

PIERRE DUHEM

ŒUVRES PHILOSOPHIQUES
ET HISTORIQUES COMPLÈTES

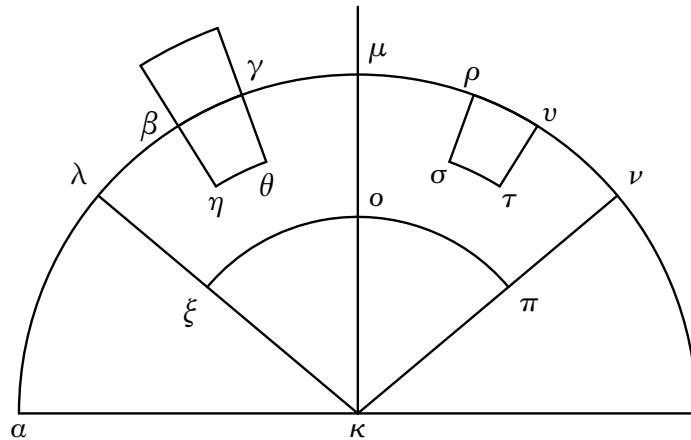


FIG. 3

ξo et les faces de la pyramide ; celles en $o\pi$ le sont : 1^o par le liquide $\rho\sigma\tau\nu$ et 2^o par le liquide situé entre les surfaces $\mu\nu$, $o\pi$ et les faces de la pyramide. Mais le poids du liquide $\mu\nu o\pi$ sera moindre que celui du liquide $\rho\sigma\tau\nu$ [et du solide qui y flotte]¹. En effet, la partie liquide $\rho\sigma\tau\nu$ est moindre que le solide $\epsilon\zeta\eta\theta$, puisqu'elle est égale à la partie $\eta\beta\gamma\theta$ et qu'on a supposé le solide de même poids et de même dimension que le liquide. Le reste des parties liquides est égal de part et d'autre. Il est donc évident que le liquide situé en $o\pi$ cédera à celui qui est en $o\xi$ et qu'il ne sera pas en équilibre. »

De même, dans la démonstration de la proposition 4, Archimède prend sur une surface sphérique concentrique à la Terre deux aires égales ; | il surmonte ces aires de deux vases tronconiques à parois verticales et comme les poids des corps, tant solide que liquide, renfermés en ces deux vases sont inégaux, il en conclut que les deux surfaces subissent des poussées inégales. Enfin, dans la démonstration de la proposition 5, l'égalité de deux tels poids, il conclut à l'égalité des deux poussées.

Ces divers passages nous paraissent ôter tout caractère douteux à l'interprétation que nous avons donnée de l'hypothèse fondamentale d'Archimède ; force est de reconnaître que cette hypothèse est en contradiction avec le paradoxe hydrostatique et partant, erronée.

Comment d'un principe faux Archimède a-t-il pu déduire, sur l'équilibre des corps flottants, les lois qui ont justement immortalisé son nom ?

Pour que l'hypothèse d'Archimède, fausse en général, devienne exacte, deux conditions sont requises : 1^o le vase à parois verticales dont on surmonte la surface pressée ne doit contenir que du liquide et des solides flottant librement ; 2^o il ne doit rencontrer aucun solide fixe ; le point de concours des verticales doit être rejeté à l'infini, en sorte que ces lignes deviennent parallèles.

18 1. Ces mots, exigés par le sens du contexte, manquent dans les textes d'Archimède qui nous sont parvenus.

NOTICE
SUR LA VIE ET LES TRAVAUX
DE
GEORGES BRUNEL
(1856–1900)

PAR

M. P. DUHEM
CORRESPONDANT DE L'INSTITUT
PROFESSEUR DE PHYSIQUE THÉORIQUE À LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE BORDEAUX

Extrait des *Mémoires de la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux*,
t. II (6^e série)

BORDEAUX
IMPRIMERIE G. GOUNOUILHOU
9–11, RUE GUIRAUDE, 9–11
—
1902

LES THÉORIES ÉLECTRIQUES

DE

J . C L E R K M A X W E L L

ÉTUDE HISTORIQUE ET CRITIQUE

PAR

M. P. DUHEM

Correspondant de l'Institut de France,
Professeur de physique théorique à l'Université de Bordeaux

PARIS,

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN

Librairie de S. M. le roi de Suède et de Norvège

6 et 12, rue de la Sorbonne

1902

PUBLICATION DE LA "REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES"

L'ÉVOLUTION
DE LA
MÉCANIQUE

PAR

P. DUHEM
CORRESPONDANT DE L'INSTITUT
PROFESSEUR DE PHYSIQUE THÉORIQUE
À LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

PARIS

MAISON D'ÉDITIONS SCIENTIFIQUES, LITTÉRAIRES ET ARTISTIQUES
A. JOANIN ET Cⁱe
24, RUE DE CONDÉ

—
1903

DE L'ACCÉLÉRATION PRODUITE
PAR UNE FORCE CONSTANTE

NOTES POUR SERVIR À L'HISTOIRE DE LA DYNAMIQUE

Communication transmise
pour le II^e Congrès international de philosophie
(Genève, 4 au 8 septembre 1904)

NOTE ÉDITORIALE. — [360] ; la pagination des comptes rendus du Congrès et celle du tiré à part sont identiques ; l'en-tête de la première page (trois premières lignes de notre texte) ne figure, on s'en doute, que sur le tiré à part. Notes p. 1486.

[INTRODUCTION]	1444
I. Les diverses explications de la chute accélérée des graves données en l'Antiquité et au Moyen Âge	1445
II. L'origine de la notion d' <i>impetus</i>	1448
III. L'accélération et la dynamique de Léonard de Vinci	1451
IV. Les théories dynamiques de Niccolò Tartaglia	1456
V. Jérôme Cardan, Gaspard Contarini, Benedictus Pererius	1458
VI. L'accélération résulte d'une accumulation d' <i>impeti</i> produits par une force continue : Alexandre Piccolomini, Jules César Scaliger, J.-B. Benedetti	1460
VII. Les premières recherches de Galilée	1465
VIII. Les recherches ultérieures de Galilée	1470
IX. Descartes et Beeckman montrent qu'une force constante produit un mouvement uniformément accéléré	1475
X. L'œuvre de Pierre Gassend. — Conclusion	1479

GENÈVE, 4–8 SEPTEMBRE 1904

Extrait des Comptes rendus du Congrès

DE L'ACCÉLÉRATION

PRODUITE PAR UNE FORCE CONSTANTE

NOTES POUR SERVIR À L'HISTOIRE DE LA DYNAMIQUE

Par M. P. DUHEM

Correspondant de l'Institut de France,
Professeur à la Faculté des sciences de Bordeaux

SOMMAIRE : I. Les diverses explications de la chute accélérée des graves données en l'Antiquité et au Moyen Âge. — II. L'origine de la notion d'*impetus*. — III. L'accélération et la dynamique de Léonard de Vinci. — IV. Les théories dynamiques de Niccolò Tartaglia. — V. Jérôme Cardan, Gaspard Contarini, Benedictus Pererius. — VI. L'accélération résulte d'une accumulation d'*impeti* produits par une force continue : Alexandre Piccolomini, Jules César Scaliger, J.-B. Benedetti. — VII. Les premières recherches de Galilée. — VIII. Les recherches ultérieures de Galilée. — IX. Descartes et Beeckman montrent qu'une force constante produit un mouvement uniformément accéléré. — X. L'œuvre de Pierre Gassend. — Conclusion.

Aristote avait formulé cette loi : *Une force constante produit un mouvement uniforme dont la vitesse est proportionnelle à la force qui l'engendre*. Pendant près de deux mille ans cette loi a dominé la mécanique.

Aujourd'hui nous professons cette autre loi : *Une force constante engendre un mouvement uniformément accéléré et l'accélération de ce mouvement est proportionnelle à la force qui sollicite le mobile*. Cette loi est à la base même de la dynamique moderne.

Nous allons essayer de retracer la suite des efforts lents, compliqués, pénibles, par lesquels l'esprit humain est parvenu à rejeter la première opinion et à concevoir la seconde.

L'œuvre que nous vous proposons d'accomplir n'est pas de celles que nul n'a tentées. Plus d'un historien de la science l'a abordée. En particulier, M. E. Wohlwill, dans ses importantes recherches sur la | découverte de la loi de l'inertie¹, 860 en a tracé le plan et édifié maïnte partie. Notre écrit n'aura d'autre prétention que d'être une sorte de note destinée à compléter sur quelques points ce que l'on doit à notre savant prédecesseur.

860 1. EMIL WOHLWILL, *Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes*, *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, XIV. Bd., S. 365, et XV. B., S. 70 et S. 337, 1883–1884.

LES SOURCES DES THÉORIES PHYSIQUES

LES

ORIGINES DE LA STATIQUE

PAR

P. DUHEM

Correspondant de l'Institut de France,
Professeur à la Faculté des sciences de Bordeaux

TOME PREMIER

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN

Librairie de S. M. le Roi de Suède et de Norvège

6, RUE DE LA SORBONNE, 6

—
1905

PRÉFACE

I

Le lecteur ne trouvera pas dans cet ouvrage l'ordre qu'il y eût sans doute désiré, que nous eussions assurément souhaité d'y mettre ; il s'étonnerait de voir notre exposition revenir, à plusieurs reprises, sur ses pas, s'il n'obtenait tout d'abord l'explication de ces singulières démarches.

Avant d'entreprendre l'étude des origines de la statique, nous avions lu les écrits, peu nombreux, qui traitent de l'histoire de cette science ; il nous avait été facile de reconnaître qu'ils étaient, la plupart du temps, bien sommaires et bien peu détaillés ; mais nous n'avions aucune raison de supposer qu'ils ne fussent pas exacts, au moins dans les grandes lignes. En reprenant donc l'étude des textes qu'ils mentionnaient, nous prévoyions qu'il nous faudrait ajouter ou modifier bien des détails, mais rien ne nous laissait soupçonner que l'ensemble même de l'histoire de la statique pût être bouleversé par nos recherches.

Ces recherches nous avaient amené, de prime abord, à quelques remarques imprévues ; elles nous avaient prouvé que l'œuvre de Léonard de Vinci, si riche en idées mécaniques nouvelles, n'était point, comme on le supposait communément, demeurée inconnue des géomètres de la Renaissance ; qu'elle avait été exploitée par maint savant du XVI^e siècle, en particulier par Cardan et par Benedetti ; qu'elle avait fourni à Cardan ses vues si profondes sur la puissance motrice des machines et sur l'impossibilité du mouvement perpétuel. Mais, à partir de Léonard et de Cardan jusqu'à Descartes et à Torricelli, nous avions pu suivre le développement de la statique sans que la marche de ce développement nous eût semblé essentiellement différente de celle qu'on lui attribuait communément.

Nous avions commencé à retracer ce développement en les pages hospitalières de la Revue des questions scientifiques, lorsque la lecture de Tartaglia, dont aucune histoire de la statique ne prononce même le nom, vint inopinément nous montrer que l'œuvre déjà amorcée devait être reprise sur un plan entièrement nouveau.

Tartaglia, en effet, bien avant Stevin et Galilée, avait déterminé la pesanteur apparente d'un corps posé sur un plan incliné ; il avait

II

35 très correctement tiré cette loi du principe dont Descartes devait plus tard affirmer l'entièrg généralité. Mais cette belle découverte, dont aucun historien de la mécanique ne faisait mention, n'était pas le fait de Tartaglia ; elle était, dans son œuvre, un impudent plagiat ; Ferrari le lui reprochait durement et revendiquait cette invention pour
40 un géomètre du XIII^e siècle, pour Jordanus Nemorarius.

Deux traités avaient été publiés, au XVI^e siècle, comme représentant la statique de Jordanus ; mais ces deux traités étaient si différents, ils se contredisaient parfois si formellement, qu'ils ne pouvaient être l'œuvre d'un même auteur. Si nous voulions connaître
45 exactement ce que la mécanique devait à Jordanus et à ses disciples, il nous fallait recourir aux sources contemporaines, aux manuscrits.

Force nous fut donc de dépouiller tous les manuscrits relatifs à la statique que nous avons pu découvrir à la Bibliothèque Nationale et à la Bibliothèque Mazarine. Ce dépouillement laborieux, pour lequel
50 M. E. Bouvy, bibliothécaire de l'Université de Bordeaux, voulut bien nous aider de ses conseils très compétents, nous a conduit à une conséquence absolument imprévue.

Non seulement le Moyen Âge occidental avait reçu, soit directement, soit par l'intermédiaire des Arabes, la tradition de certaines théories helléniques relatives au levier et à la balance romaine, mais encore sa propre activité intellectuelle avait engendré une statique autonome, insoupçonnée de l'Antiquité. Dès le début du XIII^e siècle, peut-être même avant ce temps, Jordanus de Nemore avait démontré la loi du levier en partant de ce postulat : Il faut même puissance pour
60 éléver des poids différents, lorsque les poids sont en raison inverse des hauteurs qu'ils franchissent.

L'idée dont le premier germe se trouvait dans le traité de Jordanus avait grandi, suivant un développement continu, au travers des écrits des disciples de Jordanus, de Léonard de Vinci, de Cardan, de
65 Roberval, de Descartes, de Wallis, pour atteindre sa forme achevée dans la lettre de Jean Bernoulli à Varignon, dans la Mécanique analytique de Lagrange, dans l'œuvre de Willard Gibbs. La science dont nous sommes aujourd'hui si légitimement fiers dérivait, par une évolution dont il nous était donné de marquer les phases graduelles,
70 de la science qui naquit vers l'an 1200.

Ce n'est point seulement par les doctrines de l'École de Jordanus que la mécanique du Moyen Âge a contribué à la formation de la mécanique moderne. Au milieu du XIV^e siècle, l'un des docteurs qui

honoraient le plus la brillante École nominaliste de la Sorbonne,
75 Albert de Saxe, inaugurerait une théorie du centre de gravité qui devait avoir la plus grande vogue et la plus durable influence. Impudemment plagiée au XV^e siècle et au XVI^e siècle par une foule de géomètres et de physiciens qui la reproduisaient sans en nommer l'auteur, cette théorie florissait encore en plein XVII^e siècle ; à qui l'ignore, plus
80 d'une controverse scientifique, ardemment débattue à cette époque, demeure incompréhensible. De cette théorie d'Albert de Saxe est issu, par une filiation qui n'a point subi d'interruption, le principe de statique énoncé par Torricelli.

L'étude des origines de la statique nous a conduit ainsi à une
85 conclusion ; au fur et à mesure que nous avons poussé / nos re- IV cherches historiques plus avant et en des directions plus variées, cette conclusion s'est imposée à notre esprit avec une force croissante ; aussi oserons-nous la formuler dans sa pleine généralité : La science mécanique et physique dont s'enorgueillissent à bon droit les temps
90 modernes découle, par une suite ininterrompue de perfectionnements à peine sensibles, des doctrines professées au sein des écoles du Moyen Âge ; les prétendues révolutions intellectuelles n'ont été, le plus souvent, que des évolutions lentes et longuement préparées ; les soi-disant renaissances que des réactions fréquemment injustes et
95 stériles ; le respect de la tradition est une condition essentielle du progrès scientifique.

Bordeaux, 21 mars 1905,

P. DUHEM

LA THÉORIE PHYSIQUE

SON OBJET ET SA STRUCTURE

Avril 1904–juin 1905 ; 1906 ; 1914

Note éditoriale	ci-dessous
Table des parties et chapitres	1864
Table complète	1865
Texte	1869
Notes	2090

NOTE ÉDITORIALE

Nous plaçons ici *La théorie physique*, dont la première parution *comme volume* date de 1906 ; rappelons cependant, comme Duhem le fait lui-même dans la préface à la seconde édition du volume (1914), que « les chapitres qu'elle réunit avaient été successivement publiés, en 1904 et en 1905, par la *Revue de philosophie*⁴⁴⁵ » : nous donnons, en tête de nos notes⁴⁴⁶, la date et le lieu précis de parution de chaque portion du texte sous forme d'article, et indiquons la correspondance de la pagination des articles, préfixée *RP*, en marge de notre texte. Il serait bon que les commentateurs cessent de dater le texte de 1906 sans donner davantage de précisions : cela fausse la chronologie des publications, et ce, de façon fâcheuse, puisque les positions de « Physique de croyant » (fin 1905), par exemple, ne sont pas tout à fait celles que Duhem expose en 1904 dans les premières livraisons de *La théorie physique*.

Nous désignons la première édition en volume⁴⁴⁷ de la lettre *A*, la seconde⁴⁴⁸ de la lettre *B*, et préfixons les indications de pagination en conséquence ; sauf indication contraire, la pagination indiquée dans nos notes est celle de *A*.

À quelques coquilles près, le texte de *La théorie* est identique dans les articles et en *A* ; quant à *B*, en dépit de la mention faite, sur sa couverture et à sa page de titre⁴⁴⁹, d'une édition non seulement *augmentée*, mais *revue*, on n'y relève, si l'on laisse de côté quelques coquilles, quelques très mineures modifications

445. P. v ; ici p. 1871, l. 1–3.

446. P. 2090.

447. Notre [395].

448. Notre [563].

449. Ici en p. 1870.

TABLE COMPLÈTE

[PAGE DE TITRE DE LA PREMIÈRE ÉDITION]	1869
[PAGE DE TITRE DE LA SECONDE ÉDITION]	1870
PRÉFACE DE LA SECONDE ÉDITION	1871
INTRODUCTION	1872
 P R E M I È R E P A R T I E	
L'OBJET DE LA THÉORIE PHYSIQUE 1874	
 CHAPITRE PREMIER	
THÉORIE PHYSIQUE ET EXPLICATION MÉTAPHYSIQUE 1875	
I. La théorie physique considérée comme explication	1875
II. Selon l'opinion précédente, la physique théorique est subordonnée à la métaphysique	1876
III. Selon l'opinion précédente, la valeur d'une théorie physique dépend du système métaphysique que l'on adopte	1877
IV. La querelle des causes occultes	1880
V. Aucun système métaphysique ne suffit à édifier une théorie physique	1882
 CHAPITRE II	
THÉORIE PHYSIQUE ET CLASSIFICATION NATURELLE 1885	
I. Quelle est la véritable nature d'une théorie physique et quelles opérations la constituent	1885
II. Quelle est l'utilité d'une théorie physique ? La théorie considérée comme une économie de la pensée	1887
III. La théorie considérée comme classification	1888
IV. La théorie tend à se transformer en classification naturelle	1889
V. La théorie devançant l'expérience	1892
 CHAPITRE III	
LES THÉORIES REPRÉSENTATIVES ET L'HISTOIRE DE LA PHYSIQUE 1895	
I. Rôle des classifications naturelles et des explications dans l'évolution des théories physiques	1895
II. Les opinions des physiciens sur la nature des théories physiques .	1901

CHAPITRE IV LES THÉORIES ABSTRAITES ET LES MODÈLES MÉCANIQUES	1914
I. Deux sortes d'esprits : les esprits amples et les esprits profonds	1914
II. Un exemple d'amplitude d'esprit : l'esprit de Napoléon	1916
III. L'amplitude d'esprit, l'esprit de finesse et l'esprit géométrique	1918
IV. L'amplitude d'esprit et l'esprit anglais	1921
V. La physique anglaise et le modèle mécanique	1925
VI. L'École anglaise et la physique mathématique	1931
VII. L'École anglaise et la coordination logique d'une théorie	1934
VIII. La diffusion des méthodes anglaises	1940
IX. L'usage des modèles mécaniques est-il fécond en découvertes ?	1945
X. L'usage des modèles mécaniques doit-il supprimer la recherche d'une théorie abstraite et logiquement ordonnée ?	1950
 S E C O N D E P A R T I E LA STRUCTURE DE LA THÉORIE PHYSIQUE	
	1955
CHAPITRE I QUANTITÉ ET QUALITÉ	1956
I. La physique théorique est une physique mathématique	1956
II. Quantité et mesure	1957
III. Quantité et qualité	1959
IV. La physique purement quantitative	1961
V. Les diverses intensités d'une même qualité sont exprimables par des nombres	1963
CHAPITRE II DES QUALITÉS PREMIÈRES	1968
I. De la multiplication excessive des qualités premières	1968
II. Une qualité première est une qualité irréductible en fait, non en droit	1970
III. Une qualité première ne l'est jamais qu'à titre provisoire	1974
CHAPITRE III LA DÉDUCTION MATHÉMATIQUE ET LA THÉORIE PHYSIQUE	1977
I. À-peu-près physique et précision mathématique	1977
II. Déductions mathématiques physiquement utiles ou inutiles	1979
III. Exemple de déduction mathématique à tout jamais inutilisable	1982
IV. Les mathématiques de l'à-peu-près	1984

CHAPITRE IV L'EXPÉRIENCE DE PHYSIQUE	1987
I. Une expérience de physique n'est pas simplement l'observation d'un phénomène ; elle est, en outre, l'interprétation théorique de ce phénomène	1987
II. Le résultat d'une expérience de physique est un jugement abstrait et symbolique	1989
III. L'interprétation théorique des phénomènes rend seule possible l'usage des instruments	1994
IV. De la critique d'une expérience de physique ; en quoi elle diffère de l'examen d'un témoignage ordinaire	1999
V. L'expérience de physique est moins certaine, mais plus précise et plus détaillée que la constatation non scientifique d'un fait	2002
CHAPITRE V LA LOI PHYSIQUE	2004
I. Les lois de physique sont des relations symboliques	2004
II. Qu'une loi de physique n'est, à proprement parler, ni vraie ni fausse, mais approchée	2006
III. Que toute loi de physique est provisoire et relative parce qu'elle est approchée	2009
IV. Que toute loi de physique est provisoire parce qu'elle est symbolique	2011
V. Les lois de physique sont plus détaillées que les lois de sens commun	2014
CHAPITRE VI LA THÉORIE PHYSIQUE ET L'EXPÉRIENCE	2016
I. Le contrôle expérimental d'une théorie n'a pas, en physique, la même simplicité logique qu'en physiologie	2016
II. Qu'une expérience de physique ne peut jamais condamner une hypothèse isolée, mais seulement tout un ensemble	2019
III. <i>L'experimentum crucis</i> est impossible en physique	2022
IV. Critique de la méthode newtonienne. — Premier exemple : la mécanique céleste	2024
V. Critique de la méthode newtonienne (<i>suite</i>). — Deuxième exemple : l'électrodynamique	2028
VI. Conséquences relatives à l'enseignement de la physique	2032
VII. Conséquences relatives au développement mathématique de la théorie physique	2036
VIII. Certains postulats de la théorie physique sont-ils inaccessibles aux démentis de l'expérience ?	2038
IX. Des hypothèses dont l'énoncé n'a aucun sens expérimental	2042
X. Le bon sens est juge des hypothèses qui doivent être abandonnées	2045

	CHAPITRE VII	
	LE CHOIX DES HYPOTHÈSES	
I.	À quoi se réduisent les conditions imposées par la logique au choix des hypothèses	2048
II.	Les hypothèses ne sont point le produit d'une création soudaine, mais le résultat d'une évolution progressive. — Exemple tiré de l'attraction universelle	2049
III.	Le physicien ne choisit pas les hypothèses sur lesquelles il fondera une théorie. Elles germent en lui sans lui	2075
IV.	De la présentation des hypothèses dans l'enseignement de la physique	2078
V.	Les hypothèses ne peuvent être déduites d'axiomes fournis par la connaissance commune	2080
VI.	Importance, en physique, de la méthode historique	2087

BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE EXPÉRIMENTALE

..... II

*La
théorie physique
Son objet et sa structure*

Par

P. DUHEM

Correspondant de l'Institut de France
Professeur de physique théorique à la Faculté des sciences de Bordeaux



PARIS
CHEVALIER & RIVIÈRE, Éditeurs
30, rue Jacob
1906

BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE EXPÉRIMENTALE

Directeur É. PEILLAUBE

***** II *****

*La théorie
physique*

SON OBJET — SA STRUCTURE

PAR

Pierre DUHEM

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR À L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

D E U X I È M E É D I T I O N

REVUE ET AUGMENTÉE



PARIS

MARCEL RIVIÈRE & C^{ie}, ÉDITEURS

31, rue Jacob, 31

1914

PRÉFACE
DE LA SECONDE ÉDITION

B V

La première édition de ce livre porte la date de 1906 ; les chapitres qu'elle réunit avaient été successivement publiés, en 1904 et en 1905, par la Revue de philosophie. Depuis ce temps, nombre de débats, au sujet de la théorie physique, ont été agités entre philosophes, et 5 nombre de théories nouvelles ont été proposées par les physiciens. Ni ces discussions ni ces inventions ne nous ont révélé de raisons de mettre en doute les principes que nous avions posés. Bien plutôt nous a-t-il paru plus assuré que ces principes devaient être fermement tenus. Certaines Écoles, il est vrai, ont affecté de les mépriser ; 10 délivrées de la contrainte qu'elles en eussent éprouvée, elles ont pensé courir plus aisément et plus vite de découverte en découverte ; mais cette course effrénée et désordonnée à la poursuite de l'idée nouvelle a bouleversé tout le domaine des théories physiques ; elle en a fait un véritable chaos, où la logique ne trouve plus sa voie et d'où le bon 15 sens fuit épouvanté.

Il ne nous a donc pas semblé oiseux de rappeler les règles de la logique et de revendiquer les droits du bon sens ; il ne nous a pas paru qu'il fût inutile de répéter ce que nous avions dit il y a près de dix ans ; aussi cette | seconde édition reproduit-elle textuellement 20 toutes les pages de la première.

B VI

Si, en s'écoulant, les années ne nous ont pas apporté de raisons qui nous fissent douter de nos principes, elles nous ont fourni des occasions de les préciser et de les développer. Ces occasions nous ont amené à écrire deux articles ; l'un, « Physique de croyant », a été 25 publié par les Annales de philosophie chrétienne ; l'autre, « La valeur de la théorie physique », a reçu l'hospitalité de la Revue générale des sciences pures et appliquées.

Le lecteur aura peut-être quelque profit à retrouver ici les éclaircissements et les compléments que ces deux articles avaient donnés 30 à notre livre ; aussi les avons-nous reproduits dans l'appendice qui termine cette nouvelle édition.

LA THÉORIE PHYSIQUE

RP 387 / A 1 / B VII

SON OBJET ET SA STRUCTURE

INTRODUCTION

Cet écrit sera une simple analyse logique de la méthode par laquelle progresse la science physique. Peut-être certains de nos lecteurs voudront-ils étendre à des sciences autres que la physique les réflexions qui sont ici exposées ; peut-être, aussi, désireront-ils en tirer des conséquences transcendantes à l'objet propre de la logique ; pour nous, nous nous sommes soigneusement gardé de l'une et de l'autre généralisation ; nous avons imposé à nos recherches d'étroites limites, afin d'explorer d'une manière plus complète le domaine resserré que nous leur avons assigné.

10 Avant d'appliquer un instrument à l'étude d'un phénomène, l'expérimentateur, soucieux de certitude, démonte cet instrument, en examine chaque pièce, en étudie l'agencement et le jeu, la soumet à des essais variés ; il sait alors d'une manière exacte ce que valent les indications de l'instrument et de quelle précision elles sont susceptibles ;

15 il peut en faire usage avec sécurité.

Ainsi avons-nous analysé la théorie physique. Nous avons cherché, tout d'abord, à en fixer l'*objet* avec précision. Puis, connaissant la fin à laquelle elle est ordonnée, nous en avons examiné la *structure* ; nous avons étudié successivement le mécanisme de chacune des opérations

20 par lesquelles elle se constitue ; nous avons marqué comment chacune d'elles concourait à l'objet de la théorie.

A 2
B VIII

RP 388

Nous nous sommes efforcé d'éclairer chacune de nos affirmations par des exemples, craignant, par-dessus toutes choses, les discours dont on ne saisit point l'immédiat contact avec la réalité.

25 D'ailleurs, la doctrine exposée en cet écrit n'est point un système logique issu de la seule contemplation d'idées générales ; elle n'a pas été construite par une méditation ennemie du détail concret. Elle est née, elle s'est développée par la pratique quotidienne de la science.

Il n'est presque aucun chapitre de la physique théorique que 30 nous n'ayons eu à enseigner jusqu'en ses détails ; il n'en est guère au progrès desquels nous ne nous soyons maintes fois efforcé. Les idées d'ensemble sur l'objet et la structure de la théorie physique que nous présentons aujourd'hui sont le fruit de ce labeur, prolongé pendant vingt ans. Nous avons pu, par cette longue épreuve, nous 35 assurer qu'elles étaient justes et fécondes.

35 une hypothèse déterminée en l'isolant de toutes les autres ; la logique ne peut réclamer que l'on essaye à tour de rôle chaque des hypothèses que l'on compte employer, car un tel essai est impossible. A 363

Quelles sont donc les conditions qui s'imposent logiquement au choix des hypothèses sur lesquelles doit reposer la théorie physique ? Ces conditions sont 40 de trois sortes. B 335

En premier lieu, une hypothèse ne sera pas une proposition contradictoire en soi, car le physicien entend ne pas énoncer des non-sens.

En second lieu, les diverses hypothèses qui doivent porter la physique ne se contrediront pas les unes les autres ; la théorie physique, en effet, ne doit pas 45 se résoudre en un amas de modèles disparates et incompatibles ; elle entend garder, avec un soin jaloux, l'unité logique, car une intuition que nous sommes impuissants à justifier, mais qu'il nous est impossible d'aveugler, nous montre qu'à cette condition seulement la théorie tendra à sa forme idéale, à la forme de classification naturelle. RP 521

50 En troisième lieu, les hypothèses seront choisies de telle manière que, de *leur ensemble*, la déduction mathématique puisse tirer des conséquences qui représentent, avec une approximation suffisante, *l'ensemble* des lois expérimentales. La représentation schématique, au moyen des symboles mathématiques, des lois établies par l'expérimentateur, est, en effet, le but propre de la théorie physique ; 55 toute théorie dont une conséquence serait en contradiction manifeste avec une loi observée devrait être impitoyablement rejetée. Mais il n'est point possible de comparer une conséquence isolée de la théorie à une loi expérimentale isolée. Ce sont les deux systèmes pris dans leur intégrité, le système entier des représentations théoriques, d'une part, le système entier des données d'observation, 60 d'autre part, qui doivent être comparés l'un à l'autre et dont la ressemblance doit être appréciée. A 364

II

*Les hypothèses ne sont point le produit d'une création soudaine,
mais le résultat d'une évolution progressive.*

Exemple tiré de l'attraction universelle

B 336

À ces trois conditions se réduisent les exigences imposées par la logique aux hypothèses qui doivent porter une théorie physique ; pourvu qu'il les respecte, le théoricien jouit d'une entière liberté ; il peut jeter comme bon lui semblera les fondations du système qu'il va construire.

5 Pareille liberté ne sera-t-elle pas la plus embarrassante de toutes les gênes ?

Eh quoi ! Devant les yeux du physicien s'étend à perte de vue la foule innombrable, la cohue désordonnée des lois expérimentales, que rien encore ne résume, ne classe et ne coordonne ; il lui faut formuler des principes dont les conséquences donneront une représentation simple, claire, ordonnée, de cet effrayant ensemble 10 de données de l'observation ; mais avant de pouvoir apprécier si les conséquences de ses hypothèses atteignent leur objet, avant de pouvoir reconnaître si elles donnent des lois expérimentales une image ressemblante et une classification RP 522

méthodique, il lui faut constituer le système entier de ses suppositions ; et lorsqu'il demande à la logique de le guider en cette difficile besogne, de lui désigner quelles hypothèses | il doit choisir, quelles il doit rejeter, il reçoit cette simple prescription d'éviter la contradiction, prescription désespérante par l'extrême latitude qu'elle laisse à ses hésitations. L'homme peut-il user utilement d'une liberté à ce point illimitée ? Son intelligence est-elle assez puissante pour créer de toutes pièces une théorie physique ?

A 365

Assurément non. Aussi l'histoire nous montre-t-elle qu'aucune théorie physique n'a jamais été créée de toutes pièces. La formation de toute théorie physique a toujours procédé par une suite de retouches qui, graduellement, à partir des premières ébauches presque informes, ont conduit le système à des états plus achevés ; et, en chacune de ces retouches, la libre initiative du physicien a été conseillée, soutenue, guidée, parfois impérieusement commandée par les circonstances les plus diverses, par les opinions des hommes comme par les enseignements des faits. Une théorie physique n'est point le produit soudain d'une création ; elle est le résultat lent et progressif d'une évolution.

B 337

Lorsque quelques coups de bec brisent la coquille de l'oeuf et que le poussin s'échappe de sa prison, l'enfant peut s'imaginer que cette masse rigide et immobile, semblable aux cailloux blancs qu'il ramasse au bord du ruisseau, a soudainement pris vie et produit l'oiseau qui court et piaille ; mais là où son imagination puérile voit une soudaine création, le naturaliste reconnaît la dernière phase d'un long développement ; il remonte, par la pensée, à la fusion première de deux microscopiques noyaux pour redescendre, ensuite, la série des divisions, des différenciations, des résorptions qui, cellule par cellule, ont construit le corps du jeune poulet.

A 366

Le profane vulgaire juge de la naissance des théories physiques comme l'enfant juge de l'éclosion du poulet. Il croit que cette fée à laquelle il donne le nom de science a touché de sa baguette magique le front d'un homme de génie et que la théorie s'est aussitôt manifestée, vivante et achevée : telle Pallas Athéna sortant tout armée du front de Zeus. Il pense qu'il a suffi à Newton de voir une pomme tomber dans un pré | pour que, soudainement, les effets de la chute des graves, les mouvements de la Terre, de la Lune, des planètes et de leurs satellites, les voyages des comètes, le flux et le reflux de l'Océan, se vinssent résumer et classer en cette unique proposition : *Deux corps quelconques s'attirent proportionnellement au produit de leurs masses et en raison inverse du carré de leur mutuelle distance.*

B 338

Ceux qui ont de la nature et de l'histoire des théories physiques une vue plus profonde savent que, pour trouver le germe de cette doctrine de la gravitation universelle, il le faut chercher parmi les systèmes de la science hellène ; ils connaissent les lentes métamorphoses de ce germe au cours de son évolution millénaire ; ils énumèrent les apports de chaque siècle à l'œuvre qui recevra de Newton sa forme viable ; ils n'oublient point les hésitations et les tâtonnements par lesquels Newton même a passé avant de produire un système achevé ; et, à aucun moment, dans l'histoire de l'attraction universelle, ils n'aperçoivent un phénomène qui ressemble à une soudaine création ; un instant où l'esprit humain, soustrait à l'impulsion de tout mobile, étranger aux sollicitations des doctrines

A 367

RP 523

LES SOURCES DES THÉORIES PHYSIQUES

LES

ORIGINES DE LA STATIQUE

PAR

P. DUHEM

Correspondant de l'Institut de France,
Professeur à la Faculté des sciences de Bordeaux

TOME II

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN

Librairie de S. M. le Roi de Suède et de Norvège

6, RUE DE LA SORBONNE, 6

1906

PRÉFACE DU TOME II

v

Nous commencerons par réparer une injustice involontaire.

En la préface du tome I, nous disions comment, en commençant la publication de nos recherches, nous ignorions la solution du problème du plan incliné empruntée par Tartaglia à l’École de Jordanus.

- 5 *Nous ajoutions que, de cette belle découverte, aucun historien de la mécanique n’avait fait mention.*

Or, en ce point, nous nous trompions.

Depuis plusieurs années, l’Académie des sciences de Turin avait reçu une importante communication¹ de M. Giovanni Vailati. En cet 10 écrit, l’auteur étudiait les diverses esquisses du principe des vitesses virtuelles que l’on peut relever dans les ouvrages des mécaniciens grecs.

C’est parmi ces ouvrages qu’il rangeait l’écrit pillé par Tartaglia, et composé par l’auteur inconnu que nous avons nommé le Précurseur 15 de Léonard.

Nous ne discuterons pas ici l’âge que M. Vailati attribue à ce traité de mécanique ; cette question sera examinée ailleurs². Nous nous bornerons à déclarer, pour le moment, que le savant professeur de l’Institut technique de Florence avait très exactement apprécié 20 l’importance de ce traité ; on en jugera par la conclusion qui terminait son exposé :

« Pour rencontrer une œuvre en laquelle la statique se trouve aussi vi
absolument concentrée autour du principe des travaux virtuels, encore
que ce principe ne soit conçu que d’une manière partielle et impar-
faite ; une œuvre, dirai-je, où la statique soit assujettie d’une manière
si despotique à ce principe ; une œuvre où l’on refuse, d’une manière
si rigoureuse, toute initiative, tout droit d’intervenir à l’intuition
directe, dont la méthode d’Archimède faisait si largement usage, pour
rencontrer une telle œuvre, dis-je, il faut venir jusqu’à l’opuscule que
30 Descartes a intitulé : *Explicatio machinarum atque instrumentorum*
quorum ope gravissima quæque pondera sublevantur ; cet opuscule

V 1. GIOVANNI VAILATI, *Il principio dei lavori virtuali da Aristotele a Erone d’Alessandria* (*Accademia reale delle scienze di Torino*, vol. XXXII, séance du 13 juin 1897).

2. *Vide infra*, note F.

est, en effet, la première tentative qui ait été faite, après le traité dont nous parlons, pour construire l'édifice entier de la statique sur le plan que devait réaliser la Mécanique analytique de Lagrange. »

* * *

35 *Au Moyen Âge, la statique était enseignée de deux manières : dans les universités, les maîtres ès arts rattachaient l'étude des lois de l'équilibre aux commentaires dont ils enrichissaient les écrits cosmologiques d'Aristote ; hors des universités, on traitait la statique comme une science mathématique autonome, sans attaché avec la philosophie ; cette science, on en trouvait le dépôt dans des ouvrages que l'on attribuait parfois à Euclide, à Archimède, à Jordanus, dont plus souvent encore, les auteurs étaient simplement désignés par ce terme collectif : auctores de ponderibus.*

40 45 *Notre premier volume a eu pour principal objet de suivre, parmi mille vicissitudes, le développement des méthodes que les auctores de ponderibus avaient créées ; de ce développement est issue la statique cartésienne, fondée tout entière sur l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant.*

50 *Les deux premiers chapitres du présent volume nous retraceront l'évolution des idées émises par les maîtres scolastiques ; nous y verrons cette évolution aboutir au célèbre principe de Torricelli : Un système pesant dont le centre de gravité se trouve aussi bas que possible est assurément en équilibre.*

55 *Le germe qui devait donner naissance à cette vérité se devine, vague et indistinct, dans les écrits de très anciens commentateurs d'Aristote, de Simplicius par exemple ; au XIV^e siècle, il se précise dans les livres d'Albert de Saxe et prend cette forme : En tout grave, il y a un point bien déterminé, le centre de gravité, qui tend à se placer au centre des choses pesantes.*

60 65 *Cette proposition qui se montrera extrêmement féconde en conséquences, implique une importante erreur ; l'existence d'un centre de gravité fixe en un corps pesant est liée à la supposition que les verticales des divers points de ce corps peuvent être regardées comme parallèles entre elles ; elle est incompatible avec l'existence, à distance finie, d'un commun centre des choses pesantes. Tout erronée soit-elle, cette proposition s'impose, indiscutée, à tous les esprits ; elle est prise « pour un axiome, le plus clair et le plus évident qu'on peut demander ».*

La révolution copernicaine, en déplaçant le centre de l'Univers,
70 ne ruina pas ce principe ; elle l'obligea seulement à se modifier ; le centre de la Terre fut substitué au centre commun des graves, et l'axiome ainsi rajeuni put recevoir la constante adhésion de Galilée.

Les conséquences visiblement inadmissibles que Fermat déduisit de cette proposition erronée purent seules en amener la ruine, tandis
75 que les corollaires utiles que l'on en avait déduits prenaient enfin une forme correcte.

Le principe faux qui avait si longtemps dirigé la statique de l'École, avait aussi produit la théorie géodésique la plus généralement enseignée dans les universités ; aussi l'histoire de la science de l'équilibre se
80 trouve-t-elle liée d'une manière inextricable à l'histoire des doctrines qui ont été émises, au Moyen Âge et à l'époque de la Renaissance, viii touchant la figure de la Terre et des mers. On ne s'étonnera donc pas que cette dernière histoire se mêle, en notre écrit, à celle des propriétés du centre de gravité.

* * *

85 Des notes assez nombreuses terminent notre volume ; elles apportent au lecteur quelques trouvailles, trop tardivement faites pour prendre leur juste place ; de ces trouvailles, les unes se sont présentées spontanément à nous, au cours de nos longues recherches ; les autres nous ont été signalées par la bienveillante compétence de plusieurs de nos
90 lecteurs ; qu'il nous soit permis de leur adresser ici collectivement les remerciements qu'à chacun d'eux nous avons offerts au moment où nous citions ce que nous lui devions.

* * *

Qu'il nous soit permis également de témoigner notre reconnaissance au R. P. J. Thirion ; à plusieurs reprises son obligeance nous a
95 procuré des documents difficilement accessibles et sa vigilance nous a évité des erreurs qui nous avaient échappé.

Bordeaux, 14 juillet 1906.

P. DUHEM

CHRONOLOGIE DE LA PARUTION

Première colonne, haut : date du fascicule de parution ; bas : revue de parution (*BI* = *Bulletin Italien* ; *BH* = *Bulletin Hispanique*), volume, numéro, intervalle de pages.

Deuxième col., haut : sections correspondantes dans les volumes (si la numérotation dans les *Bulletins* diffère de celle des volumes, nous portons un ≠ et détaillons en note), bas : numéro dans notre bibliographie.

Troisième col. : titre du chapitre correspondant (si différences, même chose : nous détaillons en note) ; intervalles de pages correspondants dans les volumes et dans la présente édition.

1905

janvier–mars	1–1.3	<i>Albert de Saxe et Léonard de Vinci</i>
<i>BI</i> 5.1, 1–33	[368]	1–33; 2464–2485
.....
avril–juin	1.4–1.5	<i>Albert de Saxe et Léonard de Vinci</i>
<i>BI</i> 5.2, 113–130	[375]	33–50; 2485–2496
<i>Bordeaux, 8 décembre 1904</i>	indiqué en signature
.....
juillet–septembre	2	<i>Léonard de Vinci et Villalpand</i> 51–85; 2497–2518
<i>BI</i> 5.3, 237–268	[382]
<i>Bordeaux, 15 janvier 1905</i>	indiqué en signature
.....
octobre–décembre	3	<i>Léonard de Vinci et Bernardino Baldi</i> 87–123;
<i>BI</i> 5.4, 314–348	[386]	2519–2542
.....

1906

janvier–mars	4	<i>Bernardino Baldi, Roberval et Descartes</i> 125–156;
<i>BI</i> 6.1, 25–53	[396]	2543–2562
<i>Bordeaux, 19 juin 1905</i>	indiqué en signature
.....
avril–juin	5–5.4	<i>Thémon le fils du Juif et Léonard de Vinci</i>
<i>BI</i> 6.2, 97–124	[405]	157–186; 2563–2581
.....
juillet–septembre	5.5–5.9	<i>Thémon le fils du Juif et Léonard de Vinci</i> (suite)
<i>BI</i> 6.3, 185–218	[407]	187–220; 2581–2602
.....
octobre–décembre	6	<i>Léonard de Vinci, Cardan et Bernard Palissy</i>
<i>BI</i> 6.4, 289–319	[413]	221–253; 2586–2588
.....

1907

avril–juin	11–11.4	<i>Nicolas de Cues et Léonard de Vinci</i>
<i>BI</i> 7.2, 87–134	[420]	97–146; 3150–3181
.....
juillet–septembre	11.5–11.8	<i>Nicolas de Cues et Léonard de Vinci</i> (suite)
<i>BI</i> 7.3, 181–220	[421]	146–185; 3181–3206
.....

octobre–décembre	11.9	<i>Nicolas de Cues et Léonard de Vinci</i> (suite)
<i>BI</i> 7.4, 314–329	[425]	185–200; 3207–3216
<hr/>		
1908		
janvier–mars	11.10–11.12	<i>Nicolas de Cues et Léonard de Vinci</i> (suite)
<i>BI</i> 8.1, 18–55	[432]	201–238; 3217–3241
<hr/>		
avril–juin	11.13–11.14	<i>Nicolas de Cues et Léonard de Vinci</i> (suite)
<i>BI</i> 8.2, 116–147	[438]	238–269; 3241–3262
<hr/>		
juillet–septembre	12–12.8	<i>Léonard de Vinci et les origines de la géologie</i>
<i>BI</i> 8.3, 212–252	[??]	282–323; 3270–3295
<hr/>		
octobre–décembre	12.9–12.12	<i>Léonard de Vinci et les origines de la géologie</i>
<i>BI</i> 8.4, 312–346	[??]	(suite) 323–357; 3295–3317
<hr/>		
1909		
janvier–mars	13–13.3	<i>Jean I Buridan (de Béthune) et Léonard de Vinci</i>
<i>BI</i> 9.1, 27–57	[465]	1–34; 3991–4011
<hr/>		
avril–juin	13.4–13.5 (début)	<i>Jean I Buridan (de Béthune) et Léonard de Vinci</i>
<i>BI</i> 9.2, 97–130	[470]	(suite) 34–67; p. 4011–p. 4033, l. 345
<hr/>		
juillet–septembre	13.5 (suite)	<i>Jean I Buridan (de Béthune) et Léonard de Vinci</i>
<i>BI</i> 9.3, 227–271	[474]	(suite) 67–112; p. 4033, l. 346–p. 4062
<hr/>		
octobre–décembre	14.1–14.2	<i>La tradition de Buridan et la science italienne au</i>
<i>BI</i> 9.4, 338–360	[477]	<i>XVI^e siècle</i> 113–137; 4063–4078
<hr/>		
1910		
janvier–mars	14.3	<i>La tradition de Buridan et la science italienne au</i>
<i>BI</i> 10.1, 24–47	[484]	<i>XVI^e siècle (suite)</i> 137–160; 4078–4093
<hr/>		
avril–juin	14.4–14.5 (début)	<i>La tradition de Buridan et la science italienne au</i>
<i>BI</i> 10.2, 95–133	[485]	<i>XVI^e siècle (suite)</i> 160–198; p. 4093–p. 4118, l. 447
<hr/>		
juillet–septembre	14.5 (suite)–14.6	<i>La tradition de Buridan et la science italienne au</i>
<i>BI</i> 10.3, 202–231	[489]	<i>XVI^e siècle (suite)</i> 198–227; p. 4118, l. 448–p. 4137
<hr/>		
juillet–septembre	15.1–15.7	<i>Dominique Soto et la scolastique parisienne</i>
<i>BH</i> 12.3, 275–302	[490]	261–290; 4159–4177
<hr/>		
octobre–décembre	15.8–15.10	<i>Dominique Soto et la scolastique parisienne (suite)</i>
<i>BH</i> 12.4, 357–376	[492]	290–309; 4177–4189
<hr/>		
1911		
janvier–mars	14.7	<i>La tradition de Buridan et la science italienne au</i>
<i>BI</i> 11.1, 1–32	[502]	<i>XVI^e siècle (suite)</i> 227–259; 4137–4158
<hr/>		
avril–juin	15.11–15.12	<i>Dominique Soto et la scolastique parisienne (suite)</i>
<i>BH</i> 13.2, 157–194	[505]	309–346; 4189–4213
<hr/>		
juillet–septembre	15.13–15.14	<i>Dominique Soto et la scolastique parisienne (suite)</i>
<i>BH</i> 13.3, 291–305	[507]	346–360; 4213–4223
<hr/>		
octobre–décembre	15.15–15.17	<i>Dominique Soto et la scolastique parisienne (suite)</i>
<i>BH</i> 13.4, 440–467	[512]	361–388; 4223–4241
<hr/>		

É T U D E S
SUR
L É O N A R D D E V I N C I
CEUX QU'IL A LUS
ET CEUX QUI L'ONT LU

PAR
PIERRE DUHEM
CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE
PROFESSEUR À LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

PREMIÈRE SÉRIE

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN
Librairie de S. M. le Roi de Suède
6, RUE DE LA SORBONNE, 6
—
1906

Lorsque nous contemplons une grande découverte, nous éprouvons tout d'abord une admiration mêlée d'effroi ; notre regard étonné mesure la hauteur à laquelle le génie s'est élevé ; nous sentons à quel point cette hauteur surpasse toutes celles auxquelles notre humble esprit saurait atteindre, et une sorte de vertige s'empare de nous.

Puis, au fur et à mesure que la méditation nous rend plus familière la découverte qui nous avait ravis, notre admiration change de nature ; non pas, certes, qu'elle perde de son intensité ; mais elle se dépouille peu à peu de tout ce que la surprise y mêlait d'instinctif et d'irréfléchi ; 10 elle devient de plus en plus consciente et raisonnée. Si colossal que le génie nous apparaisse, nous comprenons qu'il n'est pas d'autre nature que notre modeste intelligence ; qu'il procède par les mêmes voies qu'elle, encore qu'avec une sûreté et une promptitude incomparables ; nous voyons clairement qu'il ne s'est pas élevé d'un seul bond à la 15 hauteur où nous le contemplons ; qu'il y est parvenu par une longue suite d'efforts tout semblables à ceux dont nous sommes capables ; alors naît en nous le désir de connaître chacun de ces efforts et l'ordre dans lequel ils se sont succédé ; nous réclamons le récit détaillé de l'ascension qui a conduit l'inventeur à sa découverte.

20 Mais ce récit, combien il est difficile de l'obtenir exact et précis !

Bien souvent, celui qui est parvenu au sommet d'où se découvre une ample vérité n'a souci que de décrire aux autres hommes le spectacle qui s'offre à lui ; quant aux peines qu'il a prises pour atteindre le pic d'où sa vue peut s'étendre au loin, il les a oubliées, 25 il les juge misères sans importance, | indignes de nous être contées ; il nous livre son œuvre achevée, mais il jette au feu ses esquisses.

D'autres nous disent comment ils s'y sont pris pour inventer ; mais il n'est pas toujours prudent de se fier à leurs confessions.

Du point culminant, on aperçoit tous les chemins propres à y 30 conduire ; on ne les soupçonne pas tandis qu'on gravissait la pente. Parmi ces chemins, on en voit un, parfois, qui est tout simple et facile, par lequel on eût évité les longs détours et les mauvais pas. C'est cette route aisée que l'inventeur nous décrit, non le sentier pénible et dangereux qu'il a vraiment suivi. « Ma découverte est achevée,

35 fait-on dire à Gauss ; il ne me reste plus qu'à trouver comment je l'aurais dû faire. »

Il est donc des inventeurs qui nous cachent avec une sorte de pudeur les longues et pénibles démarches de leur esprit en quête de vérité ; ceux-là nous montrent seulement la route royale par laquelle il 40 eût été facile d'atteindre la découverte qui leur a coûté tant d'efforts. Il en est aussi qui tiennent à faire parade de leur vigueur et de leur habileté ; ceux-ci nous disent, ou nous laissent croire, qu'ils ont, seuls et par leurs propres forces, deviné les sentiers les plus cachés, franchi les passages les plus scabreux ; ils se gardent bien de 45 nommer le guide dont l'expérience les a empêchés de se fourvoyer, dont la main secourable les a préservés d'une chute ; ils nous décrivent avec complaisance les lacets compliqués de leurs déductions et la profondeur de leurs méditations ; ils ne nous disent pas quelles lectures ont orienté ces déductions et soutenu ces méditations.

50 Il est donc bien malaisé de suivre le progrès de l'idée en l'esprit de l'inventeur et de développer la série des formes par lesquelles elle a passé pour atteindre sa perfection.

Pour que notre curiosité fût pleinement satisfaite, il faudrait que l'inventeur eût minutieusement jalonné son chemin au fur et à mesure 55 qu'il l'accomplissait, qu'il eût marqué, pour ainsi dire, la trace de chacun de ses pas. Nous aimerais que chacune de ses pensées eût été saisie et fixée par l'écriture au moment même qu'elle prenait naissance en son esprit ; les notes ainsi recueillies nous permettraient v de comprendre comment l'idée s'est éclaircie peu à peu, depuis le 60 moment où le génie en a soupçonné la vague silhouette au travers des brumes du doute, jusqu'à l'instant où il a pu la contempler en pleine évidence, dans la splendeur du vrai.

Or, parmi ceux qui ont initié l'esprit humain à l'intelligence de nouvelles vérités, il en est un qui nous a laissé cette description 65 minutieuse des démarches de sa pensée, qui a rédigé, pour ainsi dire, le journal du voyage de découvertes que fut sa vie ; au fur et à mesure qu'une proposition nouvelle s'offrait à ses méditations, il la notait avec une entière sincérité, sans dissimuler aucune de ses hésitations, aucun de ses tâtonnements, aucun de ses repentirs, car 70 il n'écrivait que pour lui-même, en sorte que ces précieux brouillons nous permettent de suivre, depuis la première esquisse jusqu'au dessin arrêté et détaillé, les formes diverses qu'une invention a prises en la raison géniale de Léonard de Vinci.

Les manuscrits de Léonard de Vinci sont des documents d'un prix
75 inestimable, car ils sont uniques en leur genre ; aucun de ceux dont les méditations ont enrichi la science ne nous a donné, au sujet de la marche suivie par ses pensées, des indications aussi nombreuses, aussi détaillées, aussi immédiates.

Ce n'est pas que ces documents nous livrent du premier coup
80 et sans un labeur prolongé les renseignements qu'ils recèlent en abondance.

Ces courtes notes écrites de droite à gauche, difficiles à déchiffrer, souvent obscures en leur extrême concision, sont rarement datées ; les cahiers qui les gardent ont été remplis tantôt dans le sens de la
85 pagination, tantôt en sens contraire ; quelques-uns de ces carnets semblent porter des réflexions qui ont été engendrées à différentes époques de la vie du grand peintre ; d'autres, en grand nombre, ont été perdus.

Du sein de ce chaos, il s'agit d'exhumer les divers fragments
90 qui ont trait à une même découverte, de les ranger dans l'ordre des temps où ils furent conçus, de telle sorte qu'ils marquent les étapes successives de l'idée en progrès ; cette tâche est bien souvent malaisée et les résultats n'en sont point toujours d'une certitude absolue.

95 Si pénible que soit cette tâche, elle n'est peut-être pas la plus ardue qu'il faille accomplir pour retracer l'histoire d'une invention de Léonard.

Lorsqu'une idée nouvelle naissait dans l'esprit du Vinci, elle ne s'y engendrait pas d'elle-même et sans cause ; elle y était produite par
100 quelque circonstance extérieure, par l'observation d'un phénomène naturel, par la conversation d'un homme, plus souvent encore par la lecture d'un livre.

D'ailleurs, l'esprit où venait tomber ce germe de pensée n'était point semblable à une terre rase et nue ; d'autres pensées, vigoureuses
105 et pressées, l'occupaient déjà ; elles y avaient été implantées par les leçons des maîtres que Léonard avait entendus et surtout par les enseignements des écrits qu'il avait médités. Pour germer et grandir, il fallait que la graine nouvelle venue se servît de cette végétation déjà développée ou qu'elle luttât contre elle.

110 Si l'on veut donc suivre l'évolution d'une idée dans l'intelligence du Vinci, on doit, tout d'abord, répondre à cette question : « Qu'avait-il lu ? » Et la réponse ne se peut donner sans des recherches longues

et minutieuses. D'une part, en effet, en rédigeant ses notes hâties et concises, Léonard a bien rarement nommé l'auteur dont la lecture ou
115 le souvenir lui suggérait telle ou telle proposition. D'autre part, en comparant son œuvre à celle de ses devanciers, on reconnaît bientôt qu'il avait beaucoup lu et qu'il avait étudié bon nombre des traités scientifiques prisés de son temps.

L'un des objets de ces *Études* est de faire connaître quelques-unes
120 des sources auxquelles Léonard a puisé et de discerner ce que chacune d'elles a versé au courant des pensées du grand inventeur.

Mais pour apprécier exactement le rôle que Léonard a joué comme initiateur, il ne suffit pas de déterminer et d'étudier *ceux qu'il a lus*; il faut encore découvrir *ceux qui l'ont lu*.

125 L'idée au progrès de laquelle l'inventeur a travaillé n'acquiert pas sa plénitude et son achèvement en la raison de son | auteur; vii lorsqu'il la publie, elle est encore grosse de vérités nouvelles; et ces vérités, elle les produira par l'œuvre de ceux qui accueilleront la découverte et qui s'efforceront de la développer. Il est juste de louer
130 le premier initiateur non pas seulement de ce qu'il a mis en acte dans son invention, mais encore de ce qu'il y a laissé en puissance; et cela, on ne le peut connaître qu'en étudiant les travaux de ses successeurs.

Or, Léonard a eu des successeurs; ses notes manuscrites ne sont point demeurées intactes en un stérile oubli; impudemment pillées et plagiarées, elles ont jeté aux quatre vents du ciel les semences de vérité qu'elles contenaient en abondance; et ces semences ont porté fleur et fruit en la science du XVI^e siècle. Nommer quelques-uns de ceux qui ont eu connaissance de ces notes, mettre leur plagiat en évidence, évaluer ce qu'ils doivent au Vinci, c'est le second objet de
140 ces *Études*.

Entre *ceux qu'il a lus* et *ceux qui l'ont lu*, Léonard de Vinci apparaît à sa véritable place; solidaire du passé, dont il a recueilli et médité les enseignements, il est encore solidaire de l'avenir dont ses pensées ont fécondé la science.

145 La plupart de ces *Études* ont paru, tout d'abord, dans le *Bulletin Italien*. En cette publication, dont leur dévouement assure la prospérité, M. G. Radet et M. E. Bouvy nous ont accordé la plus large hospitalité. Qu'ils nous permettent de leur en témoigner notre très vive gratitude.

ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

ESSAI
sur la notion de théorie physique
DE PLATON À GALILÉE

PAR

Pierre DUHEM

CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE
PROFESSEUR À L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

EXTRAIT DES *Annales de philosophie chrétienne*

P A R I S
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN ET FILS
6, RUE DE LA SORBONNE, 6

1908

PIERRE DUHEM

LE MOUVEMENT ABSOLU
ET
LE MOUVEMENT RELATIF

EXTRAIT DE LA *REVUE DE PHILOSOPHIE*

MONTLIGEON (ORNE)
IMPRIMERIE-LIBRAIRIE DE MONTLIGEON

—
1907

ÉTUDES SUR LÉONARD DE VINCI

CEUX QU'IL A LUS ET CEUX QUI L'ONT LU

« SECONDE SÉRIE »

1909, avant le 15 mars

NOTE ÉDITORIALE. — [459]. Volume paru avant le 15 mars, date à laquelle Duhem en fait hommage à l'Académie des Sciences (cf. p. 3406–3408). Plan d'ensemble, chronologie et introduction générale aux *Études* p. 2407–2455. Notes p. 3395–3406.

TABLE

[PAGE DE TITRE]	3088
AVANT-PROPOS	3089
IX	
LÉONARD DE VINCI ET LES DEUX INFINIS	3090
I. L'infiniment grand et l'infiniment petit selon Aristote	3091
II. L'infiniment petit dans la scolastique	3092
III. L'infiniment grand dans la scolastique	3113
IV. L'infiniment grand et l'infiniment petit dans les notes de Léonard de Vinci	3121
X	
LÉONARD DE VINCI ET LA PLURALITÉ DES MONDES	3124
I. Un texte de Léonard de Vinci	3124
II. Aristote et la pluralité des mondes	3125
III. Le poids d'un grave varie-t-il avec la distance au centre du Monde ? Simplicius, Averroès, Albert le Grand, saint Thomas d'Aquin	3128
IV. La pluralité des mondes et la toute-puissance de Dieu. Michel Scot ; saint Thomas d'Aquin ; Étienne Tempier ; Guillaume d'Ockham	3134
V. La pluralité des mondes selon Albert de Saxe	3137
VI. Le poids résulte-t-il d'une attraction exercée à distance ? Jean de Jandun, Guillaume d'Ockham, Albert de Saxe	3140
VII. Les discussions sur la pluralité des mondes au xv ^e siècle. Paul de Venise et Johannes Majoris	3145
VIII. Commentaire aux réflexions sur la pluralité des mondes données par Léonard de Vinci	3148

XI

NICOLAS DE CUES ET LÉONARD DE VINCI

I.	Quelques mots sur la vie de Nicolas de Cues	3150
II.	Les diverses éditions des œuvres de Nicolas de Cues	3151
III.	Esquisse du système philosophique de Nicolas de Cues	3153
	<i>A. L'ignorance savante</i> , p. 3154 — <i>B. Le postulat fondamental : L'identité du maximum et du minimum absolu</i> , p. 3155 — <i>C. L'existence et l'unité du maximum absolu</i> , p. 3155 — <i>D. L'éternité de Dieu. La trinité divine</i> , p. 3156 — <i>E. L'Univers contracté et la création</i> , p. 3158 — <i>F. L'Univers est-il fini ou infini ?</i> , p. 3158 — <i>G. Dieu est la synthèse de la création et la création est le développement de Dieu</i> , p. 3159 — <i>H. De quelle manière Dieu et l'Univers sont en toutes choses créées, et inversement</i> , p. 3160 — <i>I. La trinité contractée de l'Univers</i> , p. 3161 — <i>J. Les éléments et les mixtes</i> , p. 3163 — <i>K. L'homme ; l'union de l'âme et du corps</i> , p. 3164 — <i>L. Les facultés de l'âme humaine</i> , p. 3164 — <i>M. La charité, union de Dieu et de l'âme humaine</i> , p. 3166	
IV.	Les sources où Nicolas de Cues a puisé. La scolastique, la philosophie néo-platonicienne, la <i>Théologie d'Aristote</i>	3167
V.	Les réflexions de Léonard de Vinci touchant la philosophie de Nicolas de Cues. Synthèse et développement	3181
VI.	Les réflexions de Léonard de Vinci touchant la philosophie de Nicolas de Cues (<i>suite</i>). La création et l'amour créateur	3191
VII.	Les réflexions de Léonard de Vinci touchant la philosophie de Nicolas de Cues (<i>suite</i>). Les facultés de l'âme	3193
VIII.	Les réflexions de Léonard de Vinci touchant la philosophie de Nicolas de Cues (<i>suite</i>). L'immortalité de l'âme	3199
IX.	La dynamique de Nicolas de Cues et les sources dont elle découle	3207
X.	La dynamique de Nicolas de Cues et la dynamique de Kepler	3217
XI.	La dynamique de Nicolas de Cues et la dynamique de Léonard de Vinci. Théorie de l' <i>impeto</i> composé	3224
XII.	La dynamique de Nicolas de Cues et la dynamique de Léonard de Vinci (<i>suite</i>). La théorie métaphysique du mouvement	3231
XIII.	La mécanique de Nicolas de Cues et la mécanique de Léonard de Vinci. L'hygromètre, le sulcomètre et le mouvement de la Terre	3241
XIV.	La nature des astres selon Nicolas de Cues et Léonard de Vinci	3252
	APPENDICE. Denys l'Aréopagite, la <i>Théologie d'Aristote</i> et Nicolas de Cues	3263

XII

LÉONARD DE VINCI ET LES ORIGINES DE LA GÉOLOGIE

I.	Aristote	3270
II.	Théophraste et le <i>Traité du Monde</i> faussement attribué à Philon d'Alexandrie	3271
III.	Hérodote et Strabon	3275
IV.	Le livre <i>Des propriétés des éléments</i> faussement attribué à Aristote	3280
V.	Le <i>Traité des minéraux</i> attribué à Avicenne	3282

VI.	Albert le Grand	3287
VII.	Vincent de Beauvais	3292
VIII.	Ristoro d'Arezzo	3293
IX.	La géologie italienne au XIV ^e siècle et au XV ^e siècle. Paul de Venise. — Léonard Qualéa	3295
X.	Albert de Saxe	3298
XI.	Léonard de Vinci	3301
XII.	Léonard de Vinci et la tradition parisienne en Italie	3308
	NOTES	3318
A.	Sur la mécanique de Léonard de Vinci et les recherches de Raffaello Caverini	3318
B.	Les <i>auctores de ponderibus</i> et Léonard de Vinci	3320
C.	Sur l'origine de la loi du polygone de sustentation	3321
D.	Sur la bibliographie des écrits d'Albert de Saxe et de Thémon le fils du Juif	3322
E.	Sur les deux infinis	3322
i.	Richard de Middleton	3322
ii.	Jean de Bassols	3327
iii.	Durand de Saint-Pourçain	3331
iv.	Jean Buridan	3332
v.	Grégoire de Rimini	3337
vi.	Robert Holkot	3349
vii.	Johannes Majoris	3352
F.	Sur la pluralité des mondes	3356
i.	Guillaume d'Auvergne	3356
ii.	Roger Bacon	3358
iii.	Richard de Middleton	3359
iv.	Walter Burley	3361
v.	Gaétan de Tiène	3362
vi.	Jean de Bassols	3363
vii.	Robert Holkot	3364
viii.	Jean Buridan	3366
G.	De quelques sources auxquelles Nicolas de Cues a pu puiser	3369
i.	Jean Scot Érigène	3369
ii.	Jean Buridan	3372
iii.	Les <i>Questions sur l'Éthique à Nicomaque</i> attribuées à Jean Buridan	3381
H.	Richard de Middleton et le mouvement des projectiles	3383
I.	Sur les petits mouvements de la terre	3385
J.	Quelques textes d'Henri de Gand	3386

É T U D E S
SUR
L É O N A R D D E V I N C I
CEUX QU'IL A LUS
ET CEUX QUI L'ONT LU

PAR
PIERRE DUHEM
CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE
PROFESSEUR À LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

SECONDE SÉRIE

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN ET FILS
Libraires de S. M. le Roi de Suède
6, RUE DE LA SORBONNE, 6

—
1909

AVANT-PROPOS

III

Cette seconde série de nos *Études sur Léonard de Vinci* se compose de quatre pièces.

De ces quatre pièces, les deux premières sont publiées ici pour la première fois ; les deux dernières ont déjà paru dans le *Bulletin Italien*, entre le mois d'avril 1907 et le mois de décembre 1908. Le directeur de cette publication, M. G. Radet, doyen de notre Faculté des lettres, et le secrétaire de la rédaction, notre très vigilant bibliothécaire, M. É. Bouvy, nous ont continué la plus aimable hospitalité. Qu'il nous soit permis de leur exprimer ici notre croissante gratitude.

Depuis l'impression, déjà ancienne, de ces études et, en particulier, des deux premières, bien des textes sont venus à notre connaissance, qui eussent pu être employés en la rédaction de ces articles. Ces textes, nous les avons brièvement analysés en des notes dont quelques-unes sont assez étendues.

Nous espérons que les quatre études ici réunies contribueront à jeter quelque jour sur deux époques particulièrement intéressantes du développement de la pensée moderne.

L'une de ces époques coïncide avec la fin du XIII^e siècle ; c'est alors qu'à Paris, à Oxford et dans les contrées soumises à l'influence intellectuelle de ces deux grandes universités, la pensée chrétienne renverse la tyrannie du péripatétisme ; c'est alors que l'on déclare possibles, en dépit du Philosophe et de son Commentateur, le mouvement de la Terre, la pluralité des mondes, le vide, la grandeur infinie.

La seconde époque avoisine l'an 1500. La scolastique parisienne née, au début du XIV^e siècle, de la réaction contre le péripatétisme, s'alanguit et s'épuise à Paris et dans les universités allemandes, colonies de notre université française ; mais au même moment, les doctrines des terminalistes parisiens, mal reçues jusque-là par les Italiens, finissent par triompher de l'averroïsme de Bologne et de Padoue ; le contact avec la géométrie antique leur infuse comme une vie nouvelle dont témoigne la renaissance des sciences en Italie. Léonard de Vinci résume et condense, pour ainsi dire, en sa personne, tout le conflit intellectuel par lequel la Renaissance italienne va devenir l'héritière de la scolastique parisienne.

IV

Bordeaux, 12 janvier 1909

Ce problème, c'est le problème de la composition des forces | concourantes 51 posé et résolu par Léonard de la manière la plus élégante.

Bornons-nous au cas particulier qui se trouve visé dans la page que nous 35 allons citer.

Deux poulières p, p' sont sur une même horizontale (fig. 2); une corde qui passe sur ces deux poulières porte en son milieu un poids P ; deux poids égaux Q, Q' tendent 40 les brins qui pendent au-delà des poulières.

Léonard a découvert la règle dont dépend l'équilibre d'un pareil système. Par rapport à un point de la corde pp' , le poids 45 P doit avoir même moment que la tension

de l'autre corde, tension qui est égale à Q ; si donc de ce point A on abaisse une perpendiculaire AB sur la direction de la corde pP , et une autre perpendiculaire 50 AC sur la verticale menée par le centre de gravité du poids P , la première de ces perpendiculaires sera à la seconde comme le poids P est au poids Q . Telle est la loi que Léonard formule et prouve en divers passages du cahier E. Dans son langage, AB est le *levier potentiel* de la tension et AC le *levier potentiel* du poids tenseur.

Si grand que soit le poids tenseur Q , tant que le poids P n'est pas nul, il est impossible que le levier potentiel AB de la tension soit nul; impossible, par conséquent, que la corde pp' soit horizontale. « Jamais la corde de grosseur ou 55 puissance quelconque¹, posée dans la situation de l'égalité avec ses extrémités opposées, ne se pourra redresser ayant quelque poids au milieu de sa longueur. »

C'est à ce propos que Léonard écrit ces lignes² :

« Jamais le levier potentiel n'est consumé par aucune puissance; on le prouve par la première qui dit : Toute quantité continue est divisible à l'infini, etc.

« Mais ce qui est divisible en acte l'est encore en puissance; ce n'est pas 60 à dire que ce qui est divisible en puissance le soit en acte. Et si les divisions faites potentiellement vers l'infini varient la substance de la matière divisée, ces divisions retourneront à la composition de leur tout, les parties se rejoignant par les mêmes degrés par lesquels elles furent divisées. Par exemple, nous prendrons 65 la glace et nous la diviserons vers l'infini; elle se changera en eau, et d'eau en air; et si l'air revient à s'épaissir, il se fera en eau et d'eau en grêle, etc. »

Ces quelques lignes nous montrent à quel point Léonard était informé des théories que les scolastiques avaient agitées touchant la division à l'infini. Il admet que tout continu est, en puissance, divisible à l'infini; mais il n'en conclut 70 pas qu'il le soit en acte; la vérité du jugement syncatégorique n'entraîne pas celle du jugement catégorique.

Le Vinci, d'ailleurs, semble se prononcer en faveur de la doctrine de Gilles le Romain. Lorsqu'on divise un corps en parties assez petites, « la substance

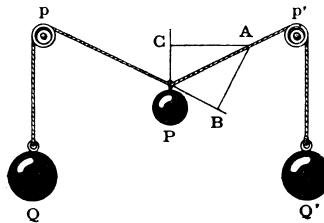


FIG. 2

51 1. *Les manuscrits de LéONARD DE VINCI*; ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 60, verso.

2. *Les manuscrits de LéONARD DE VINCI*; ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 60, recto.

soin de nous en avertir¹ tout aussitôt après le passage que nous venons de citer :

« Le mouvement fait par le mobile qui est de figure longue et de côtés uniformes autour de sa ligne centrale sera droit dans l'air aussi longtemps que subsistera celui qui vit en lui, c'est-à-dire l'*impeto* fourni par son moteur. »

200 Cette note porte le titre : *Théorie des volatiles*; Léonard voulait donc appliquer la proposition qui en est l'objet à la théorie du vol des oiseaux; cette théorie, en effet, sujet constant de ses méditations, ne cesse de le préoccuper tandis qu'il rédige le cahier E. Quelques feuillets après celui que nous venons de lire, nous trouvons une nouvelle note² qui développe la précédente :

205 « *Des oiseaux.* — Pourquoi l'oiseau fait un mouvement de circonvolution en ployant la queue. — Tous les corps qui ont une longueur et qui se meuvent en ayant les extrémités latérales également distantes de la ligne centrale de leur grosseur, feront leurs mouvements droits, et surtout le mouvement naturel, mais aussi le violent et de même le demi-naturel, la puissance de l'*impeto* conducteur de tels corps ne se variant pas.

210 « Mais si les extrémités latérales des corps qui ont une longueur sont inégalement distantes de la ligne centrale de leur grosseur, alors le mouvement de ce corps se courbera dans l'air où il se meut, et cette courbure aura la partie concave du côté où l'extrémité du corps déjà dit est plus éloignée de ladite ligne centrale. »

215 Un corps dissymétrique qu'on lance en l'air ou qu'on fait rouler sur le sol a, généralement, une trajectoire courbe, par suite de la résistance de l'air ou du frottement ; Léonard, qui constate le fait, semble l'attribuer à une influence directe de la forme du corps sur l'*impeto* qui se varierait par suite de l'inégalité de cette forme ; si telle est sa pensée, elle rappelle celle que Nicolas de Cues émet dans son *De ludo globi* et l'on pourrait croire qu'elle a subi l'influence de cette dernière.

220 Si nous doutions que ces pensées de Léonard aient subi l'influence du dialogue *De ludo globi*, il nous suffirait, pour en acquérir la certitude, de tourner le feillet du cahier E ; tout aussitôt¹, en effet, nos yeux rencontreraient un dessin (*fig. 2*) qui représente une spirale ; un hémisphère touche le sol en un point de la circonférence qui circonscrit sa base et roule le long de cette spirale ; c'est la figure même du *jeu de globe* que Léonard a tracée et c'est à ce jeu, décrit par Nicolas de Cues, qu'il va appliquer ses théories dynamiques.

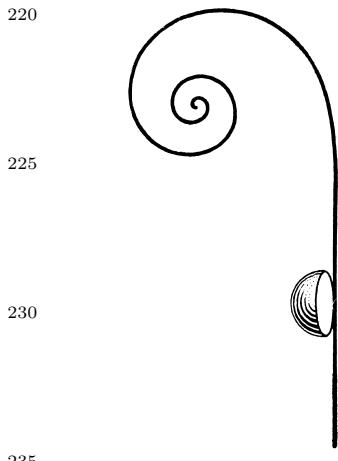


FIG. 2 <p. 220 de l'or.>

verso.

- 218 1. LÉONARD DE VINCI, *loc. cit. <ibid. >*, fol. 50, verso.
- 219 1. LÉONARD DE VINCI, *loc. cit. <ibid. >*, fol. 50, recto.
- 2. LÉONARD DE VINCI, *loc. cit. <ibid. >*, fol. 35, verso.
- 220 1. LÉONARD DE VINCI, *loc. cit. <ibid. >*, fol. 35, recto.

Tout à côté de ce dessin s'en trouve un autre (*fig. 3*) qui diffère peu du premier ; le mobile n'a plus la forme d'un hémisphère, mais d'un tronc de cône ; ce tronc de cône se meut d'abord en ligne droite suivant une trajectoire *AGF* le long de laquelle Léonard a écrit : « mouvement simple » ; cette trajectoire prend ensuite la figure d'une spirale *FBC* qui porte ces mots : « mouvement composé » ; enfin, le tronc de cône roule de telle sorte que le sommet du cône dont il fait partie demeure fixe ; le point par lequel la circonférence de sa grande base touche le sol décrit alors une trajectoire circulaire *CDE* que désignent les mots : « mouvement simple ».

Cette figure est accompagnée d'explications que voici :

« *De l'impeto composé*. — On nomme *mouvement composé* celui qui participe de l'*impeto* du moteur et de l'*impeto* du mobile, comme est le mouvement *FBC*, qui est au milieu de deux | mouvements simples. L'un de ceux-ci est auprès du principe du mouvement et l'autre auprès de la fin ; *AG* est le premier, *CDE* celui qui est près de la fin. Mais le premier obéit seulement au moteur et le dernier est seulement de la figure du mobile.

« *De l'impeto décomposé*. — L'*impeto* décomposé accompagne le mobile avec trois natures d'*impeto*. Deux d'entre elles naissent du moteur et la troisième du mobile ; mais les deux du moteur, c'est le mouvement droit du moteur mêlé avec le mouvement courbe du mobile, et la troisième est le mouvement simple du mobile, qui tend seul à se tourner avec le milieu de sa convexité au contact du plan où il se tourne et pose. »

Léonard avait sûrement l'intention d'écrire un traité de l'*impeto* composé et d'y introduire un chapitre sur le jeu du globe ; aussi le fragment que nous venons de reproduire est-il immédiatement suivi de notes¹ où l'on reconnaît une sorte de brouillon du chapitre projeté ; Léonard y donne la définition de l'hélice et de l'hémisphère ; il y trace un dessin (*fig. 4*) où l'on voit un hémisphère qui roule en touchant le sol par un point de sa tranche, tandis qu'un autre hémisphère, reposant par son pôle, demeure en équilibre ; à côté de ce dessin, il écrit :

« Le mouvement de l'hémisphère, commencé sur un point de la circonférence de son plus grand cercle, finit sur le point

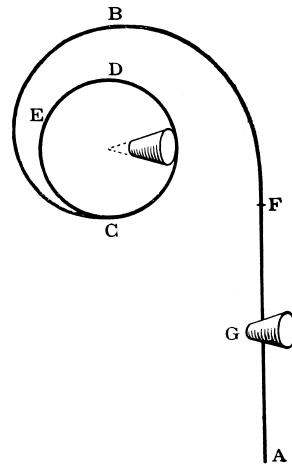


FIG. 3

221

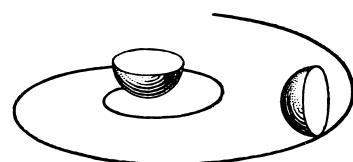


FIG. 4

221 1. LÉONARD DE VINCI, *loc. cit. <ibid. >*, fol. 34, verso.

415 dans le même temps de *C* à *E*, et si *F* descend en *H*, ce principe du mouvement
se tourne en *G*. Ainsi, en vingt quatre heures, le mobile descend | à terre dans le 254
lieu d'où il s'est d'abord séparé, et un tel mouvement est composé.

420 « Si le mobile descend de la partie la plus élevée des éléments à la plus basse
en vingt-quatre heures, son mouvement est composé de droit et de courbe. Je
dis *droit*, parce qu'il ne dévierait jamais de la ligne la plus courte qui s'étend du
lieu d'où il s'est séparé jusqu'au centre des éléments, et il s'arrêtera à l'extrémité
la plus basse d'une telle rectitude, qui se trouve toujours selon le zénith sous le
lieu d'où ce mobile s'est séparé. Et ce mouvement est courbe en soi avec toutes
les parties de la ligne, par conséquent est courbe à la fin avec toute la ligne. De
425 là naît que la pierre jetée de la tour ne frappe pas sur le côté de la tour plutôt
que par terre. »

430 Quelle conclusion Léonard pensait-il donner à ce curieux problème ? Voulait-il
prouver que le mouvement diurne est dû à une rotation de la Terre sur elle-
même ? Certains auteurs¹ l'ont cru, mais nous ne saurions partager leur opinion.
435 Ce problème a été posé à Léonard par les écrits de ses prédécesseurs et, tout
particulièrement, par une objection qu'Albert de Saxe formule contre l'hypothèse
de la rotation terrestre ; pour le résoudre, Léonard se sert de la même dynamique
erronée qu'Albertutius ; la solution qu'il obtient s'accorde exactement avec les
dires du maître de l'Université de Paris ; elle ne fait guère que donner à ces
440 dires, dans un cas particulier, une forme précise ; comment Léonard aurait-il
pu prendre pour arguments en faveur de la révolution terrestre des conclusions
qu'Aristote, que Ptolémée, qu'Averroès, qu'Albert le Grand, que saint Thomas,
que Campanus, qu'Albert de Saxe, que Pierre d'Ailly ont unanimement regardées
comme des preuves certaines que la Terre ne se meut point ? Nous croyons, au
contraire, que Léonard, disciple soumis de la tradition dont il s'inspire, s'est
445 servi, pour démontrer l'immobilité de la Terre, des principes au moyen desquels
il pensait déterminer la vitesse d'un navire en marche. Cette interprétation
explique seule tous les termes de | ses notes manuscrites ; les passages impossibles
à comprendre y abonneraient si l'on abandonnait cette explication en faveur de 255
l'interprétation contraire.

XIV

LA NATURE DES ASTRES SELON NICOLAS DE CUES ET LÉONARD DE VINCI

Selon la physique péripatéticienne, le monde sublunaire est formé de quatre
éléments : le feu, l'air, l'eau et la terre. Trois de ces éléments sont graves, c'est-
à-dire que leur mouvement naturel est un mouvement en ligne droite vers le
centre du Monde ; un seul, le feu, est léger ; son mouvement naturel est un
5 mouvement rectiligne qui l'éloigne du centre du Monde. Ces quatre éléments sont
susceptibles de génération et de corruption ; une certaine quantité d'un élément
peut se corrompre, c'est-à-dire se détruire, tandis que s'engendre une quantité
égale de l'un des éléments immédiatement contigus au premier.

254 1. Voir notamment RAFFAELLO CAVERNI, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, Firenze,
1895 ; tomo IV, p. 78.

UN FRAGMENT INÉDIT
DE
L'OPUS TERTIUM
DE
ROGER BACON
PRÉCÉDÉ
D'UNE ÉTUDE SUR CE FRAGMENT
PAR
PIERRE DUHEM

CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE
PROFESSEUR À L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX



AD CLARAS AQUAS (QUARACCHI)
prope Florentiam
EX TYPOGRAPHIA COLLEGII S. BONAVENTURA
—
1909

congelentur ex loci frigiditate et per virtutem loci frigidi
1870 suspendantur.

† Si igitur volumus certificare ceteras ejus conditiones,
tunc oportet primo quod ejus altitudo super orizonta cognoscatur, et, ut possibile est, describatur propinquius veritati et
1875 sensibilius; hoc dico quia nulla figuratio superficialis sufficit
in hac parte².

Diameter igitur orizontis sit A E linea, et sit A oriens
et E occidens. Circulus vero ipsius halo sit B R T C, cuius
diameter est C P B, et P est centrum ejus, et centrum Solis
secundum judicium visus. Nam Sol videtur esse in centro
1880 ipsius halo, et Luna, et quilibet stella circa quam apparet,
sicut circulus respectu centri sui. Per astrolabium igitur, vel
aliud instrumentum, accipiatur altitudo halo; et circulus
sue altitudinis sit Z C B H, transiens per fines³ dyametri.
Et per idem instrumentum accipiatur altitudo Solis, cuius
1885 circulus altitudinis secundum judicium visus sit D T R G,
transiens per centrum Solis, propter hoc quod Sol apparet in
centro halo, distans per spatium immensem. Et ideo ad hoc
designandum, describatur Sol supra halo, et ducatur ejus
circulus altitudinis, qui sit M V L K, quatinus veritas intelli-
1890 gatur juxta illud quod videtur sensui. Quorum circulorum
altitudinum halo et Solis idem est centrum, scilicet oculus as-
picientis, scilicet O, | quia semper oculus aspicientis est loco
centri circuli altitudinis, et linea Q O N transit per centrum
Solis, et centrum oculi, et usque ad Nadir Solis, quasi secun-
1895 dum sensum, et dividit dyametrum halo¹ in duas medietates.
Per experientiam igitur invenitur quod, secundum judicium
visus, Sole apparente in centro halo, erit distantia centri ejus
ab exteriore circumferentia ipsius halo 21 gradus de circulo
altitudinis; ita quod tota diameter halo comprehendit 42 gra-
1900 dus de circulo | altitudinis, id est respondet¹ tanto arcui. Et
hoc est verum, sive loquamur de circulo altitudinis halo, sive
Solis. Nam arcus illi similes sunt et proportionales respectu
suorum circulorum. Quota enim pars sui circuli est arcus
C B, tota est sui circuli arcus T R², et similiter arcus V L.

1905 † Et super istud cadit experientia certa per experimenta,
sive sit halo circa Solem, sive Lunam, sive stellam aliam. Sed
melior modus experiendi hic est : Ut sumatur palus, quasi

fol. 208, r.

140

141

2. Le reste du fol. 207, v° ; est occupé par la figure que, pour des raisons typographiques, nous avons transportée, un peu plus loin ; v. pag. 140.

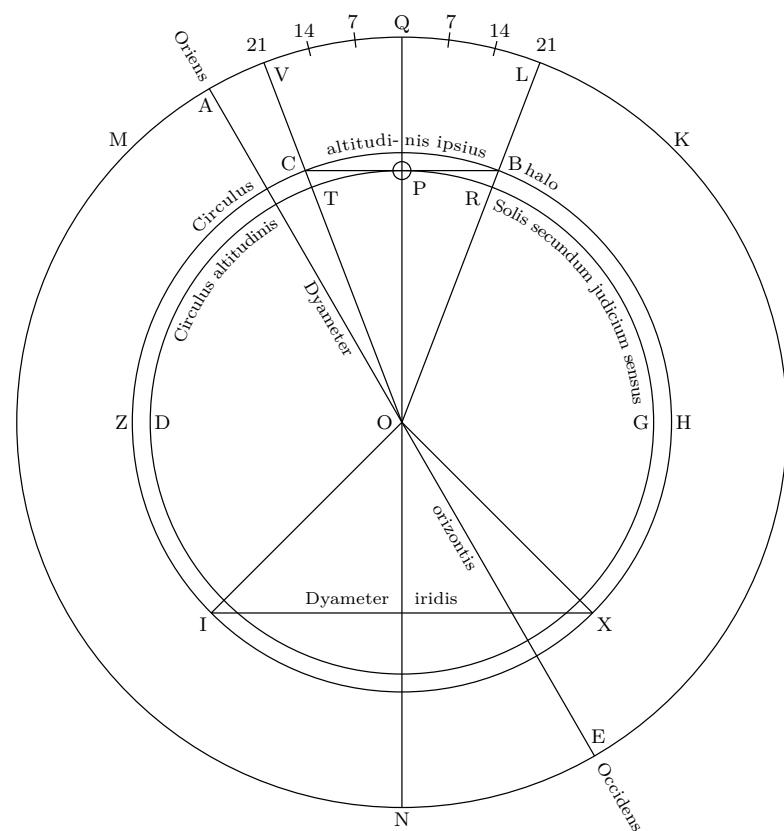
3. Au lieu de *fines*, le ms. porte *finem*.

140 1. Au lieu de *halo*, le ms. porte *holo*.

141 1. Au lieu de *respondet*, le ms. porte *respondeat*.

2. Au lieu de *T R*, le ms. porte *C R*.

<Fig. p. 140 de l'or.>

FIG. 4²

Note 2 p. 140. — Cette figure, entièrement fautive dans le ms., a dû être corrigée d'après le texte.

ad quantitatem aspicientis, cuius summa ex obliquo et
oblongo scindatur, et figura ejus non sit circulus verus, sed ad
1910 ovalem declinet figuram, ut astrolabium aptius ad visionem
collocetur; et hic palus figatur in terra, in loco libero, habens
de sua substantia clavum parvum in summitate, qui transibit
per centrum astrolabii; nam equus, sive clavus, qui transit
per centrum astrolabii debet amoveri, et astrolabium habet
1915 poni super extremitatem pali, ita quod dorsum astrolabii
sit superius versus celum. Et deinde aspiciens considerabit

Solem per foramina baculi qui est in dorso astrolabii. Et similiter aspiciet exteriorem circumferentiam halo. | Et sic per gradus in dorso astrolabii videbit certitudinaliter quod de circulo altitudinis 21 gradus respondebunt semidiametro et 42 toti diametro. Oportet autem quod recurramus in ista distantia Solis et halo ad aliquod nobis notum³ per quod noscamus hanc distantiam; et hoc est arcus circuli altitudinis qui per experientiam instrumenti nobis innotescit.

1920 Potest vero experientia he fieri suspenso astrolabio ut fit communiter, sed modus predictus melior est.

1925

fol. 208, v.

† Et juxta istud diligenter notandum est quod aliquando halo non appareat integer, sed aliqua portio sui circuli, vel aliquis arcus a latere Solis. Et hujus causa | est, quia materia vaporis ibi invenitur, et non alibi in circuitu Solis. Quod igitur sic appareat aliquando a latere Solis, erit pars ipsius halo; sed quia est in magna distantia ab oculo, et est modicus arcus, ideo appareat in linea recta. Nam linea curva a longe appareat recta, et sperica superficies appareat plana, ut patet in Sole et Luna, sicut in Perspectiva dictum est superius. Quapropter hujusmodi virgule colorate, apparentes aliquando in latere Solis, vel Lune, vel aliarum stellarum, non sunt aliud quam partes halo, et ideo non faciunt novam impressionem et principalem, diversam ab halo, secundum 1930 quod vulgus naturalium estimat; et textus Aristotelis in latino, et liber Senece de Iride inclinantur ad hoc, tanquam sint tres impressiones colorate, scilicet Iris, halo, [et]¹ perpendicularis, ut Aristoteles nominat, vel virga, ut Seneca. Sed secundum veritatem, illud quod vocant perpendiculararem 1935 vel virgam, est pars halo, ut dictum est; quia semper est in eadem distantia a Sole, qua partes halo, et in eodem situ. Sed quia parvus arcus est, ideo in tanta distantia videtur esse linea recta, ut dictum est.

142

1940 [2]² **E**T EX DICTIS appareat quantitas pyramidis sub qua videtur halo. Nam hec figura pyramidalis est C O B. Et ex his cum eis que de Iride scripsi in primo Opere, sequitur quod linea Q O N est axis utriusque pyramids sub quibus halo et Iris videntur. Nam ex his que nunc tacta sunt, oportet quod linea Q O sit axis pyramidis halo, ut ad sensum patet in figura, que transit per centrum Solis, et halo, et per centrum oculi; que si in continuum et directum protrahatur, cadet in Nadir Solis secundum sensum. Sed linea que per centrum Solis, et oculi, cadit in Nadir Solis, est axis pyramids Iridis

3. Au lieu de *notum*, le ms. porte *natum*.142 1. *Et* n'est pas dans le ms.
2. Le n° 2 est omis dans le ms.

transiens per centrum Iridis, ut in primo Opere declaravi.
 1960 Ergo tunc manifestum est quod linea eadem, scilicet Q O N,
 est axis utriusque pyramidis. Quapropter pyramis sub qua
 videretur Iris erit in oppositum Solis I O X, posito quod totus
 | semicirculus Iridis videri possit cum halo. Sed hoc non est
 possibile. Loquamur tamen de pyramide Iridis intelligibiliter,
 1965 et hoc sufficit. Sit¹ ergo semicirculus Iridis I N X et ejus
 dyameter I X, cuius semicirculi parva pars, scilicet E X, sit
 super orizonta.

143

fol. 209, r.

3. **E**T EX HIS sequitur quod coni pyramidum istarum
 1970 continuentur et commisceantur super centrum oculi;
 ita quod si oculus posset videre ante et retro per medium
 capitidis, simul et semel videret Iridem et halo, si materia
 rorida et cetere conditiones que requiruntur ad apparitiones
 istarum impressionum adessent. Propter quod si fiat in eadem
 hora Iris et halo, sicut bene accidit, tunc aspiciens, vertens se
 1975 ad Solem, videbit halo²; et si statim et subito vertat caput
 ad locum Iridis, videbit Iridem. Nam hoc per experientiam
 manifestum est.

4. **E**T EX ISTIS, et ex illis que sunt in primo Opere de-
 clarata circa Iridem, sequitur quod angulus pyramidis
 1980 sub quo videtur dyameter circuli halo est sicut angulus sub
 quo comprehenditur semidiameter³ circuli Iridis. Est ergo
 subduplus ad angulum totius Iridis, posito quod tota videtur.
 Et ideo angulus I O X sub quo videretur dyameter tota
 Iridis, si possibile esset, quando halo generatur, est duplus
 1985 ad angulum C O B, sub quo tota dyameter halo videtur. Et
 similiter angulus N O X, qui est angulus sub quo semidia-
 meter Iridis videtur, est equalis angulo C O B, et similiter
 angulus N O I, ut patet in figura. Quod autem hii anguli
 sic se habeant, patet ex his que demonstrata sunt de Iride
 1990 in majori Opere. Nam maxima altitudo Iridis est 42 gra-
 duum de circulo altitudinis; et tunc si materia | sit disposita,
 Iris tota appareat, scilicet semicirculus cuius cornua tangunt
 fines oppositos orizontis, scilicet septentrionem et meridiem,
 quia Sol tunc est in orizonte, scilicet in ortu vel occasu. Ex
 1995 quo sequitur quod dyameter Iridis qui a contactu Iridis et
 sui circuli altitudinis descendit ad terram respondebit 42
 gradibus de circulo altitudinis Iridis. Et hec semidyameter
 est sicut N X linea, que erit proportionalis toti dyametro
 ipsius halo. Circuli enim altitudinum sunt proportionales.

144

143 1. Au lieu de *sit*, le ms. porte *sic*.
 2. Au lieu de *halo*, le ms. porte *holo*.
 3. Au lieu de *semidiameter*, le ms. porte *semidiamiter*.

PIERRE DUHEM
CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE
PROFESSEUR DE PHYSIQUE THÉORIQUE À L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

THERMODYNAMIQUE
ET
CHIMIE

LEÇONS ÉLÉMENTAIRES

S E C O N D E É D I T I O N
entièrement refondue et considérablement augmentée

Avec 173 figures dans le texte

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN ET FILS
ÉDITEUR, LIBRAIRE DE S. M. LE ROI DE SUÈDE
6, RUE DE LA SORBONNE, 6

1910

ALBERT MAIRE
BIBLIOTHÉCAIRE À LA SORBONNE

L'ŒUVRE SCIENTIFIQUE
DE
BLAISE PASCAL

BIBLIOGRAPHIE
CRITIQUE ET ANALYSE DE TOUS LES TRAVAUX
QUI S'Y RAPPORTENT

PRÉFACE
PAR
PIERRE DUHEM
Professeur à l'Université de Bordeaux
Correspondant de l'Institut

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN
LIBRAIRE DE S. M. LE ROI DE SUÈDE
6, RUE DE LA SORBONNE, 6
—
1912

NOTICE SUR LES TITRES ET TRAVAUX
SCIENTIFIQUES DE PIERRE DUHEM

Mai 1913, après le 3

NOTE ÉDITORIALE. — [535]. Ce texte est daté du 3 mai (ici p. 3947), et la candidature de Duhem à la Section de mécanique de l'Académie des Sciences a eu lieu au cours de ce mois de mai : la présente *Notice* a donc elle aussi paru en mai. Notes p. 3948–3950.

[PAGE DE TITRE]	3855
CURRICULUM VITAE	3856
LISTE DES PUBLICATIONS	3857
I. Ouvrages publiés séparément	3857
II. Articles réunis en volumes	3859
III. Notes et mémoires	3862

Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, *p. 3862* ~ Journal de physique théorique et appliquée, *p. 3865* ~ Annales scientifiques de l'École Normale Supérieure, *p. 3866* ~ Bulletin des sciences mathématiques, *p. 3867* ~ Acta Societatis scientiarum Fennicæ (Helsingfors), *p. 3867* ~ Annales de chimie et de physique, *p. 3867* ~ Annales de la Faculté des sciences de Toulouse, *p. 3867* ~ Zeitschrift für physikalische Chemie, *p. 3868* ~ Revue des questions scientifiques, *p. 3868* ~ Bulletin of the New York Mathematical Society, *p. 3869* ~ Travaux et mémoires des Facultés de Lille, *p. 3869* ~ Bulletin de la Société chimique du Nord de la France, *p. 3870* ~ Journal de mathématiques pures et appliquées, *p. 3870* ~ Annales de la Société scientifique de Bruxelles, *p. 3870* ~ Revue des Deux Mondes, *p. 3871* ~ American Journal of Mathematics, *p. 3871* ~ L'Éclairage électrique, *p. 3871* ~ Mémoires présentés par divers savants étrangers et mémoires couronnés de l'Académie de Belgique, *p. 3871* ~ Mémoires de la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux, *p. 3872* ~ Procès-verbaux des séances de la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux, *p. 3872* ~ Bulletin de l'Association technique maritime, *p. 3873* ~ Journal of Physical Chemistry, *p. 3873* ~ Revue philomathique de Bordeaux, *p. 3873* ~ Bibliotheca mathematica, *p. 3874* ~ Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles, *p. 3874* ~ Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences, *p. 3874* ~ Journal de chimie physique, *p. 3874* ~ Festschrift Ludwig Boltzmann gewidmet zum sechzigsten Geburtstage 20. Februar 1904 (Leipzig, 1904), *p. 3874* ~ Revue générale des sciences pures et appliquées, *p. 3874* ~ Revue de philosophie,

<i>p. 3875 ~ Annales de philosophie chrétienne, p. 3875 ~ Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei, p. 3875 ~ Archivum Franciscanum historicum, p. 3875 ~ Comptes rendus du deuxième Congrès de philosophie (Genève, 1904), p. 3876 ~ Revue des sciences philosophiques et théologiques, p. 3876 ~ Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, p. 3876 ~ Gedenkboek aangeboden aan J. M. van Bemmelen (Helder, 1910), p. 3876 ~ Hommage à Louis Olivier (Paris, 1911), p. 3876 ~ Catholic Encyclopedia (New York, 1911), p. 3876</i>	
IV. Préfaces	3877
[INTRODUCTION À LA NOTICE]	3878
P R E M I È R E P A R T I E	
Recherches de physique théorique	3879
I. Codification des principes de l'énergétique	3882
II. Mécanique des corps fluides	3891
III. Mécanique des corps élastiques	3898
IV. Mécanique chimique	3906
V. Équilibre et mouvement des fluides mélangés	3910
VI. Frottement et faux-équilibres	3911
VII. Modifications permanentes et hystérésis	3915
VIII. Galvanisme. — Aimants et corps diélectriques	3918
IX. Électrodynamique et électromagnétisme	3923
S E C O N D E P A R T I E	
Examen logique de la théorie physique	3935
T R O I S I È M E P A R T I E	
Recherches sur l'histoire des théories physiques	3940

RECHERCHES DE PHYSIQUE THÉORIQUE

Jules Moutier, qui nous fit aimer les théories de la physique, se plaisait surtout à nous entretenir des applications de la thermodynamique à la mécanique chimique ; de ces applications, alors toutes récentes, la première lui était due, et il en avait donné de très importantes. Nos premières lectures furent donc celles d'écrits 5 où la théorie de la chaleur servait à fixer les lois des réactions chimiques. Ainsi nous arriva-t-il d'étudier, alors que nous étions encore élève de Moutier, l'exposé de la doctrine de J. Willard Gibbs donné par M. Georges Lemoine, dans ses *Études sur les équilibres chimiques*, et le premier mémoire *Zur Thermodynamik chemischer Vorgänge* que Helmholtz venait de présenter à l'Académie de Berlin.

10 Ces deux ouvrages nous ont montré la voie sur laquelle nous nous sommes dès lors engagé pour ne la plus quitter.

La nature des relations qu'il convient d'établir entre la mécanique rationnelle et la science de la chaleur avait été l'objet d'opinions bien diverses. Si Sadi Carnot avait fondé sa théorie de la puissance motrice du feu sur des postulats 15 qu'il n'avait pas empruntés à la mécanique, la plupart des inventeurs de la loi d'équivalence entre la chaleur et le travail avaient fait de cette loi un corollaire des théorèmes que la dynamique énonce sur le travail et la force vive. De toute doctrine où l'on pose en principe que la chaleur est un certain mouvement, Clausius avait proposé de séparer une thermodynamique exempte de tout recours 20 à cette hypothèse, et G. Kirchhoff, dans ses leçons, suivait de la manière la plus exacte la pensée de Clausius. La thermodynamique, fondée sur deux postulats autonomes, le principe de la conservation de l'énergie et le principe de Carnot, s'était ainsi constituée comme une science définie, indépendante de la mécanique rationnelle.

25 Mais voici qu'entre les conséquences auxquelles aboutissaient ces deux sciences, dont chacune se développait à partir de ses propres principes, des analogies apparaissaient ; les propositions les plus importantes de la thermodynamique prenaient une forme semblable à celle qu'avaient, depuis longtemps, revêtue les théorèmes de la mécanique ; pour énoncer les lois des états de repos 30 auxquels aboutissent les changements d'état physique et les réactions chimiques, la thermodynamique était amenée à considérer une grandeur, l'*available energy* de Gibbs et de Maxwell, la *freie Energie* de Helmholtz qui, en cette statique physico-chimique, jouait le rôle que la statique mécanique attribue au *potentiel* des forces intérieures à un système : l'*énergie utilisable* méritait le nom de *potentiel thermodynamique*. Conduire les théories de la statique thermodynamique 35 par des méthodes toutes semblables, en leur forme, à celles par lesquelles, depuis

EXAMEN LOGIQUE DE LA THÉORIE PHYSIQUE

On peut traiter la physique théorique à la façon des cartésiens et des atomistes. Les corps que les sens et les instruments perçoivent, on les résout en corps immensément nombreux et beaucoup plus petits dont la raison seule a connaissance ; les mouvements que l'on observe, on les regarde comme les effets résultants des mouvements imperceptibles de ces petits corps ; à ces corps, on assigne des formes peu nombreuses et bien définies ; de leurs mouvements, on formule des lois très simples et entièrement générales. Ces corps, ces mouvements sont, à vrai dire, les seuls corps réels, les seuls mouvements réels. Lorsqu'en les réunissant d'une manière convenable, on les a reconnus capables de produire des effets d'ensemble pareils aux phénomènes que nous observons, on déclare que l'on a découvert l'explication de ces phénomènes.

Ce n'est pas ainsi que procède notre énergétique. Les principes qu'elle formule et dont elle développe les conséquences ne prétendent aucunement résoudre les corps que nous percevons, les mouvements que nous constatons, en corps imperceptibles et en mouvements cachés. Ils ne se posent aucunement en révélations sur la nature véritable de la matière. Ils ne prétendent rien expliquer. Simplement, ils se donnent pour règles générales dont les lois constatées par l'expérimentateur sont des cas particuliers.

On peut concevoir la physique théorique à la façon des newtoniens. On rejette toute hypothèse sur les corps imperceptibles et sur les mouvements cachés dont pourraient être composés les corps et les mouvements saisissables aux sens et aux instruments. Les seuls principes que l'on admette, ce sont des lois très générales connues par induction à partir de l'observation des faits.

Notre énergétique ne suit pas la méthode newtonienne. Aux principes qu'elle admet, elle reconnaît, sans doute, une origine expérimentale, en ce sens que l'observation les a suggérés, que l'expérience a maintes fois conseillé de modifier leurs énoncés. Mais ces expériences qui expliquent la genèse historique des principes qu'elle formule, elle ne les regarde pas comme capables de conférer une certitude quelconque à ces principes. Ceux-ci, elle les pose en purs postulats, en décrets arbitraires de la raison ; elle les regarde comme jouant bien le rôle qu'elle leur assigne lorsqu'ils produisent de nombreuses conséquences conformes aux lois expérimentales. L'accord avec l'enseignement de l'observation n'est donc pas, comme l'exigerait la méthode newtonienne, à l'origine de la théorie physique ; c'est au terme qu'il a sa place.

Quand elle se refuse également à suivre la méthode des cartésiens et des atomistes et la méthode des newtoniens, l'énergétique agit-elle avec sagesse ? Un

 RECHERCHES SUR L'HISTOIRE
 DES THÉORIES PHYSIQUES

Toute pensée abstraite a besoin du contrôle des faits ; toute théorie scientifique appelle la comparaison avec l'expérience ; nos considérations de logique sur la méthode propre à la physique ne peuvent être sainement jugées si on ne les confronte avec les enseignements de l'Histoire. C'est à recueillir ces enseignements 5 qu'il nous faut maintenant appliquer.

Au cours de l'Antiquité, du Moyen Âge, de la Renaissance, il n'est guère qu'une partie de la physique où la théorie mathématique ait pris assez de développement et l'observation assez de précision pour que l'on ait pu discuter sur leurs mutuels rapports ; cette partie, c'est l'astronomie.

10 Touchant la nature et la valeur de la théorie astronomique (41), le génie hellène, admirablement souple, pénétrant et varié, a conçu, peut-on dire, tous les systèmes que notre temps a vu refleurir. Mais parmi ces systèmes, il en est un qui rallie les suffrages des plus profonds penseurs. Il se résume en ce principe que Platon enseignait à ceux qui voulaient faire de l'astronomie : « Il faut, en prenant 15 pour point de départ certaines suppositions, parvenir à sauver ce qui apparaît aux sens — *Tίνων ὑποτεθέντων (...) σώζειν τὰ φαινόμενα* ». Et ce principe traverse le Moyen Âge arabe, juif, chrétien, se répète au temps de la Renaissance, expliqué, précisé ou contesté, jusqu'au jour où André Osiander le formule ainsi, dans la préface qu'il met en tête du livre de Copernic : « *Neque enim necesse 20 est eas hypotheses esse veras, imo, ne verisimiles quidem, sed sufficit hoc unum si calculum observationibus congruentem exhibeat* ». Pendant deux mille ans, donc, la plupart de ceux qui avaient réfléchi sur la nature et la valeur de la théorie mathématique employée par les physiciens s'étaient accordés à proclamer cet axiome que l'énergétique devait reprendre à son compte : *Les premiers / 25 postulats de la théorie physique ne se donnent pas pour affirmations de certaines réalités suprasensibles ; ce sont des règles générales qui auront excellement joué leur rôle si les conséquences particulières qui s'en déduisent s'accordent avec les phénomènes observés.*

La méthode suivie par l'énergétique n'est pas une innovation ; elle se peut 30 réclamer de la tradition la plus ancienne, la plus continue et la plus noble. Mais que dirons-nous des notions essentielles, des principes fondamentaux de cette science ? Lorsqu'elle définit ces notions, lorsqu'elle pose ces principes, la logique ne réclame d'elle aucune justification ; elle la laisse libre de poser ses fondements comme il lui plaît, pourvu que, parvenu au faîte, l'édifice soit

É T U D E S
SUR
L É O N A R D D E V I N C I
PAR
PIERRE DUHEM

CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE
PROFESSEUR À LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

TROISIÈME SÉRIE
LES PRÉCURSEURS PARISIENS
DE GALILÉE



PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN ET FILS
Libraires de S. M. le Roi de Suède
6, RUE DE LA SORBONNE, 6

1913

A. M. G.

M E C H A N I C A E N O S T R A E S C I E N T I A E

V E R E G E N I T R I C I S ,

F A C U L T A T I S A R T I U M

Q U A E I N

U N I V E R S I T A T E P A R I S I E N S I

XIV^o S A E C U L O F L O R E B A T

PRÉFACE

v

À la troisième série de nos *Études sur Léonard de Vinci*, nous donnons un sous-titre : *Les précurseurs parisiens de Galilée*. Ce sous-titre annonce l'idée dont nos précédentes études avaient déjà découvert quelques aspects et que nos recherches nouvelles mettent en pleine 5 lumière. La science mécanique inaugurée par Galilée, par ses émules, par ses disciples, les Baliani, les Torricelli, les Descartes, les Beeckman, les Gassendi, n'est pas une création ; l'intelligence moderne ne l'a pas produite de prime saut et de toutes pièces dès que la lecture d'Archimède lui eut révélé l'art d'appliquer la géométrie aux effets 10 naturels. L'habileté mathématique acquise dans le commerce des géomètres de l'Antiquité, Galilée et ses contemporains en ont usé pour préciser et développer une science mécanique dont le Moyen Âge chrétien avait posé les principes et formulé les propositions les plus essentielles. Cette mécanique, les physiciens qui enseignaient, au 15 XIV^e siècle, à l'Université de Paris l'avaient conçue en prenant l'observation pour guide ; ils l'avaient substituée à la dynamique d'Aristote, convaincu d'impuissance à « sauver les phénomènes ». Au temps de la Renaissance, l'archaïsme superstitieux, où se complaisaient également le bel esprit des humanistes et la routine averroïste d'une 20 scolastique rétrograde, repoussa cette doctrine des « Modernes ». La réaction fut puissante, particulièrement en Italie, contre la dynamique | des « Parisiens », en faveur de l'inadmissible dynamique du Stagirite. Mais, en dépit de cette résistance tête, la tradition parisienne trouva, hors des écoles aussi bien que dans les universités, 25 des maîtres et des savants pour la maintenir et la développer. C'est de cette tradition parisienne que Galilée et ses émules furent les héritiers. Lorsque nous voyons la science d'un Galilée triompher du péripatétisme buté d'un Cremonini, nous croyons, mal informés de l'histoire de la pensée humaine, que nous assistons à la victoire de la 30 jeune science moderne sur la philosophie médiévale, obstinée dans son psittacisme ; en vérité, nous contemplons le triomphe, longuement préparé, de la science qui est née à Paris au XIV^e siècle sur

vi

les doctrines d'Aristote et d'Averroès, remises en honneur par la Renaissance italienne.

35 Nul mouvement ne peut durer s'il n'est entretenu par l'action continue d'une puissance motrice, directement et immédiatement appliquée au mobile. Tel est l'axiome sur lequel repose toute la dynamique d'Aristote.

Conformément à ce principe, le Stagirite veut, à la flèche qui 40 continue de voler après avoir quitté l'arc, appliquer une puissance motrice qui la transporte ; cette puissance, il la croit trouver en l'air ébranlé ; c'est l'air, frappé par la main ou par la machine balistique, qui soutient et entraîne le projectile.

Cette hypothèse, qui nous semble pousser l'invasemblance jus- 45 qu'au ridicule, paraît avoir été admise presque à l'unanimité par les physiciens de l'Antiquité ; un seul d'entre eux s'est clairement prononcé contre elle, et celui-là, que le temps place aux dernières années de la philosophie grecque, se trouve, par sa foi chrétienne, presque séparé de cette philosophie ; nous avons nommé Jean d'Alexandrie, 50 surnommé Philopon. Après avoir montré ce qu'a d'inadmissible la théorie péripatétique du mouvement des projectiles, Jean Philopon déclare que la flèche continue de se mouvoir sans qu'aucun moteur lui soit appliqué, parce que la corde de l'arc y a engendré une *énergie* qui joue le rôle de vertu motrice.

55 Les derniers penseurs de la Grèce, les philosophes arabes | n'ont même pas accordé une mention à la doctrine de ce Jean le Chrétien pour qui un Simplicius ou un Averroès n'ont eu que des sarcasmes. Le Moyen Âge chrétien, pris par l'admiration naïve que lui inspira la science péripatétique lorsqu'elle fut révélée, partagea d'abord, 60 à l'égard de l'hypothèse de Philopon, le dédain des commentateurs grecs et arabes ; saint Thomas d'Aquin ne la mentionne que pour mettre en garde contre elle ceux qu'elle pourrait séduire.

Mais à la suite des condamnations portées, en 1277, par l'évêque de Paris, Étienne Tempier, contre une foule de thèses que soutenaient 65 « Aristote et ceux de sa suite », voici qu'un grand mouvement se dessine, qui va libérer la pensée chrétienne du joug du péripatétisme et du néo-platonisme, et produire ce que l'archaïsme de la Renaissance appellera la science des « Modernes ».⁷

Guillaume d'Ockham attaque, avec sa vivacité coutumière, la 70 théorie du mouvement des projectiles proposée par Aristote ; il se contente, d'ailleurs, de détruire sans rien édifier ; mais ses critiques

remettent en honneur, auprès de certains disciples de Duns Scot, la doctrine de Jean Philopon ; l'*énergie*, la vertu motrice dont celui-ci avait parlé, reparaît sous le nom d'*impetus*. Cette hypothèse de l'*impetus*, imprimé dans le projectile par la main ou par la machine qui l'a lancé, un maître séculier de la Faculté des arts de Paris, un physicien de génie, s'en empare ; Jean Buridan la prend, vers le milieu du XIV^e siècle, pour fondement d'une dynamique avec laquelle « s'accordent tous les phénomènes ».

Le rôle que l'*impetus* joue, en cette dynamique de Buridan, c'est très exactement celui que Galilée attribuera à l'*impeto* ou *momento*, Descartes à la *quantité de mouvement*, Leibniz enfin à la *force vive* ; si exacte est cette correspondance que pour exposer, en ses *Leçons académiques*, la dynamique de Galilée, Torricelli reprendra souvent les raisonnements et presque les paroles de Buridan.

Cet *impetus*, qui demeurerait sans changement, au sein du projectile, s'il n'était incessamment détruit par la résistance du milieu et par l'action de la pesanteur, contraire au mouvement, cet *impetus*, disons-nous, Buridan le prend, à vitesse égale, comme proportionnel à la *quantité de matière première* que le corps renferme ; cette quantité, il la conçoit et la décrit en des termes presque identiques à ceux dont usera Newton pour définir la masse. À masse égale, l'*impetus* est d'autant plus grand que la vitesse est plus grande ; prudemment, Buridan s'abstient de préciser davantage la relation qui existe entre la grandeur de l'*impetus* et celle de la vitesse ; plus osés, Galilée et Descartes admettront que cette relation se réduit à la proportionnalité ; ils obtiendront ainsi de l'*impeto*, de la *quantité de mouvement*, une évaluation erronée que Leibniz devra rectifier.

Comme la résistance du milieu, la gravité atténue sans cesse et finit par anéantir l'*impetus* d'un mobile que l'on a lancé vers le haut, parce qu'un tel mouvement est contraire à la tendance naturelle de cette gravité ; mais dans un mobile qui tombe, le mouvement est conforme à la tendance de la gravité ; aussi l'*impetus* doit-il aller sans cesse en augmentant et la vitesse, au cours du mouvement, doit croître constamment. Telle est, au gré de Buridan, l'explication de l'accélération que l'on observe en la chute d'un grave, accélération que la science d'Aristote connaissait déjà, mais dont les commentateurs hellènes, arabes ou chrétiens du Stagirite avaient donné d'inacceptables raisons.

Cette dynamique exposée par Jean Buridan présente d'une ma-

nière purement qualitative, mais toujours exacte, les vérités que les notions de force vive et de travail nous permettent de formuler en langage quantitatif.

Le philosophe de Béthune n'est pas seul à professer cette dynamique ; ses disciples les plus brillants, les Albert de Saxe, et les Nicole Oresme, l'adoptent et l'enseignent ; les écrits français d'Oresme la font connaître même à ceux qui ne sont pas clercs.

Lorsque aucun milieu résistant, lorsque aucune tendance naturelle analogue à la gravité ne s'oppose au mouvement, l'*impetus* garde une intensité invariable ; le mobile auquel on a communiqué un mouvement de translation ou de rotation | continue indéfiniment à se mouvoir avec une vitesse invariable. C'est sous cette forme que la loi d'inertie se présente à l'esprit de Buridan ; c'est sous cette même forme qu'elle sera encore reçue de Galilée.

De cette loi d'inertie, Buridan tire un corollaire dont il nous faut maintenant admirer la nouveauté.

Si les orbes célestes se meuvent éternellement avec une vitesse constante, c'est, selon l'axiome de la dynamique d'Aristote, que chacun d'eux est soumis à un moteur éternel et de puissance immuable ; la philosophie du Stagirite requiert qu'un tel moteur soit une intelligence séparée de la matière. L'étude des intelligences motrices des orbes célestes n'est pas seulement le couronnement de la métaphysique péripatéticienne ; elle est la doctrine centrale autour de laquelle tournent toutes les métaphysiques néo-platoniciennes des Hellènes et des Arabes, et les scolastiques du XIII^e siècle n'hésitent pas à recevoir, en leurs systèmes chrétiens, cet héritage des théologies païennes.

Or, voici que Buridan a l'audace d'écrire ces lignes :

« Dès la création du Monde, Dieu a mû les cieux de mouvements identiques à ceux dont ils se meuvent actuellement ; il leur a imprimé alors des *impetus* par lesquels ils continuent à être mis uniformément ; ces *impetus*, en effet, ne rencontrant aucune résistance qui leur soit contraire, ne sont jamais ni détruits ni affaiblis (...). Selon cette imagination, il n'est pas nécessaire de poser l'existence d'intelligences qui meuvent les corps célestes d'une manière appropriée. »

Cette pensée, Buridan l'énonce en diverses circonstances ; Albert de Saxe l'expose à son tour ; et Nicole Oresme, pour la formuler, trouve cette comparaison : « Excepté la violence, c'est aucunement semblable quand un homme a fait une horloge, et le lesse aller et estre meu par soy ».

150 'Si l'on voulait, par une ligne précise, séparer le règne de la science antique du règne de la science moderne, il faudrait tracer, croyons-nous, à l'instant où Jean Buridan a conçu cette théorie, à l'instant où l'on a cessé de regarder les astres comme mus par des êtres divins, où l'on a admis que les mouvements célestes et les mouvements sublunaires dépendaient d'une même mécanique.'^x

155 Cette mécanique, à la fois céleste et terrestre, à laquelle Newton devait donner la forme que nous admirons aujourd'hui, la voici, d'ailleurs, qui, dès le XIV^e siècle, tente de se constituer. Durant tout ce siècle, les témoignages de François de Meyronnes et d'Albert de Saxe nous l'apprennent, il se trouva des physiciens pour soutenir qu'en supposant la Terre mobile et le ciel des étoiles fixes immobile, on construisait un système astronomique plus satisfaisant que celui où la Terre est privée de mouvement. De ces physiciens, Nicole Oresme développe les raisons avec une plénitude, une clarté, une précision que Copernic sera loin d'atteindre ; à la Terre, il attribue un *impetus* naturel semblable à celui que Buridan attribue aux orbes célestes ; pour rendre compte de la chute verticale des graves, il admet que l'on doit composer cet *impetus* par lequel le mobile tourne autour de la Terre avec l'*impetus* engendré par la pesanteur. Le principe qu'il formule nettement, Copernic se bornera à l'indiquer d'une manière obscure et Giordano Bruno à le répéter ; Galilée usera de la géométrie pour en tirer les conséquences, mais sans corriger la forme erronée de la loi d'inertie qui s'y trouve impliquée.

160 Pendant que l'on fonde la dynamique, on découvre peu à peu les lois qui régissent la chute des poids.

165 En 1368, Albert de Saxe propose ces deux hypothèses : *La vitesse de la chute est proportionnelle au temps écoulé depuis le départ* ; *La vitesse de la chute est proportionnelle au chemin parcouru*. Entre ces deux lois, il ne fait pas de choix. Le théologien Pierre Tataret, qui enseigne à Paris vers la fin du XV^e siècle, reproduit textuellement ce qu'avait dit Albert de Saxe. Grand lecteur d'Albert de Saxe, Léonard de Vinci, après avoir admis la seconde de ces deux hypothèses, se rallie à la première ; mais il ne parvient pas à découvrir la loi des espaces parcourus par un grave qui tombe ; d'un raisonnement que Baliani reprendra, il conclut que les espaces parcourus en des laps de temps égaux et successifs sont comme la série des nombres entiers, tandis qu'ils sont, en vérité, comme la série des nombres impairs.^{xi}

170 On connaissait depuis longtemps, cependant, la règle qui permet

d'évaluer l'espace parcouru, en un certain temps, par un mobile
190 mû d'un mouvement uniformément varié; que cette règle ait été
découverte à Paris, au temps de Jean Buridan, ou à Oxford, au temps
de Swineshead, elle se trouve clairement formulée dans l'ouvrage où
Nicole Oresme pose les principes essentiels de la géométrie analytique;
de plus, la démonstration qui sert à l'y justifier est identique à celle
195 que donnera Galilée.

Du temps de Nicole Oresme à celui de Léonard de Vinci, cette
règle ne fut nullement oubliée; formulée dans la plupart des traités
produits par la dialectique épineuse d'Oxford, elle se trouve discutée
200 dans les nombreux commentaires dont ces traités ont été l'objet, au
cours du xv^e siècle, en Italie, puis dans les divers ouvrages de physique
composés, au début du xvi^e siècle, par la scolastique parisienne.

Aucun des traités dont nous venons de parler n'a, cependant,
l'idée d'appliquer cette règle à la chute des corps. Cette idée, nous
la rencontrons pour la première fois dans les *Questions sur la Phy-*
205 *sique d'Aristote*, publiées en 1545 par Dominique Soto. Élève des
scolastiques parisiens, dont il a été l'hôte et dont il adopte la plupart
des théories physiques, le dominicain espagnol Soto admet que la
chute d'un grave est uniformément accélérée, que l'ascension verticale
210 d'un projectile est uniformément retardée, et pour calculer le chemin
parcouru en chacun de ces deux mouvements, il use correctement de
la règle formulée par Oresme. C'est dire qu'il connaît les lois de la
chute des corps dont on attribue la découverte à Galilée. Ces lois,
d'ailleurs, il n'en revendique pas l'invention; bien plutôt, il semble
215 les donner comme vérités communément reçues; sans doute, elles
étaient couramment admises par les maîtres dont, à Paris, Soto a
suivi les leçons. Ainsi, de Guillaume d'Ockham à Dominique Soto,
voyons-nous les physiciens de l'École parisienne poser tous les fonde-
ments de la mécanique que développeront Galilée, ses contemporains
et ses disciples.

Parmi ceux qui, avant Galilée, ont reçu la tradition de la scolas- xii
tique parisienne, il n'en est aucun qui mérite plus d'attention que
Léonard de Vinci. Au temps où il vécut, l'Italie opposait une ferme
résistance à la pénétration de la mécanique des « *moderni* », des
225 « *juniiores* »; là, parmi les maîtres des universités, ceux-là mêmes qui
penchaient vers les doctrines terminalistes de Paris se bornaient à
reproduire, sous une forme abrégée et parfois hésitante, les affirmations
essentielles de cette mécanique; ils étaient bien éloignés de lui

faire produire aucun des fruits dont elle était la fleur.

Léonard de Vinci, au contraire, ne s'est pas contenté d'admettre
230 les principes généraux de la dynamique de l'*impetus*; ces principes,
il les a médités sans cesse et retournés en tout sens, les pressant,
en quelque sorte, de donner les conséquences qu'ils renfermaient.
L'hypothèse essentielle de cette dynamique était comme une première
235 forme de la loi de la force vive; Léonard y aperçoit l'idée de la
conservation de l'énergie, et cette idée, il trouve, pour l'exprimer,
des termes d'une prophétique clarté. Entre deux lois de la chute des
corps, l'une exacte et l'autre inadmissible, Albert de Saxe avait laissé
son lecteur en suspens; après quelques tâtonnements que Galilée
connaîtra lui aussi, Léonard sait fixer son choix sur la loi exacte; il
240 l'étend avec bonheur à la chute d'un poids le long d'un plan incliné.
Par l'étude de l'*impeto* composé, il tente, le premier, l'explication
de la trajectoire curviligne des projectiles, explication qui recevra
son achèvement de Galilée et de Torricelli. Il entrevoit la correction
qu'il conviendrait d'apporter à la loi d'inertie énoncée par Buridan
245 et prépare l'œuvre qu'accompliront Benedetti et Descartes.

Sans doute, Léonard ne reconnaît pas toujours toutes les richesses du trésor accumulé par la scolastique parisienne; il en délaissé
quelques-unes dont l'emprunt eût donné à sa doctrine mécanique le
plus heureux complément; il méconnaît le rôle que l'*impetus* doit
250 jouer dans l'explication de la chute accélérée des graves; il ignore la
règle qui permet de calculer le chemin parcouru par un corps mû de
mouvement uniformément accéléré. Il n'en est pas moins vrai que
tout l'ensemble de sa physique le met au nombre de ceux que les
Italiens de son temps appelaient Parisiens.

255 Ce titre, d'ailleurs, lui serait justement donné; les principes de sa physique, en effet, il les tire de la lecture assidue d'Albert de Saxe,
probablement aussi de la méditation des écrits de Nicolas de Cues;
or, Nicolas de Cues fut, lui aussi, un adepte de la mécanique de
Paris. Léonard est donc à sa place parmi les précurseurs parisiens de
Galilée.

Jusqu'à ces dernières années, la science du Moyen Âge était tenue
pour inexistante. Un philosophe, qui connaît admirablement l'histoire
de la science dans l'Antiquité et durant les temps modernes, écrivait
naguère¹:

XIII 1. G. MILHAUD, *Science grecque et science moderne* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences morales et politiques*, 1904). — G. MILHAUD, *Études sur la pensée scientifique*

265 « Supposez que l'imprimerie eût été trouvée deux siècles plus tôt ; elle eût aidé à renforcer l'orthodoxie, et eût servi surtout à propager, en dehors de la *Somme* de saint Thomas et de quelques ouvrages de ce genre, les bulles d'excommunication et les décrets du Saint-Office. »

270 Aujourd'hui, croyons-nous, il nous est permis de dire :

 « Si l'imprimerie avait été trouvée deux siècles plus tôt, elle eût publié, au fur et à mesure qu'elles étaient composées, les œuvres qui, sur les ruines de la physique d'Aristote, ont posé les fondements d'une mécanique dont les temps modernes sont justement fiers. »

275 Cette substitution de la physique moderne à la physique d'Aristote a résulté d'un effort de longue durée et d'extraordinaire puissance.

 Cet effort, il a pris appui sur la plus ancienne et la plus resplendissante des universités médiévales, sur l'Université de Paris. Comment un Parisien n'en serait-il pas fier ?

280 Ses promoteurs les plus éminents ont été le Picard Jean Buridan et le Normand Nicole Oresme. Comment un Français n'en éprouverait-il pas un légitime orgueil ?

 Il a résulté de la lutte opiniâtre que l'Université de Paris, | véritable gardienne, en ce temps-là, de l'orthodoxie catholique, mena contre le
285 paganisme péripatéticien et néo-platonicien. Comment un chrétien n'en rendrait-il pas grâce à Dieu ?

xiv

Les études qui vont suivre ont paru soit dans le *Bulletin Italien*, soit dans le *Bulletin Hispanique* ; à M. G. Radet, doyen de la Faculté des lettres de Bordeaux, à nos collègues, M. E. Bouvy et M. G. Cirot,
290 nous sommes redevable de cette large hospitalité accordée à nos recherches ; qu'ils daignent accueillir l'hommage de notre gratitude.

PIERRE DUHEM

Bordeaux, 24 mai 1913

chez les Grecs et les Modernes, Paris, 1906, p. 268–269.

LE SYSTÈME DU MONDE

HISTOIRE DES DOCTRINES COSMOLOGIQUES

DE PLATON À COPERNIC

*Premier tome paru en 1913,
sorti de presse après le 4 novembre et avant le 22 décembre*

NOTE ÉDITORIALE. — Le t. I [536] est sorti de presse après le 4 novembre, date à laquelle Duhem en signe l'avant-propos, et avant le 22 décembre 1913, date à laquelle il en fait hommage à l'Académie des Sciences. Celle-ci reçoit hommage du t. II [562] le 15 juin 1914, du t. III [584] le 18 octobre 1915 et du t. IV [590] le 1^{er} mai 1916 ; le t. V [606] paraît posthumément en 1917, les cinq derniers ([610], [614], [615], [616], [617]) dans les années 1950 (cf. chronologie, p. 8565-8567).

Table des tomes ; table des parties	<i>ci-dessous</i>	
Table des parties et chapitres	4422	
Table complète	4424	
Texte	4451	
Notes	8553	
T O M E S		<i>table complète</i>
I	contenant les sec. 1 à 1.8, p. 4424	4437
II	1.9-2.1 4427	4440
III	2.2-2.7 4429	4442
IV	2.8-3.3 4432	4445
V	3.4-3.13 4434	4447
P A R T I E S		<i>table complète</i>
I. La cosmologie hellénique	4424	
II. L'astronomie latine au Moyen Âge	4429	
III. La crue de l'aristotélisme	4433	
IV. Le reflux de l'aristotélisme. Les condamnations de 1277	4437	
V. La physique parisienne au XIV ^e siècle	4440	
VI. La cosmologie du XV ^e siècle. Écoles et universités au XV ^e siècle	4447	

TABLE DES PARTIES ET CHAPITRES

	<i>table complète</i>
I. LA COSMOLOGIE HELLÉNIQUE	4424
I. L'astronomie pythagoricienne	4424
II. La cosmologie de Platon	4424
III. Les sphères homocentriques	4424
IV. La physique d'Aristote	4425
V. Les théories du temps, du lieu et du vide après Aristote	4425
VI. La dynamique des Hellènes après Aristote	4426
VII. Les astronomies héliocentriques	4426
VIII. L'astronomie des excentriques et des épicycles	4426
IX. Les dimensions du Monde	4427
X. Physiciens et astronomes. — I. Les Hellènes	4427
XI. Physiciens et astronomes. — II. Les Sémites	4427
XII. La précession des équinoxes	4428
XIII. La théorie des marées et l'astrologie	4428
II. L'ASTRONOMIE LATINE AU MOYEN ÂGE	4429
I. La cosmologie des Pères de l'Église	4429
II. L'initiation des barbares	4429
III. Le système d'Héraclide au Moyen Âge	4430
IV. Le tribut des Arabes avant le XIII ^e siècle	4430
V. L'astronomie des séculiers au XIII ^e siècle	4430
VI. L'astronomie des Dominicains	4431
VII. L'astronomie des Franciscains	4431
VIII. L'astronomie parisienne au XIV ^e siècle. — I. Les astronomes	4432
IX. L'astronomie parisienne au XIV ^e siècle. — II. Les physiciens	4432
X. L'astronomie italienne	4432
III. LA CRUE DE L'ARISTOTÉLISME	4433
Avant-propos. Le péripatétisme, les religions et la science d'observation	4433
I. Les sources du néo-platonisme arabe	4433
II. Le néo-platonisme arabe	4433
III. La théologie musulmane et Averroès	4433
IV. Avicébron	4434
V. Scot Érigène et Avicébron	4434
VI. La Kabbale	4434
VII. Moïse Maïmonide et ses disciples	4435
VIII. Les premières infiltrations de l'aristotélisme dans la scolastique latine	4435
IX. Guillaume d'Auvergne, Alexandre de Hales et Robert Grosseteste	4435
X. Les <i>Questions</i> de Maître Roger Bacon	4436
XI. Albert le Grand	4436
XII. Saint Thomas d'Aquin	4436
XIII. Siger de Brabant	4436

IV. LE REFLUX DE L'ARISTOTÉLISME.	
LES CONDAMNATIONS DE 1277	4437
I. La réaction de la scolastique latine	4437
II. Henri de Gand	4437
III. La doctrine de Proclus et les dominicains allemands	4437
IV. D'Henri de Gand à Duns Scot	4438
V. Duns Scot et le scotisme	4438
VI. L'essentialisme	4438
VII. Les deux vérités. Raymond Lulle et Jean de Jandun	4438
VIII. Guillaume d'Ockham et l'ockhamisme	4439
IX. L'éclectisme parisien	4439
V. LA PHYSIQUE PARISIENNE AU XIV^e SIÈCLE	4440
I. L'infiniment petit et l'infiniment grand	4440
II. L'infiniment grand	4440
III. Le lieu	4440
IV. Le mouvement et le temps	4441
V. La latitude des formes avant Oresme	4441
VI. La latitude des formes, Nicole Oresme et ses disciples parisiens	4442
VII. La latitude des formes à l'Université d'Oxford	4442
VIII. Le vide et le mouvement dans le vide	4442
IX. L'horreur du vide	4443
X. Le mouvement des projectiles	4443
XI. La chute accélérée des graves	4443
XII. La première chiquenaude	4444
XIII. L'astrologie chrétienne	4444
XIV. Les adversaires de l'astrologie	4444
XV. La théorie des marées	4445
XVI. L'équilibre de la terre et des mers. I. Les anciennes théories	4445
XVII. L'équilibre de la terre et des mers. II. La théorie parisienne	4445
XVIII. Les petits mouvements de la terre et les origines de la géologie	4446
XIX. La rotation de la Terre	4446
XX. La pluralité des mondes	4447
VI. LA COSMOLOGIE DU XV^e SIÈCLE.	
ÉCOLES ET UNIVERSITÉS AU XV^e SIÈCLE	4447
I. L'Université de Paris au xv ^e siècle	4447
II. Les universités de l'Empire au xv ^e siècle	4448
III. Nicolas de Cues	4448
IV. L'École astronomique de Vienne	4449
V. La pensée italienne au xiv ^e siècle	4449
VI. Paul de Venise	4449

PIERRE DUHEM
CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE
PROFESSEUR À L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

LE SYSTÈME DU MONDE

HISTOIRE DES DOCTRINES COSMOLOGIQUES
DE PLATON À COPERNIC

TOME PREMIER

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN ET FILS
LIBRAIRES DE S. M. LE ROI DE SUÈDE
6, RUE DE LA SORBONNE, 6

1913

CHAPITRE PREMIER
L'ASTRONOMIE PYTHAGORICIENNE

5

I
POUR L'HISTOIRE DES HYPOTHÈSES ASTRONOMIQUES, IL N'EST PAS DE COMMENCEMENT ABSOLU. — L'INTELLIGENCE DES DOCTRINES DE PLATON REQUIERT L'ÉTUDE DE L'ASTRONOMIE PYTHAGORICIENNE

En la genèse d'une doctrine scientifique, il n'est pas de commencement absolu ; si haut que l'on remonte la lignée des pensées qui ont préparé, suggéré, annoncé cette doctrine, on parvient toujours à des opinions qui, à leur tour, ont été préparées, suggérées et annoncées ; et si l'on cesse de suivre cet enchaînement 5 d'idées qui ont procédé les unes des autres, ce n'est pas qu'on ait mis la main sur le maillon initial, mais c'est que la chaîne s'enfonce et disparaît dans les profondeurs d'un insondable passé.

Toute l'astronomie du Moyen Âge a contribué à la formation du système de Copernic ; par l'intermédiaire de la science islamique, l'astronomie du Moyen 10 Âge se relie aux doctrines helléniques ; les doctrines helléniques les plus parfaites, celles qui nous sont bien connues, dérivent des enseignements d'antiques Écoles dont nous savons fort peu de choses ; ces Écoles à leur tour, avaient hérité des théories astronomiques des Égyptiens, des Assyriens, des Chaldéens, des Indiens, théories dont nous ne connaissons presque rien ; la nuit des siècles passés est 15 tout à fait close, et nous nous sentons encore bien loin des premiers hommes qui aient observé le cours des astres, qui en aient constaté la régularité et qui aient tenté de formuler les règles auxquelles il obéit.

Incapables de remonter jusqu'à un principe vraiment premier, nous en 6 sommes réduits à donner un point de départ arbitraire à l'histoire que nous 20 voulons retracer.

Nous ne rechercherons pas quelles furent les hypothèses astronomiques des très vieux peuples, Égyptiens, Indiens, Chaldéens, Assyriens ; les documents où ces hypothèses sont exposées sont rares ; l'interprétation en est fort souvent si malaisée qu'elle fait hésiter les plus doctes ; toute compétence, d'ailleurs, 25 nous ferait défaut non seulement pour juger, mais simplement pour exposer les discussions des orientalistes et des égyptologues.

Nous ne rapporterons pas non plus, du moins en général, ce que l'on a pu 30 reconstituer des doctrines des anciens sages de la Grèce ; les minces fragments, parfois d'authenticité douteuse, auxquels leurs ouvrages sont maintenant réduits, ne nous laissent guère deviner comment leurs pensées sont nées les unes des

Le manuscrit arabe du traité d'Al-Battani a été conservé à la Bibliothèque de l'Escurial. En ces dernières années, M. Nallino a publié ce texte arabe²; il l'a, en outre, traduit en latin, et enrichi de notes qui sont une abondante source de renseignements pour l'histoire de l'astronomie grecque et arabe. Nous avons souvent puisé à cette source.

Le cinquantième chapitre de l'ouvrage d'Al-Battani³ se propose de nous faire connaître « les distances et les diamètres des planètes, leurs volumes et les grandeurs de leurs orbites, tels que les donne la méthode indiquée par les Anciens ». Le principe de cette méthode paraît à l'auteur vérité si fortement établie qu'il ne prend même pas la peine de le formuler avant de l'appliquer.

Les distances des planètes supérieures à la Terre sont plus faibles selon les évaluations d'Al-Battani qu'au gré des calculs d'Al-Fergani. On peut en juger par le tableau suivant, où ces distances sont données en rayons terrestres. Nous avons également inscrit dans ce tableau les distances déterminées, un peu avant l'an 913, par Ibn Rosteh⁴.

49

Distances en rayons terrestres selon			
	Al-Fergani	Al-Battani	Ibn Rosteh
Périgée de la Lune	33,55	33,55	...
Apogée de la Lune	$64 \frac{1}{6}$	$64 \frac{1}{6}$	$64 \frac{1}{6}$
Périgée de Mercure			
Apogée de Mercure	167	166	166
Périgée de Vénus			
Apogée de Vénus	1 120	1 070	1 079
Périgée du Soleil			
Apogée du Soleil	1 220	1 146	1 260
Périgée de Mars			

omnes scientias mathematicas IOANNIS DE REGIOMONTE, Patauii habita cum ALFRAGANUM publice prælegeret. EIUSDEM utilissima introductio in Elementa Euclidis. Item Epistola PHILIPPI MELANTHONIS nuncupatoria, ad Senatum Noribergensem. Omnia iam recens prelis publicata. Norimbergæ anno M D XXXVII.

Certains exemplaires renferment seulement l'ouvrage d'Al-Fergani et celui d'Al-Battani. Ils portent le titre suivant : *Breviæ ac perutilis compilatio ALFRAGANI astronomorum peritissimi, totum id continens, quod ad rudimenta astronomica est opportunum*. Fol. 26, r° : Explicit Alfraganus Norimbergæ apud Ioh. Petreium, anno Salutis M D XXXVII. — Puis, fol. 1, r° : *Præfatio PLATONIS TIBURTINI in Albategnium*. Fol. 90, r° : Finis.

2. AL-BATTANI sive ALBATENII *Opus astronomicum*, ad fidem codicis Escurialensis arabice editum, latine versum, adnotationibus instructum a Carolo Alphonso Nallino. 3 partes. Mediolani Insubrum, 1899–1907 (*Pubblicazioni del Reale Osservatorio di Brera in Milano*, n° XL).

3. AL-BATTANI *Opus astronomicum*, éd. Nallino. Pars prima, Mediolani, 1903; caput L : De planetarum distantiis et diametris, de magnitudine eorum corporum et sphærarum, ut traduntur juxta ea que veteres narraverunt, p. 120–124.

4. *Kitâb al-A'lâk an-Nafisah VII* auctore IBN ROSTEH, et *Kitâb al-Boldân* | 49 | auctore AL-JAKÛBÎ, éd. M. J. de Goeje, Lugduni Batavorum, 1892, p. 18–20. — AL-BATTANI, éd. Nallino, pars I, p. 286–287 (note de M. Nallino).

planète.

Pour les cinq planètes, Eudoxe en connaissait la valeur d'une manière assez exacte, comme le montre le tableau suivant, que nous empruntons à G. Schiaparelli¹ :

Noms des planètes	Révolutions zodiacales		
	Selon Eudoxe	Selon les Modernes	
	Ans	Ans	Jours
Vénus	1	1	»
Mercure	1	1	»
Mars	2	1	322
Jupiter	11	12	315
Saturne	30	29	166

Si le mécanisme de chaque astre errant se réduisait aux deux sphères dont nous venons de parler, le mouvement de chacun d'eux se composerait d'une circulation diurne uniforme d'orient en occident autour de l'axe du Monde et d'une circulation uniforme d'occident en orient suivant l'écliptique ; on retrouverait l'astronomie trop simplifiée que Platon expose constamment dans ses dialogues. Les sphères nouvelles qu'Eudoxe va introduire auront pour objet de sauver au moins quelques-uns des mouvements apparents que le système de Platon ne sauvait pas.

IV
LES SPHÈRES HOMOCENTRIQUES D'EUDOXE (*suite*).
THÉORIE DE LA LUNE

117

Voyons d'abord comment Eudoxe sauvait les apparences présentées par l'astre le plus rapproché de la Terre, par la Lune.

Si la Lune se mouvait autour de la Terre dans le plan même de l'écliptique, chaque fois que, par rapport à la Terre, la Lune est opposée au Soleil, elle se trouverait dans le cône d'ombre de la Terre et serait éclipsée ; chaque fois qu'elle est conjointe au Soleil, elle se trouverait exactement entre la Terre et le Soleil et éclipserait cet astre ; toute pleine-lune serait accompagnée d'une éclipse de Lune, toute nouvelle-lune d'une éclipse de Soleil. Pour tirer cette conclusion des prémisses, il n'est pas besoin d'une géométrie bien savante, et pour constater 10 qu'elle ne s'accorde pas avec les faits, l'observation la plus grossière suffit.

La Lune ne peut donc pas se mouvoir constamment dans le plan de l'écliptique ; et, en effet, les observations montrent que la Lune est tantôt au nord, tantôt au sud de l'écliptique ; la latitude de cet astre est tantôt boréale et tantôt australe ; au temps d'Eudoxe, on savait que la valeur absolue de cette latitude 15 peut atteindre environ $5^\circ 8' 48''$.

116 1. G. SCHIAPARELLI, *loc. cit. <op. cit. >*, p. 152.

TOME PREMIER

AVANT-PROPOS

4452, 2-3 pourvu que Dieu nous donne la force de l'achever] // PNP, Avant-propos, p. 3649, l. 7. Duhem a un propos analogue, en 1916 à l'endroit d'Aldo Mieli, lorsqu'il rend compte du premier volume d'un projet tout à fait comparable à celui du *Système* : cf. [602], p. 261.

[ÉPIGRAPHE]

1

NUNQUAM IN ALIQUA ÆSTATE [...]] *Jamais science ne fut constituée en un moment particulier, mais, dès le commencement du Monde, la sagesse a lentement crû, et elle n'est toujours pas complète en cette vie.* Nous rendons *inventa* par *constituée* pour éviter l'ambiguïté que cause l'ambivalence du concept latin *d'inventio* : cf. notre note à TP 1.3.2, ici p. 1911, l. 408, p. 2106–2107. Duhem adapte la phrase de Bacon, qui commence par *Nam nunquam, En effet, jamais* ; Bacon s'en prend dans ce passage à la présomption de ceux qui, méprisant la tradition, entendent enseigner sans avoir eux-mêmes appris ; il est à noter que la vie de Bacon lui-même est une bonne illustration de son propos : voir *e. g.* ce qu'en dira Duhem en 2.5.5, ici p. 5428, l. 481–493, ou en 2.7.4, ici p. 5530, l. 1–14 ; mais voir *a contrario* les remarques de D. en 5.8.5, p. 7608, l. 198–200 et en 5.15.4, p. 7947, l. 108–113. Voir également, dans l'esprit de ce texte, la citation du commentaire au *De Cælo* d'Albert le Grand que Duhem donne en 2.6.1, ici p. 5479, l. 504–508. Ce texte de Roger Bacon est un extrait de son *Compendium studii philosophiae*, à ne pas confondre avec son *Compendium studii theologiae*, lequel sera l'objet du 4.4.3 (p. 6718–6720). Voir également ces passages de l'*Opus majus* :

Ideo⁵⁷⁸ dicit [Seneca] [...] quod nihil est perfectum in humanis inventionibus et infert, quanto juniores tanto perspicaciores, quia juniores posteriores successionē temporum ingrediuntur labores priorum. [...] examinare⁵⁷⁹ debemus districtissime sententias majorum, ut addamus que eis defuerunt, et corrigamus quæ errata sunt [...] additio⁵⁸⁰ et cumulatio sapientiae [...] crescere⁵⁸¹ potest in hac vita studiam sapientiæ, quia nihil est perfectum in humanis inventionibus.

Dans son compte-rendu du t. I (cf. p. 8566), Aldo Mieli note (p. 463) :

Cette pensée, qui sert d'épigraphie à l'ouvrage de M. Duhem, tout en exprimant une profonde vérité, caractérise en même temps l'état d'esprit qui devrait animer tous ceux qui se consacrent à l'histoire de la science. C'est ainsi seulement qu'on arrive en effet à apprécier avec équité et justice chaque époque et chaque École et qu'on évite les dédains faciles à l'égard de théories qui différaient des nôtres, mais

578. Pars prima, cap. vi, éd. J. H. Bridges, vol. I, p. 13.

579. Cap. vii, p. 15.

580. Cap. ix, p. 20.

581. Pars secunda, cap. xiv, p. 57. Ces passages de l'*Opus majus* avaient été relevés, dans une note sur l'idée de progrès au Moyen Âge, par Tullio Gregory ([696], p. 30), sans rapprochement toutefois à notre passage du *Compendium studii philosophiae*.

262–263 l’ouvrage de Robert l’Anglais s’intitule maintenant : *Tractatus quadrantis veteris*] Nous avons vu qu’il est aujourd’hui désigné comme *Quadrans vetus*.

267 au préambule de son ouvrage] Le contexte ne rend pas cette mention très claire : il n’est plus question de la saphea d’Al-Zarqālī, mais d’un *Traité du quadrant* propre à Profatius, que Duhem va présenter.

5452, 288–291 La date de cette première rédaction ne figure pas dans les textes hébreu ; les traductions latines ultérieures la donnent d’une manière peu concordante ; les divers manuscrits portent tantôt 1288, tantôt 1290 et tantôt 1293.] Emmanuel Poulle, art. cit., seconde livraison, écrit p. 183 « sans doute 1288 », p. 204 « vers 1288 » ; voir les références par lui indiquées en sa note 51 p. 204.

307

293–295 au sujet de la composition de cette traduction, nous sommes exactement renseignés ; nous savons qu’elle fut faite en 1299, à Montpellier, par Armengaud de Blaise] Lynn Thorndike a montré que cette traduction est vraisemblablement de 1290 : cf. « Date of the Translation by Ermengaud Blasius of the Work on the Quadrant by Profatius Judaeus », *Isis* 26 2, mars 1937, 306–309 : « the weight of the manuscript material available seems to favor the date 1290 . . . if only two years elapsed between Ermengaud’s translation (in 1299) and Profatius’s revision in 1301, one would hardly expect to find so many manuscripts of Ermengaud’s translation, which would have been almost immediately superseded by the author’s revision in Latin. But if we allow eleven years between the two, the circulation of the work will explain both the survival of a number of copies of Ermengaud’s translation and the desirability—by 1301—of Profatius’s issuing his revision directly in Latin. » (P. 308.) Voir ég. Emmanuel Poulle, art. cit., seconde livraison, p. 204 *sq.* (« aux manuscrits qu’il <Thorndike> cite, on peut ajouter le témoignage de l’explicit de l’édition de 1324 », p. 204, n. 51). Relevons au passage qu’Armengaud Blaise est le neveu d’Arnaud de Villeneuve ; sur son nom, Thorndike, *HMES* II, p. 845, n. 2, et « Date of the Translation . . . », n. 3 p. 306.

303–306 En 1301, Jacob ben Makhir reprit son traité du quadrant, le corrigea et en donna une seconde édition. Le texte hébreu de cette seconde édition nous est connu ; de plus, l’existence de ce texte et la date où il fut composé nous sont indiqués par la traduction latine qui en fut faite] Sur cette version latine de l’éd. de 1301, Emmanuel Poulle, art. cit., seconde livraison, p. 207–208. Une édition du texte latin a été donnée en 1922 : Giuseppe Boffito et Camillo Melzi d’Eril, *Il quadrante d’Israele di Jacob ben Machir ben Tibbon (Profacio)*, Firenze, Libreria Internazionale, 1922. Thorndike relève que (« Date of the Translation . . . », p. 306), « the assertion of Duhem, “Le texte hébreu de cette seconde édition nous est connu,” has been corrected by Boffito and Melzi d’Eril who have stated that there is no Hebrew manuscript of it, that the original Hebrew text is irreparably lost, and that the Hebrew text now extant was translated from the Latin . . . Indeed, there seems reason for believing that Profatius himself issued his revision of 1301 in Latin. » (Voir éd. de 1922 p. 16.)

308

313–320 Un certain Pierre de Saint-Omer, qui était chancelier de Notre-Dame et qui, en 1296, remplissait, près de l’Église et de l’Université de Paris, des fonctions analogues à celles de bibliothécaire, s’intéressa au livre du rabbin marseillais ; il en donna une édition revue et corrigée dont voici le titre : [...]] Pierre de Saint-Omer a bien écrit un traité sur le quadrant nouveau, à propos duquel on pourra lire Lynn Thorndike, « Date of Peter of St. Omer’s Revision of the New Quadrant of Profatius Judaeus », *Isis* 51 2, juin 1960, 204–206, qui le date d’avant 1309, et Emmanuel Poulle, art. cit., seconde livraison, p. 208–209 (p. 208 : « Sa date n’est pas connue [...] Il est toutefois probable

INDEX CODICUM MANUSCRIPTORUM

Les bibliothèques et codex indiqués sont bien sûr ceux que mentionne Duhem ; nous indiquons au besoin les institutions qui leur correspondent aujourd’hui ou les transferts de manuscrits.

Dans l'index du *Système du Monde*, de même que dans le dernier volume des *Études sur Léonard*, Duhem signale les manuscrits qu'il n'a pas directement consultés par un astérisque, que bien sûr nous reproduisons ; il s'ensuit que tous les autres doivent y être considérés comme cités ou allégués par lui de première main. Or, d'une part, ni les deux premiers volumes des *Études*, ni les tomes VI, VII, VIII et X du *Système* ne contiennent d'index des manuscrits ; d'autre part, les index existants des tomes du *Système* étant parfois lacunaires, il convenait de les compléter de manuscrits dont il n'est pas toujours clair que Duhem les ait ou non consultés directement : afin d'éviter de suggérer quoi que ce soit les concernant, leurs cotes sont ici suivies d'un losange (ainsi [◊]) ; le cas échéant, nous indiquons en note le contexte et le type de leur convocation. Enfin un manuscrit (B. N., f. lat., n° 14580) est marqué d'un astérisque en *ÉLV* III mais a manifestement été consulté de première main en *Syst.* VIII (dépourvu d'index) : nous l'avons marqué d'un signe d'inégalité (ainsi [#]).