiré des principes de cette Cosmologie ; ç'a été presque toujours besogne fort aisée que de justifier, à l'aide des méthodes nouvelles, les théories qu'ils avaient établies ; la méthode voie qu'il fallait suivre pour obtenir cette justification avait été indiquée par Cauchy lui-même et par George Green.
258. Beaucoup de chimistes tentèrent, après Macquer, de débrouiller, à l'aide de l'hypothèse de l'attraction moléculaire, les lois des réactions qu'ils étudiaient ; parmi eux, nous pouvons citer Torbern Bergmann (1735-1784) et, surtout, Claude Louis Berthollet (1748-1822) ; lorsqu'en 1803, celui-ci donna sa *Statique chimique*, il put croire que la théorie science des équilibres chimiques, soumise enfin à la méthode de Newton, avait ~~enfin~~ trouvé sa véritable voie ; elle ne devait cependant y entrer que beaucoup plus tard, guidée par des préceptes tout différents que la Thermodynamique ~~avait~~ aurait alors formulé.

XXVIII. La renaissance de la théorie ondulatoire de la lumière

259. La théorie émissionniste de la lumière avait donné à Newton l'occasion de ~~mettre~~ concevoir l'hypothèse de l'attraction moléculaire ; au temps de Laplace, elle sembla fournir à cette hypothèse l'occasion d'un nouveau succès ; elle permit, en effet, au grand géomètre de retrouver, dans le système de l'émission, les lois de la double réfraction du spath d'Islande qu'Huygens avait découvertes en usant de la théorie ondulatoire. Par-là, l'Optique de Newton paraissait enlever à l'Optique d'Huygens le seul avantage dont celui-ci pût se prévaloir.
260. Mais au moment même où cette découverte de Laplace semblait assurer le triomphe du système de l'émission, le système des ondulations allait remporter de nouvelles et éclatantes victoires ; ces victoires lui furent assurées surtout par Thomas Young et par le génial Augustin Jean Fresnel (1788-1827).
261. De 1801 à 1803, Young fit les mémorables découvertes qui provoquèrent ~~la~~ cette renaissance de l'Optique ondulatoire ; l'assimilation de l'éther qui vibre en un rayon de lumière à l'air qui vibre en un tuyau sonore le conduisit à expliquer les franges alternativement claires et obscures qui se montrent en un lieu éclairé par deux faisceaux identiques et peu inclinés l'un sur l'autre ; le principe des interférences, ainsi justifié, lui permit de rattacher à la théorie ondulatoire l'explication des couleurs des lames minces, que Newton avait demandée aux accès de facile réflexion et de facile transmission des particules de la lumière.
262. Combinant ce principe des interférences avec [...] les méthodes inaugurées par Huygens, Fresnel aborda, en 1815, la théorie des phénomènes de diffraction par le P. Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) avait découverts et qui, pour tous les opticiens, demeurait un mystère ; les essais de Fresnel touchant l'explication

de ces phénomènes aboutirent, en 1818, à la rédaction d'un mémoire où se marquent au plus haut degré le caractère essentiel du génie de Fresnel ; Une puissance étrange de divination qui s'affranchit de toutes les règles du raisonnement déductif ; cette divination découvre, [...] par ses déconcertantes démarches, des formules fort compliquées que l'expérience vérifie dans leurs moindres détails, en attendant que, longtemps après, les mathématiciens parviennent à les justifier d'une manière logique ; jamais [...] physicien n'a conquis de vérités plus importantes ni plus imprévues, et cependant, jamais physicien n'a suivi une méthode plus capable de jeter précipiter dans l'erreur une intelligence commune.

263. En un rayon lumineux, la vibration de l'éther avait été, jusque-là, supposée longitudinale comme elle l'est en l'air d'un tuyau sonore. En 1808, Étienne Louis Malus (1775-1812) avait découvert la polarisation que la lumière acquiert en se réfléchissant sur le verre ; en 1817, Young, méditant sur ce phénomène, avait été conduit à la supposition que les vibrations lumineuses sont normales au rayon qui les transmet ; Fresnel qui, de son côté, avait conçu la même pensée, imagina une expérience qu'il réalisa en 1816 avec la collaboration de François Arago (1786-1853) ; cette expérience mettait hors de doute la transversalité des vibrations lumineuses.
264. L'hypothèse de la transversalité des vibrations fut, pour Fresnel, comme la clé qui lui allait ouvrir tous les secrets de l'Optique ; aussi voyons-nous, de sa part, les découvertes se produire avec une étrange rapidité, du jour où il eut adopté cette hypothèse. Bornons-nous à ~~mentionner~~, parmi ces découvertes, à en signaler deux ~~parti~~ qui sont de particulière importance.

265. Nous mentionnerons, en premier lieu, la théorie complète des phénomènes de polarisation qui accompagnent la réflexion ou la réfraction de la lumière à la surface de contact de deux milieux isotropes ; les particularités qui accompagnent la réflexion totale fournirent à Fresnel l'occasion de montrer, de la manière la plus saisissante, son étrange pouvoir de divination, véritable défi jeté à la Logique.
266. Cette divination, insoucieuse des règles du raisonnement déductif, ne fut pas moins puissante en la [...] découverte dont il nous reste à parler et qui est, peut-être, la plus admirable de toutes celles que Fresnel a faites ; tandis que Huygens, en étudiant la double réfraction, s'était borné à déterminer la direction des rayons lumineux au sein des cristaux que nous nommons aujourd'hui uniaxes, Fresnel sans parvenir réussir à rendre compte de la polarisation de ces rayons, Fresnel parvenait à donner la forme géométrique la plus élégante, à l'aide de la surface d'onde, à la loi de la réfraction des rayons au sein des cristaux biaxes, et à formuler les règles selon lesquelles les rayons se polarisent au sein de tous les cristaux, tant uniaxes que biaxes.
267. Toutes ces merveilleuses découvertes ruinaient la théorie de l'émission ; mais il s'en faut bien que l'hypothèse de l'attraction moléculaire s'en trouvât diminuée. Fresnel, en effet, voulait trouver en l'élasticité de l'éther qui transmet les vibrations lumineuses l'explication de toutes les lois d'Optique qu'il avait devinées et vérifiées par l'expérience, trop peu et cette élasticité de l'éther, il en demandait l'explication et les lois aux attractions qu'il imaginait entre les particules très voisines de ce fluide. Trop peu mathématicien et trop peu mécanicien pour pousser bien loin l'analyse d'un tel problème, il le laissa à résoudre à ses successeurs ; à cette tâche, définie par Fresnel, Cauchy consacra les plus puis-

sants efforts de son génie d'algébriste ; grâce à cet élève de Laplace, la Physique newtonienne de l'attraction moléculaire devint l'auxiliaire active et convaincue de l'Optique ondulatoire.

268. Tous les Newtoniens ne furent pas, comme Cauchy, ravis par les découvertes de Fresnel. Jamais Arago ne put admettre la transversalité des vibrations lumineuses, bien qu'il eût été le collaborateur de Fresnel en l'exécution de l'expérience qui prouvait cette transversalité. Jean Baptiste Biot (1774-1862) dont les recherches expérimentales, nombreuses et habiles, avaient fourni à l'Optique nouvelle de précieux matériaux, demeura fermement attaché au système de l'émission, suivant lequel il s'efforçait d'expliquer tous les phénomènes que Fresnel avait découverts et expliqués à l'aide du système des ondulations. Pour que Biot consentît enfin à se tenir pour battu et à regarder le système de l'émission comme condamné, il fallut qu'en 1850, Léon Foucault (1819-1868) prouvât, par une expérience mémorable, cette proposition : la lumière se propage plus vite dans l'air que dans l'eau.

XXIX. Les théories de la chaleur

269. La notion de quantité de chaleur, l'invention du calorimètre, destiné à mesurer la quantité de chaleur dégagée ou absorbée par un corps en des circonstances données sont dues à Joseph Black (1728-1799) et à Adair Crawford (1749-1795) ; en joignant la calorimétrie à la thermométrie, ces deux physiciens ont véritablement créé la Science de la chaleur ; cette science n'était, pour ainsi dire, pas née tant que l'on en était réduit à comparer des températures.
270. Pour Newton aussi bien que pour Descartes, la chaleur consistait en une très vive agitation des plus petites parties des corps ; en

montrant qu'une certaine quantité de chaleur ~~devient latente~~ est fournie à la glace qui fond sans en élever la température, que cette chaleur demeure donc « à l'état latent », en l'eau provenant de la fusion, qu'elle redevient manifeste lorsque cette eau repasse à l'état de glace, les expériences de Black et de Crawford conduisirent les physiciens à changer d'opinion touchant la nature de la chaleur ; ils y virent un certain fluide qui se combine aux autres matières alors que la chaleur ~~devient latente~~ passé à l'état latent, et qui s'en sépare alors que la chaleur redevient libre ; en la nomenclature nouvelle qui consacra la révolution chimique accomplie par Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), ce fluide impondérable fut mis au nombre des corps simples et nommé *calorique*.

271. L'air s'échauffe quand on le comprime ; il se refroidit lorsqu'il se raréfie sous le récipient de la machine pneumatique ; de cette expérience déjà ancienne, Johann Heinrich Lambert (1728-1777), Horace Benedict de Saussure (1740-1779) et John Dalton (1766-1844) avaient reconnu l'importance ; mais c'est grâce à Laplace que cette apparence apparut pleinement.
272. À Laplace, cette expérience prouve que une masse d'air, à une température donnée, contient une quantité de calorique d'autant plus grande que son volume est lui-même plus grand ; si l'on admet l'exactitude de la loi de compressibilité énoncée par Boyle et par Mariotte ; cette quantité de calorique combinée à une masse donnée d'air dont la température est donnée est proportionnelle au volume que cet air occupe. Dès 1803, Laplace formule ces propositions en une courte note qu'insère la *Statique chimique* de Berthollet ; pour vérifier les conséquences que Laplace en déduit touchant la dilatation des gaz, le préparateur qui, à Arcueil, seconde Berthollet, Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850) entreprend ses recherches sur la dilatation des gaz et, en 1807, sur les variations de température qui se produisent lorsqu'un gaz, ~~qui~~

remplit contenu en un récipient, se répand en un autre récipient vide au préalable.

273. Les vues de Laplace entraînent un corollaire évident ; pour élever d'un certain nombre de degrés la température d'un gaz maintenu sous un volume invariable, il faut lui communiquer moins de calorique que si ce gaz se dilatait sous une pression invariable ; un gaz admet donc deux chaleurs spécifiques distinctes selon qu'on l'échauffe sous volume constant ou sous pression constante ; en cette circonstance-ci, la chaleur spécifique est plus grande qu'en celle-là.
274. Par ces remarques, l'étude des chaleurs spécifiques des gaz était signalée comme une des plus importantes que les expérimentateurs pussent aborder ; cette étude fut mise au concours par l'Institut ; ce concours provoqua la composition de deux mémoires importants ; en l'un, dû à Delaroche et Bérard, les chaleurs spécifiques sous pression constante de divers gaz étaient mesurées ; en l'autre, qui avait pour auteurs Desormes et Clément, et qui fut publié en 1812, on déterminait l'échauffement qu'une compression donnée détermine en une certaine masse d'air.
275. Des expériences de Desormes et Clément, Laplace put déduire le rapport que la chaleur spécifique sous pression constante a, en l'air, à la chaleur spécifique sous volume constant ; par-là, il lui fut possible de soumettre au contrôle de l'expérience les idées qu'il s'était formées sur la propagation du son.
276. En appliquant à l'air la loi de compressibilité découverte par Boyle, Newton avait tenté de calculer la vitesse de propagation du son au sein de ce fluide ; la formule qu'il avait établie fournissait des valeurs très inférieures à celles que donnait la détermination expérimentale. Déjà, Lagrange avait montré que l'on pourrait

faire disparaître ce désaccord en modifiant la loi de compressibilité donnée par Boyle ; mais quelle [...] raison justifie cette modification ? C'est ce que Lagrange n'avait point dit et ce que Laplace découvrit. Lorsque le son se propage dans l'air par une alternance de condensations et de dilatations, la température en chaque point, au lieu de demeurer invariable comme l'exige la théorie le suppose, la loi de Boyle, s'élève et s'abaisse alternativement autour d'une valeur moyenne ; il en résulte que la vitesse du son n'est plus exprimée par la formule que Newton avait donnée ; cette formule doit être multipliée par la racine carrée du rapport de la chaleur spécifique sous pression constante à la chaleur spécifique sous volume constant.

277. Dès 1803, la note de la *Statique chimique* en fait foi, Laplace était en possession de cette pensée ; en 1807, son disciple Poisson en développait les conséquences ; en 1816, Laplace publiait sa nouvelle formule ; de nouvelles expériences de Desormes et Clément, des expériences analogues de Gay-Lussac et Welter lui fournissaient des valeurs assez exactes du rapport des chaleurs spécifiques des gaz ; le grand géomètre pouvait, dès lors, comparer le résultat que donnait sa formule à celui que fournissait la détermination directe de la vitesse du son ; celui-ci était en mètres par seconde, représenté par le nombre 340,889 ; celui-là par le nombre 337,715. Un tel accord semblait paraissait être une bien puissante confirmation de l'hypothèse du calorique et de la théorie des actions moléculaires, grâce auxquelles il avait été obtenu. Laplace, semble-t-il, était en droit d'écrire :
278. « Les phénomènes de l'expansion de la chaleur et des vibrations des gaz sont ramenés à des forces attractives et répulsives qui ne sont sensibles qu'à des distances imperceptibles. Dans ma théorie de l'action capillaire, j'ai ramené à de semblables forces les effets de la capillarité. Tous les phénomènes terrestres dépendent de ce genre de forces, comme les phénomènes célestes dépendent de la

gravitation universelle. La considération de ces forces me paraît être maintenant le principal objet de la Philosophie mathématique ».

279. Ces lignes étaient écrites en 1823.

280. En 1824, une vérité nouvelle était formulée ; de cette vérité procéderait, un jour, une doctrine qui bouleverserait profondément la Philosophie naturelle conçue par Newton et par Boscovich, développée par Laplace et par ses disciples. Cependant, c'est encore à la théorie du calorique que l'auteur de cette [...] vérité, Sadi Carnot (1796-1832), rattachait ses raisonnements. Il s'était proposé d'étendre aux machines à feu le principe de l'impossibilité du mouvement perpétuel, admis pour les machines de température invariable ; il fut conduit à cette proposition : Pour qu'une certaine quantité de calorique produise du travail dans le sens où l'industrie humaine a besoin qu'il soit produit, il faut que ce calorique passe d'un corps chaud à un corps froid ; lorsque la quantité de calorique est donnée, ainsi que les températures auxquelles ces deux corps sont portés, le travail utile produit admet une limite supérieure indépendante de la nature des substances qui transportent le calorique et de l'artifice grâce auquel le transport s'effectue.

281. Au moment où Sadi Carnot formulait cette féconde vérité, on sentait déjà branler les fondements de la théorie du calorique.

282. Depuis que des sauvages avaient allumé du feu en frottant deux morceaux de bois l'un contre l'autre, on connaissait la chaleur engendrée par le frottement. Comment expliquer, dans l'hypothèse du calorique, cette génération de chaleur ? Le frottement permet de tirer de deux corps de grandes quantités de calorique et de retrouver ces corps, après l'expérience, dans le même état qu'avant,

partant aussi riches en calorique qu'avant ; d'où provient donc le calorique dégagé ?

283. Dès 1783, Lavoisier et Laplace, qui allaient devenir, cependant, les plus fermes champions de la théorie du calorique, se montraient soucieux de cette difficulté ; elle attira davantage encore l'attention des physiciens lorsqu'en 1798, Benjamin Thompson de Rumford (1753-1814) eut effectué des expériences précises sur la chaleur que peut dégager le frottement, lorsqu'en 1799, Sir Humphry Davy (1778-1829) eut répété des expériences analogues ; en 1803, à côté des notes où Laplace annonçait quelques-unes des plus belles conquêtes de la doctrine du calorique, Berthollet, en sa *Statique chimique*, rendait compte des expériences de Rumford, en essayant en vain de les concilier avec l'opinion régnante.
284. Or, ces expériences, incompatibles avec l'hypothèse qui fait de la chaleur un fluide contenu, en quantité déterminée, au sein de chaque corps déterminé de nature et d'état, ramenait les esprits à la supposition qui avait été celle de Descartes et de Newton, à la supposition que la chaleur est une agitation très vive des petites parties des corps. C'est en faveur de cette supposition que Rumford et Davy concluaient, en discutant leurs expériences.
285. Cependant, dans les dernières années de sa courte vie, Sadi Carnot jette sur le papier quelques notes qui seront publiées seulement en 1878 ; en ces notes, il répudie la théorie du calorique, incompatible avec les expériences de Rumford. « La chaleur, ajoute-t-il, est donc le résultat d'un mouvement. ~~Un mouvement~~ Alors il est tout simple qu'elle puisse se produire par la consommation de puissance motrice et qu'elle puisse produire cette puissance. Partout où il y a destruction de puissance motrice, il y a, en même temps production de chaleur en quantité précisément pro-

portionnelle à la quantité de puissance motrice détruite. Réciproquement, partout où il y a destruction de chaleur, il y a production de puissance motrice. »

286. Pour déterminer ce coefficient de proportionnalité entre la puissance motrice détruite et la quantité de chaleur dégagée, cet *équivalent mécanique de la chaleur*, il faut reprendre des expériences, analogues à celles de Rumford, dont Carnot trace le plan ; puis, de cette quantité, il donne une valeur assez exacte, sans dire comment il l'a obtenue.
287. Dix ans après la mort de Carnot, en 1842, Robert Mayer (1814-1878) retrouvait le principe de l'équivalence entre la chaleur et le travail ; il montrait comment la différence des deux chaleurs spécifiques d'un gaz une fois connue, il était possible de calculer l'équivalent mécanique de la chaleur ; la valeur qu'il obtenait ainsi différait fort peu de celle que Sadi Carnot avait trouvée, sans doute par la même voie.
288. Fort peu lu, le travail génial de Robert Mayer n'exerça guère, sur les progrès de la théorie de la chaleur, plus d'influence que les notes inédites de Sadi Carnot. Mais en 1843, James Prescott Joule (1818-1889) retrouvait, à son tour, le principe de l'équivalence de la chaleur et du travail ; pour déterminer la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur, il réalisait, avec une précision admirable, [---] plusieurs des expériences que Sadi Carnot avait, en ses notes, demandé que l'on fit.
289. L'œuvre de Joule donna à la nouvelle théorie de la chaleur une impulsion dont l'effet ne s'est plus arrêté. En 1849, William Thomson, le futur lord Kelvin (1824-1907) marque la nécessité d'accorder le principe de Sadi Carnot, encore lié à l'hypothèse du calorique, avec le [---] principe, désormais incontestable, de l'équivalence entre la chaleur et le travail ; en 1850, Rudolph

Clausius (1822-1888) accomplit la besogne que William Thomson n'avait osé mener à bien ; la Thermodynamique est fondée.

290. En 1847, Hermann Helmholtz (1821-1897) publiait son opuscule : *Ueber die Erhaltung der Kraft* ; il montrait comment le [...] principe de l'équivalence entre la chaleur et le travail reliait entre elles non seulement la Mécanique et la théorie de la chaleur, mais encore l'étude des réactions chimiques, de l'électricité et du magnétisme ; c'était tout un nouveau programme que la Physique allait s'efforcer de remplir. Des efforts poursuivis vers ce but nous ne retracerons pas l'histoire ; inachevés encore, ils ne se laissent pas juger par ceux-là même qui y consacrent leur activité.

Bordeaux, 24 juin 1910

P. Duhem

Sommaire

I. *Coup d'œil sur la Physique de l'Antiquité.* — II. *Les débuts de la Science chrétienne.* — III. *Coup d'œil sur la Physique arabe.* — IV. *Influence de la tradition arabe sur la Scolastique latine.* — V. *La Science d'observation et ses progrès. Les astronomes. La Statique de Jordanus. Thierry de Fribourg. Pierre de Maricourt.* — VI. *Les articles de Paris (1277). La possibilité du vide.* — VII. *Le mouvement de la Terre. Nicole Oresme.* — VIII. *La pluralité des mondes.* — IX. *La Dynamique. La théorie de l'impetus. L'inertie. Identité de la Mécanique céleste et de la Mécanique sublunaire.* — X. *La diffusion des doctrines de Paris en Allemagne et en Italie. Georges de Peurbach et Regiomontanus. Nicolas de Cues. Léonard de Vinci.* — XI. *L'Averroïsme italien ; ses tendances routinières. Essais de restauration de l'Astronomie des sphères homocentriques.* — XII. *La révolution copernicaine.* — XIII. *La fortune du système de Copernic au XVI^e siècle.* — XIV. *La théorie des marées.* — XV. *La Statique du XVI^e siècle. Simon Stevin.* — XVI. *Les progrès de la Dynamique au XVI^e*

siècle. — XVII. *L'œuvre de Galilée*. — XVIII. *Les premiers essais de Mécanique céleste*. William Gilbert. Johann Kepler. — XIX. *La querelle de la Géostatique*. — XX. *L'œuvre de René Descartes*. — XXI. *Les progrès de la Physique expérimentale*. — XXII. *La théorie ondulatoire de la lumière*. — XXIII. *La constitution de la Dynamique*. — XXIV. *L'œuvre de Newton*. — XXV. *Les progrès de la Mécanique générale et de la Mécanique céleste au XVIII^e siècle*. — XXVI. *La constitution de la théorie de l'électricité et du magnétisme*. — XXVII. *L'attraction moléculaire*. — XXVIII. *La renaissance de la théorie ondulatoire de la lumière*. — XXIX. *Les théories de la chaleur*.

Bibliographie

ALMAGIÀ, *La dottrina della marea nell' antichità classica et nel medio eno*, taken from *Memorie della Reale Accademia dei Lincei* (Rome, 1905) ; CAVERNI, *Storia del metodo sperimentale in Italia* (Florence, 1891-8) ; DUHEM, *Les théories de la Chaleur* in *Revue des Deux Mondes* (1895), CXXIX, 869 ; CXXX, 380, 851 ; IDEM, *L'évolution de la Mécanique* (Paris, 1903) ; IDEM, *Les origines de la Statique* (2 vols., Paris, 1905-6) ; IDEM, *Études sur Léonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu* (2 vols., Paris, 1906-9) ; IDEM, *La théorie physique, son objet et sa structure* (Paris, 1906) ; IDEM, *Σφῆξιν τὰ φαινόμενα. Essai sur la notation [sic] de Théorie physique de Platon à Galilée* (Paris, 1908) ; DÜHRING, *Kritische Gesch. d. allg. Mechanik* (2nd ed., Leipzig, 1877) ; HELLER, *Gesch. d. Physik v. Aristoteles bis auf d. neueste Zeit* (2 vols., Stuttgart, 1882-4) ; HELLMANN, *Neudrucke von Schriften u. Karten über Meteorologie u. Erdmagnetismus* (15 vols., Berlin, 1893-1904) ; JOUGUET, *Lectures de Mécanique, La Mécanique enseignée par les auteurs originaux* (2 vols., Paris, 1908-9) ; KLEIN, *D. Principien d. Mechanik, historisch u. kritisch dargestellt* (Leipzig, 1872) ; LASSWITZ, *Gesch. d. Atomistik vom Mittelalter bis Newton* (2

vols., Hamburg and Leipzig, 1890) ; LIBRI, *Hist. des Sciences mathématiques en Italie, depuis la Renaissance des Lettres jusqu'à la fin du XVII^e siècle* (4 vols., Paris, 1838-41) ; MACH, *D. Mechanik in ihrer Entwicklung, histor.-kritisch dargestellt* (6th ed., Leipzig, 1908) ; PASCAL, *Œuvres*, ed. BRUNSCHVICG and BOUTROUX (3 vols., Paris, 1908) ; ROUSE BALL, *An Essay on Newton's Principia* (London and New York, 1893) ; *Mémoires sur l'Électrodynamique in Collection de Mémoires publiés par la Société française de Physique*, II-III (Paris, 1885-7) ; SUE AINE, *Hist. du Galvanisme et analyse des différens [sic] ouvrages publiés sur cette découverte, depuis son origine jusqu'à nos jours* (4 vols., Paris), an X (1802) - an XIII (1803) ; THIRION, *Pascal, l'horreur du vide et la pression atmosphérique in Revue des Quest. scien.*, 3rd series ; XII (1907), 384 ; XIII (1908), 149 ; XV (1909), 149 ; THUROT, *Recherches histor. sur le Principe d'Archimède in Revue Archéologique* (new series, Paris), XVIII (1868), 389 ; XIX (1869), 42 ; III, 284, 345 ; XX (1869), 14 ; TODHUNTER, *A Hist. of Mathematical Theories of Attraction and the Figure of the Earth from time of Newton to that of Laplace* (2 vols., London, 1873) ; TODHUNTER and PEARSON, *A Hist. of the Theory of Elasticity* (2 vols., Cambridge, 1886-93) ; VENTURI, *Commentari sopra la Storica e le Teorie dell' Ottica* (Bologna, 1814) ; VERDET, *Introduction aux Œuvres d'Augustin Fresnel*, I (Paris, 1866-70), pp. IX-XCIX ; WEIDEMANN, *D. Lehre v. d. Elektrizität*, 2nd ed. (3 vols., Brunswick, 1893-5) ; WOHLWILL, *D. Entdeckung d. Beharrungsgesetzes in Zeitschrift f. Völkerpsychologie u. Sprachwissenschaft* (Berlin), XIV (1883), 365 ; XV (1884), 70, 337 ; IDEM, *Galilei u. sein Kampf f. d. Copernicanische Lehre* (Hamburg and Leipzig, 1909).