
LA VIE ET L'ŒUVRE

DE

PIERRE DUHEM

MEMBRE DE L'ACADÉMIE

LUE DANS LA SÉANCE PUBLIQUE ANNUELLE DU 12 DÉCEMBRE 1921

PAR

M. ÉMILE PICARD

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL



MESSIEURS,

Nos classifications académiques aiment à placer les savants dans des cadres bien définis; celui-ci est géomètre, cet autre physicien, celui-là chimiste. La spécialisation, souvent nécessaire dans les recherches modernes, rend en général utile notre division en sections. Il serait à désirer cependant qu'on l'entendît parfois d'une manière plus large, en corrigeant ce qu'elle a de trop rigide. Cette réflexion m'est inspirée par l'œuvre du confrère éminent, qui n'a fait que passer parmi nous, Pierre Duhem. Si ce théoricien de la Mécanique, de la Physique et de

la Chimie eut habité Paris, trois de nos sections se le seraient peut-être successivement renvoyé, et son cas se fut aggravé de ce qu'il cultivait en même temps l'histoire et la philosophie des sciences. Nous avons heureusement depuis dix ans une division de membres non résidants, qui n'est pas fractionnée en spécialités. Duhem y a trouvé la place que méritaient la puissance de son esprit et le labeur immense qu'il a fourni dans des voies très diverses pendant sa carrière trop tôt interrompue. Je voudrais essayer de retracer aujourd'hui sa vie et son œuvre, heureux de rendre, en sa personne, hommage à ces savants qui, en dehors de la capitale, contribuent au bon renom de la science française.

I.

Pierre Duhem naquit à Paris le 10 juin 1861. Son père resté jeune orphelin et sans fortune était entré de bonne heure dans le commerce, après avoir fait toutefois de bonnes études classiques, et Duhem se rappelait l'avoir vu souvent dans son enfance lire Horace et Virgile. Cependant il semble que ce soit un de ses grands-oncles, Timothée Fabre, ancien professeur au Collège Royal d'Angers, qui exerça sur lui la plus grande influence. Duhem avait pour ce grand-oncle, très humaniste et un peu poète, une profonde vénération. Il est venu souvent, tout jeune homme, passer ses vacances près de lui dans la maison familiale de Cabrespine, petit village de l'Aude, et le goût si prononcé qu'il eut toujours pour les humanités classiques fut en partie dû à son grand-oncle. Notre confrère aimait à raconter que sa vocation scientifique lui était venue de très bonne heure; d'après lui, une part en revenait à un enseignement excellent de l'arithmétique donné par une maîtresse d'un cours enfantin qu'il avait suivi avant d'entrer au Collège Stanislas, M^{lle} Arnould. Si l'on accordait à ces souvenirs d'enfance plus d'importance qu'ils ne méritent, on pourrait y voir une manifestation précoce du goût qu'eut toujours Duhem pour les déductions poursuivies en dehors de toute représentation figurée.

Duhem fit à Stanislas d'excellentes études. Élève régulier, il s'intéressait à tout ce qu'on lui enseignait. Cependant l'histoire eut un moment ses préférences, et il s'en fallut de peu que son professeur d'histoire M. Cons, ne le décidât à se consacrer aux recherches historiques. En fait, Duhem devait prendre plus tard un rang éminent dans l'histoire des sciences, et il ne lui fut pas indifférent d'avoir cultivé avec succès la version latine et la version grecque, quand il se trouva en présence de manuscrits latins du moyen âge et qu'il dut commenter les écrits de certains mathématiciens grecs. Mais de tous ses maîtres, aucun n'exerça sur lui une action comparable à celle de son professeur de physique, Jules Moutier, théoricien pénétrant de la physique, qui paraît avoir eu le premier l'idée d'appliquer les théorèmes de la thermodynamique à la dissociation chimique. L'empreinte de Moutier fut très forte sur l'esprit de Duhem; d'autre part, le maître apprécia vite les qualités puissantes de son élève « Retenez bien le nom de votre camarade Duhem, disait-il un jour dans une interrogation, il deviendra célèbre ». De tels propos donnaient à Duhem une grande notoriété dans le Collège, et les témoignages de ses condisciples plus jeunes montrent que ses cadets regardaient avec admiration cet élève de mathématiques spéciales qui passait pour avoir fait des découvertes.

Ce n'est pas que Duhem cherchât à capter les suffrages populaires; il montra de bonne heure le caractère indépendant et ombrageux, qui fut en partie cause des difficultés qu'il rencontra dans sa carrière. Il lui arrivait d'exercer sa verve caustique sur ses camarades, et son esprit quelque peu frondeur apparaît dans les portraits qu'il faisait de ses maîtres; il avait en effet un réel talent de caricaturiste, qui accroissait encore sa renommée dans l'enceinte du collège. Plusieurs de ses dessins, pieusement conservés, font revivre le personnel de Stanislas vers 1880. Son habileté à manier le crayon apparaît aussi de bonne heure en des sujets scientifiques; de 1876 à 1878 il dessina les planches *d'observations micrographiques devant servir à l'histoire naturelle des êtres inférieurs des deux règnes* : tel est le titre d'un Ouvrage qu'il rédigea alors avec la collaboration de son camarade le futur Docteur

Récamier, et qui resta manuscrit; ces reproductions d'algues et de champignons microscopiques faites par un jeune homme de quinze ans sont d'une remarquable fidélité. Le talent de dessinateur et le goût pour l'histoire naturelle, que montrait ainsi Duhem, purent alors faire penser qu'il trouverait sa voie dans les recherches biologiques.

Notre confrère était d'une nature malade et il ne connut jamais la pleine santé. Des crises pénibles d'estomac interrompirent plusieurs fois ses études. Aussi n'entra-t-il à l'École Normale qu'en 1882, où il fut reçu le premier. Les années qu'il passa rue d'Ulm furent parmi les meilleures de sa vie. Il appréciait ce milieu varié, où se coudoient les *littéraires* et les *scientifiques*. Il y noua de solides amitiés, particulièrement avec ceux dont le rapprochaient ses opinions religieuses. Tel fut, pour ne citer que ceux qui ne sont plus, notre confrère de l'Académie des Sciences Morales, Victor Delbos, à qui l'on doit de remarquables études sur Kant et Spinoza, et dont la mort, précédant de peu la sienne, devait attrister les derniers temps de sa vie. Personne ne fut moins que Duhem l'homme d'une seule étude, et déjà sa lecture était immense. Ce mode de travail n'est pas toujours le plus favorable pour réussir dans les examens; ceux-ci ont leurs hasards, et Duhem ne fut classé que le septième à la licence ès sciences mathématiques. Mais il obtint sans peine le premier rang en physique et en chimie, et on le laissa à la tête de sa promotion, tant sa supériorité était évidente.

II.

Dès son entrée à l'École, Duhem s'essaie à des recherches personnelles. Au Collège Stanislas, son maître Moutier lui avait fait aimer, comme il le dit lui-même, les théories de la physique. C'est ainsi qu'il était familier avec l'important Mémoire de Massieu donnant la notion capitale d'une fonction caractéristique de l'état d'un corps. Il avait aussi étudié l'exposé des idées émises sur la Mécanique chimique par un savant américain Willard Gibbs, donné par notre confrère M. Lemoine dans ses belles études sur les équilibres chimiques, et il con-

naissait le travail récent de Helmholtz sur la distinction dans une pile entre la chaleur chimique et la chaleur voltaïque. Ces lectures lui inspirèrent son premier dessein.

Depuis Lagrange, la statique est comprise dans un seul principe, celui des déplacements virtuels, principe complété dans le cas d'un potentiel par un théorème célèbre relatif à la stabilité de l'équilibre. Ne pourrait-on pas obtenir un principe analogue applicable à des cas beaucoup plus étendus que ceux envisagés par la Mécanique rationnelle? Gibbs avait déjà indiqué que les fonctions introduites par Massieu pouvaient, dans certains cas, jouer ce rôle; mais une rédaction très abstraite et quelquefois obscure rendait singulièrement difficile la lecture de son Mémoire. Duhem est guidé par la pensée de mettre plus fortement en évidence que ses devanciers, les analogies entre la Mécanique analytique de Lagrange et la Thermodynamique. Les travaux célèbres de Thomson et de Clausius avaient fait la distinction entre l'énergie totale et l'énergie libre ou énergie utilisable, que possède un système, *energie available to man*, comme disait Lord Kelvin. Duhem forme, au moyen de l'énergie utilisable, la fonction qu'il appelle *potentiel thermodynamique interne* et qui joue un rôle analogue à celui du potentiel en Mécanique rationnelle; il se sert alors systématiquement de la méthode des travaux virtuels, qui dispense de la considération longue et pénible des cycles le plus souvent employée jusque là, et en fait de nombreuses applications aux principaux problèmes de la statique chimique. Ce fut l'objet de la première Note qu'il présenta en 1884 à l'Académie, et peu après, il publie un volume *sur le potentiel thermodynamique et ses applications à la Mécanique chimique*.

Il semble que les physiciens et les chimistes aient prêté peu d'attention à ce premier Ouvrage de Duhem, peut-être parce qu'ils n'y trouvaient pas d'expériences nouvelles. Les mathématiciens lui firent un meilleur accueil, frappés sans doute par les analogies avec les questions de mécanique rationnelle qui leur étaient plus familières et par l'importance des problèmes de maximum et de minimum dans l'étude de la stabilité des équilibres chimiques. Tous pouvaient y

apprécier une réelle vigueur d'esprit, autorisant les plus grandes espérances.

Après le concours d'agrégation de physique de 1885, où il fut reçu le premier, Duhem resta encore deux ans à l'École Normale, comme élève de quatrième année et comme préparateur. C'était l'époque où, dans le modeste laboratoire de la rue d'Ulm, Pasteur ouvrait des voies nouvelles à la biologie et à la médecine. L'École pasteurienne eut fait en Duhem une heureuse recrue, et le maître chercha à l'attirer. Le jeune agrégé eut quelques hésitations, mais il ne put se résigner à abandonner le programme de recherches qu'il s'était déjà tracé. Un des amis de Duhem, qui l'ont le mieux connu, affirme que les avantages de carrière qu'il aurait trouvés à entrer chez Pasteur furent l'une des raisons qui l'en détournèrent. Il se peut; car Duhem eut toujours la crainte que des considérations d'intérêt personnel guidassent ses décisions, et, en plusieurs circonstances, des scrupules de conscience le poussèrent à se nuire à lui-même.

En 1887, Duhem fut nommé maître de conférences à la Faculté des Sciences de Lille, où il passa six années. Il était chargé d'un cours complémentaire de physique; deux volumes lithographiés sur l'hydrodynamique, l'élasticité et l'acoustique restent le témoignage de son activité comme professeur à cette époque. En 1893, ayant quelques difficultés avec son doyen, il demanda son changement. D'ailleurs un malheur cruel venait de le frapper. Marié à Lille peu de temps après son arrivée, il eut la douleur de perdre sa femme. Il allait se consacrer uniquement à ses travaux et à l'éducation de sa fille unique. Après un court séjour à Rennes, où il ne se plut guère, il fut nommé en 1895, professeur de physique théorique à la Faculté des Sciences de Bordeaux, poste qu'il occupa jusqu'à sa mort.

III.

Duhem a voulu être un théoricien de la Mécanique, de la Physique et de la Chimie; il pensait qu'on sert très utilement la science en cher-

chant à classer et à ordonner le chaos des faits que l'expérience nous a révélés; c'était pour lui l'objet essentiel de la physique théorique. Ses réflexions avaient porté de bonne heure sur la valeur de la science et sur ce que l'on peut attendre d'elle; les vues systématiques qu'il s'était formées à ce sujet donnèrent une orientation générale à ses travaux, et il est parfois difficile de distinguer chez lui le savant de l'historien et du philosophe.

Notre confrère est revenu souvent sur l'histoire de la Mécanique; il avait longuement médité sur l'effort considérable fait dans ce domaine par l'esprit humain. Que de variations au cours des siècles et selon les vicissitudes des Écoles et des systèmes dans le sens de ces mots « Explication mécanique des phénomènes physiques ».

Pour Duhem, le passé éclairait singulièrement le présent. Dans l'antiquité, à la base du système d'Aristote et des péripatéticiens, on trouve la distinction des *catégories*. A la première catégorie, celle de la substance, s'oppose la multiple catégorie des accidents, parmi lesquels le *lieu*, la *qualité*, la *quantité*. La quantité est susceptible d'addition, tandis qu'au contraire les intensités d'une qualité, comme le froid et le chaud, ne sont pas additives. « Entassez des boules de neige, disait Diderot, vous n'arriverez pas à chauffer un four ». Les accidents, dont une substance est capable, peuvent être, soit en *acte*, soit en *puissance*, et cette distinction profonde est restée dans la science actuelle. Non moins remarquable est la considération d'un troisième état où la puissance et l'acte se trouvent intimement liés, c'est l'état que les péripatéticiens désignaient sous le nom de *mouvement*, en entendant par là non seulement le mouvement local, mais aussi le mouvement d'altération tel que la fusion de la glace, et aussi les mouvements de corruption et de génération des éléments, correspondant à la décomposition et à la composition des *mixtes*. Avec les catégories aristotéliennes étaient expliqués les phénomènes que présente le monde physique. On sait combien fut vive au xvii^e siècle la réaction cartésienne contre la physique de l'École, regardée comme la physique de la qualité, et de quelles plaisanteries furent l'objet la vertu dormitive et autres vertus

occultes. Sous la croûte superficielle, où se conservent mortes et fossilisées les doctrines physiques des anciens âges, Duhem se plaisait au contraire à découvrir des pensées profondes en accord avec certaines vues de la science actuelle.

La doctrine de Descartes est à l'opposé de celle des Scholastiques. Avec lui la notion de qualité est bannie du domaine de la Science, quidevient la *Mathématique universelle*. « Je ne reçois pas de principes en physique, proclame-t-il, qui ne soient aussi reçus en mathématiques » ; il voyait dans l'étendue l'essence de la matière, et voulait, partant de là, construire le monde avec de la figure et du mouvement. Ces vues, qui devaient exercer une influence considérable sur le développement de la Science, étaient assurément trop simplistes, et il fut nécessaire d'introduire d'autres éléments étrangers à la Mathématique, pour tout expliquer, comme on disait alors, par *des raisons de Mécanique*.

Peu après, la vieille doctrine atomistique d'Épicure et de Lucrece était rajeunie par Huyghens, qui, dans son admirable *Traité de la Lumière*, regarde l'éther comme formé de petites billes élastiques dont les chocs successifs produisent le mouvement de l'onde lumineuse ; puis se développe le Dynamisme de Leibnitz avec la notion de force, hétérogène à la Géométrie. Enfin Newton, continuant l'œuvre de Galilée, de Descartes et de Huyghens, donne dans son immortel Ouvrage *Sur les Principes de la philosophie naturelle* le code de la dynamique moderne. Les applications à la Mécanique céleste sont bientôt pour la nouvelle doctrine l'occasion d'éclatants triomphes, et, malgré les craintes de quelques cartésiens retrouvant une vertu occulte dans l'attraction, la physique newtonienne domine entièrement dans la seconde moitié du xviii^e siècle.

La mécanique de Newton, qui procède à la manière synthétique des géomètres de l'antiquité, est purement géométrique. Dans sa Mécanique analytique, Lagrange condense toute la statique dans une seule formule, en donnant toute son ampleur au principe des déplacements virtuels, et, empruntant à d'Alembert la notion de forces d'inertie, il

fait connaître les équations célèbres de la Dynamique, auxquelles son nom est resté attaché.

Le principal souci de Duhem dans son premier travail sur le potentiel thermodynamique, avait été, en suivant la voie ouverte par Massieu et par Gibbs, de donner à la statique thermodynamique une forme toute semblable à celle que, depuis Lagrange, avait revêtue la statique mécanique. Mais ce premier essai lui inspira bientôt des projets plus vastes. Ce fut quelque temps une opinion assez répandue, que la Thermodynamique peut se ramener à la Mécanique classique et que la chaleur est un mode de mouvement. Tout autre était la pensée de Duhem, qui eut toujours une aversion profonde pour les mouvements cachés de masses hypothétiques. Il estimait que la statique mécanique et la statique physico-chimique devaient former deux chapitres particuliers d'une doctrine plus étendue, et il résolut de consacrer tous ses efforts à son édification. Les nombres mesurant les intensités des qualités doivent être introduits dans les formules à côté de ceux qui concernent la figure et le mouvement. La Thermodynamique générale, les prenant les uns et les autres tels que les donne la physique expérimentale, embrassera alors dans des principes communs tous les changements d'état des corps, aussi bien les changements des qualités physiques que les changements de lieu. « *Ainsi, disait Duhem, la tentation sera moindre de ramener l'étude de tous les phénomènes physiques à l'étude du mouvement, ...; on fuira dès lors plus volontiers ce qui a été jusqu'ici le plus dangereux écueil de la physique théorique, la recherche d'une explication mécanique de l'Univers.* »

On ne pouvait formuler une profession de foi scientifique plus opposée à l'idéal poursuivi par les diverses physiques mécanistes depuis la physique cartésienne et la physique atomistique jusqu'à la physique newtonienne.

IV.

Un physicien écossais Rankine avait déjà, en 1855, entrevu un but analogue à celui que se proposait Duhem, en cherchant à édifier une thermodynamique générale, mais la tentative était alors prématurée. Cependant le nom d'*énergétique* proposé par lui est resté dans la science, et il laisse deviner la place que va jouer l'énergie dans la Mécanique générale. Il n'est pas aujourd'hui de notion plus courante que celle de l'énergie, et l'on sait combien a été fécond en physique et en chimie le principe de la conservation de l'énergie.

Dans ses *Commentaires sur la Thermodynamique*, œuvre à laquelle il attachait une grande importance, Duhem, préoccupé de construire un système logique, commence par poser les postulats et les hypothèses qui sont à la base de l'édifice à construire. Après avoir introduit les variables normales déjà envisagées par Helmholtz, il présente sous la forme la plus générale la notion du travail ou œuvre accomplie par les corps extérieurs pour une modification virtuelle ou réelle. En laissant d'abord de côté les phénomènes électriques et magnétiques, l'énergie d'un système se décompose en l'énergie interne dépendant de son état et non de son mouvement local, et l'énergie cinétique dépendant du mouvement local et non de l'état. L'énergie cinétique se ramène à la force vive de l'ancienne mécanique; quant à l'énergie interne, des hypothèses et des lois particulières déterminent sa forme dans chaque partie de la physique. La notion de quantité de chaleur ne peut, d'après Duhem, être posée avec précision qu'en recourant au principe de la conservation de l'énergie, ce qui revient à regarder le travail provenant d'une source calorifique extérieure à un système, comme proportionnel à la chaleur que celle-ci communique à ce système. « Cette définition tout algébrique de la quantité de chaleur, écrit-il, scandalisera peut-être quelques esprits; ils s'étonneront de voir employer ces mots *quantité de chaleur*, pour désigner une somme de termes à la formation desquels les notions de chaud et de froid sont

complètement étrangères ». Et il insiste sur l'absence de tout lien logique entre la notion de quantité de chaleur, tel que l'entend le physicien, et la notion qu'entend exprimer le langage vulgaire, car ce lien s'est trouvé brisé le jour où il fut prouvé qu'en *chauffant* de la glace on la fondait sans l'*échauffer*. Il faut cependant montrer la relation entre la grandeur ainsi définie et ce que les physiciens mesurent au calorimètre, mais on ne peut y parvenir qu'en posant un nouveau postulat autonome, d'après lequel la capacité calorifique normale doit être essentiellement positive.

Dans ses *Commentaires*, Duhem discute toutes ces questions ainsi que celles se rattachant au principe de Carnot; c'est l'œuvre très abstraite d'un logicien impitoyable autant que d'un physicien. Sûr de ses fondations, il peut alors tenter de former les équations de la Dynamique nouvelle. Bien des difficultés étaient à surmonter dans l'application de la méthode des déplacements virtuels à ce domaine. Outre l'action d'inertie, s'introduisent les actions de viscosité et certains coefficients calorifiques s'exprimant à l'aide de l'entropie. Les relations ainsi obtenues définissent les variations de tous les paramètres dont dépend l'état du système, sauf la température. Une relation supplémentaire étrangère à l'énergétique doit être cherchée ailleurs, comme l'avaient reconnu jadis Laplace et Poisson dans le cas très particulier de la propagation du son dans un fluide. La théorie de la conductibilité thermique peut souvent fournir cette relation supplémentaire.

Un cas particulier remarquable, relatif aux équations de la Dynamique générale, doit être signalé. Il peut arriver que certaines variables normales ne figurent pas dans l'expression de la force vive; la force d'inertie relative à cette variable est alors nulle. Les équations générales renferment seulement les dérivées premières (et non secondes) de ces variables, que Duhem appelle variables sans inertie; la Mécanique chimique en offre d'importants exemples. La dynamique des systèmes sans inertie se rapproche de la Dynamique d'Aristote, où la force était proportionnelle à la vitesse, et

ceci montre assez combien est compréhensive la nouvelle doctrine.

La considération des actions de viscosité s'annulant avec la vitesse n'est pas suffisante. On a introduit depuis longtemps dans la mécanique classique des forces de frottement. Duhem envisage le frottement comme un phénomène général auquel correspondent des termes qui, comme ceux de la viscosité, sont essentiels et irréductibles. L'introduction de ces termes, avec des propriétés bien définies, est pour Duhem le résultat d'une hypothèse directe. Nous avons déjà dit combien peu le satisfaisaient les hypothèses indirectes sur les mouvements cachés, par lesquels Helmholtz et d'autres mécaniciens ont cherché à rendre compte de l'irréversibilité. Nous retrouvons toujours chez lui la même disposition à regarder, sans plus d'explications, certains faits comme primitifs, tel par exemple le travail négatif des actions de viscosité et de frottement. Il a d'ailleurs écrit, sans y insister du reste, qu'il serait prudent de prévoir une thermodynamique où ce travail pourrait être d'un signe quelconque, et où le mouvement perpétuel ne serait plus impossible. Il voulait sans doute rappeler qu'aucune hypothèse n'est *a priori* inadmissible, et que les faits paraissant le mieux établis sont toujours sujets à révision.

Un point capital pour Duhem, et sur lequel il est revenu souvent, est que dans les systèmes à frottement, les états d'équilibre sont en nombre infini et forment une suite continue. Nous retrouverons cette idée, classique en Mécanique rationnelle, dans des études de Duhem sur la mécanique chimique, qui ont fait l'objet de nombreuses discussions.

V.

Ainsi s'est trouvée peu à peu codifiée par Duhem la Dynamique générale, qui, depuis sa sortie de l'École Normale, n'avait cessé d'être l'objet de ses méditations. On lui a parfois reproché de ne pas avoir suffisamment cité ceux qui avaient été avant lui les premiers ouvriers

continu, la méthode des déplacements virtuels, appliquée à une por-

Gibbs et à Helmholtz, pour ne parler que des disparus; mais son esprit systématique ne tenait pas tant à telle ou telle pierre de l'édifice qu'à la construction de l'ensemble et à l'exposé parfaitement cohérent des principes, avec l'énoncé sans lacunes des postulats qui sont à la base. Il aurait pu toutefois dire l'influence qu'eut à une certaine époque sur sa pensée celle d'un mathématicien, prématurément enlevé à la science, Gustave Robin. Je tiens à rendre ici hommage à ce savant, dont j'ai pu jadis apprécier la rare profondeur d'esprit. Robin fut, comme Duhem, un des fondateurs de la Thermodynamique générale, en se plaçant d'ailleurs à un point de vue philosophique très différent.

Au reste, quoique Duhem ait fait çà et là quelques réclamations de priorité, il ne leur attachait pas une grande importance. C'est ce dont témoigne assez la Notice qu'il rédigea pour sa candidature à l'Académie. Elle débute par cette phrase tirée des Pensées de Pascal, qu'on n'est pas accoutumé à lire dans les écrits de ce genre : « Certains auteurs, parlant de leurs Ouvrages, disent : mon livre, mon commentaire, mon histoire, etc.... Ils sentent leurs bourgeois qui ont pignon sur rue, et toujours un « chez moi » à la bouche. Ils feraient mieux de dire : notre livre, notre commentaire, notre histoire, ..., vu que d'ordinaire il y a plus en cela du bien d'autrui que du leur ».

La modestie de notre confrère était sincère; il avait trop étudié l'histoire des sciences pour ignorer que le travail scientifique est un travail collectif, et que l'éclosion des idées en apparence les plus originales n'est souvent que l'aboutissement de longs efforts antérieurs.

VI.

Duhem a fait de très nombreuses applications de ses principes généraux aux diverses parties de la Mécanique, de la Physique et de la Chimie.

On lui doit tout d'abord des recherches approfondies sur les principales questions qui se posent dans la Mécanique des fluides. Il a notamment beaucoup insisté sur ce que, dans le cas d'un système

continu, la méthode des déplacements virtuels, appliquée à une portion de ce système, permet seule de définir avec précision les forces de liaison la concernant, telles par exemple les pressions dans un fluide. Aussi a-t-il critiqué vivement les géomètres qui, avec Poisson, remplacent dans l'exposé des principes les forces de liaison, telles que les envisageait Lagrange, par des actions moléculaires. Les relations analytiques traduisant les liaisons imposées aux diverses parties d'un système par sa constitution avaient, semble-t-il, pour Duhem plus de réalité que les atomes et les molécules. C'est toujours la même tendance d'esprit que nous retrouvons dans toutes les parties de son œuvre.

Je ne puis que rappeler ses études sur la stabilité de l'équilibre des corps flottants dans un liquide compressible, comprenant dans le cas particulier des liquides homogènes la solution énoncée par Bravais et rigoureusement établie avec tant d'élégance par Guyou. La question des ondes est capitale dans la Dynamique des fluides. On sait que des propagations d'onde sont possibles dans des fluides parfaits. Au contraire, comme l'établit Duhem, la propagation d'aucune onde n'est possible dans un fluide visqueux, quelle qu'en soit la viscosité; on n'y peut observer que des quasi-ondes correspondant à des couches plus ou moins minces, mais ne donnant lieu à aucune discontinuité. La notion des quasi-ondes joue aussi un rôle essentiel dans l'étude des ondes de choc. « Comme l'air est visqueux, conclut Duhem, aucune onde de choc proprement dite ne peut s'y propager; mais, comme il est peu visqueux, il s'y peut propager une quasi-onde de choc, c'est-à-dire une couche peu épaisse, au travers de laquelle la vitesse varie très rapidement, sans être cependant discontinue ». Non moins remarquables sont les phénomènes qui se produisent dans un fluide visqueux en contact avec des solides, phénomènes d'où il résulte que des tourbillons peuvent naître dans un fluide visqueux partant du repos, comme M. Boussinesq l'avait remarqué dans un cas particulier.

L'énergétique de Duhem n'a pas apporté une moindre extension à la théorie classique de l'élasticité. Elle a lui permis de poser les lois

des actions de viscosité dans un corps élastique en mouvement. En particulier, au sein d'un milieu affecté de viscosité, qu'il soit vitreux ou cristallisé, aucune onde véritable ne peut se propager; on peut seulement y observer des ondes-cloisons, séparant les unes des autres les mêmes masses, cloisons au travers desquelles les composantes de la vitesse n'éprouvent pas de discontinuités. Divers physiciens, comme on sait, ont observé dans des milieux vitreux, où des courants sont engendrés par de grandes différences de température, des divisions en cellules persistantes, ce qui confirme la théorie de Duhem.

La statique et la dynamique chimique ont fait l'objet de travaux étendus de notre confrère. Convaincu que la Thermodynamique peut seule imposer un ordre rationnel à certains chapitres très confus de la Chimie, il publia en un gros volume des leçons élémentaires de *Thermodynamique et Chimie*. Comme il le déclare au début « L'union de la Thermodynamique et de la Chimie s'est accomplie en France au laboratoire de l'immortel Henri Sainte-Claire Deville », mais les lois de la statique chimique ont été posées d'abord en Amérique par Gibbs dans des Mémoires célèbres, dont nous avons déjà parlé. La pensée, souvent trop concise du savant américain, a fait l'objet de nombreux commentaires; Duhem est un de ceux qui ont le plus contribué à donner une forme définitive à cette doctrine. Il a particulièrement développé cette loi des phases que l'on regarde comme une des règles directrices les plus précieuses de la chimie moderne, la complétant en un point important relatif aux valeurs que prend la masse de chacune des phases, suivant que, outre la température, le volume ou la pression du système est donné. Dans les applications de la Thermodynamique à la Chimie, un des soucis constants de Duhem a été d'utiliser les inégalités qui expriment la stabilité de l'équilibre et fixent le sens des déplacements, inégalités auxquelles il a rattaché, sous une forme très générale, les lois célèbres du déplacement de l'équilibre, entrevues par Gibbs et portant les noms de M. Le Chatelier et de Van't Hoff. Il les emploie aussi dans de nombreuses questions particulières, telles que

les mélanges doubles, la liquéfaction des mélanges gazeux, la vaporisation et la congélation des dissolvants.

Aux inégalités exprimant la stabilité se rattachent encore les études de Duhem sur l'équilibre et le mouvement des fluides mélangés. L'énergétique fournit une méthode générale et régulière pour établir la théorie du mouvement d'un nombre quelconque de tels fluides. Certaines grandeurs, qui n'avaient pas d'analogues dans la théorie d'un fluide unique, s'introduisent alors, donnant l'explication de divers phénomènes observés, comme les différences de concentration entre les diverses parties d'un mélange immobile, quand celles-ci sont inégalement chauffées.

Duhem attachait une grande importance à ses travaux sur le frottement et les faux équilibres. D'après lui, en dehors des états d'équilibre prévus par la Thermodynamique, qu'on pourrait appeler *états de véritable équilibre*, il existe des états d'équilibre contredisant aux prévisions de la Thermodynamique : ce sont les *états de faux équilibre*. Ceux-ci se partagent eux-mêmes en faux équilibres *apparents* et en faux équilibres *réels*. Les premiers rentrent dans ceux que prévoit la Thermodynamique, pourvu que, en appliquant ses principes, on tienne compte des termes proportionnels aux surfaces de contact des diverses phases; ces considérations sont notamment applicables aux retards d'ébullition, à la surfusion des liquides, à la sursaturation des dissolutions salines. Ces faux équilibres apparents, quelquefois appelés *métastables*, peuvent être détruits par un déclenchement, correspondant à un travail négligeable, comme il arrive pour une dissolution sursaturée. Mais il existe aussi, pour Duhem, des cas de faux équilibres réels, et ses opinions à ce sujet ont suscité des critiques assez vives. Certains physico-chimistes professent que la Thermodynamique, sous sa forme classique, donne les conditions nécessaires et suffisantes pour l'équilibre d'un système chimique, et que les cas paraissant faire exception correspondent à des réactions extrêmement lentes. Ainsi un grand nombre de composés du carbone, qui semblent être à l'état de faux équilibre, se transformeraient

en réalité avec une lenteur pour ainsi dire infinie; le diamant, par exemple, ne cesserait de brûler dans l'air, sans que l'altération produite ternisse l'éclat des facettes. L'expérience ne peut évidemment trancher la question ainsi posée. Mais Duhem trouvait plus fécond le point de vue auquel il s'était placé, et il a étudié des cas intéressants qu'il jugeait présenter des exemples de faux équilibre, tels certains corps susceptibles d'exister à l'état solide sous deux formes cristallines différentes, et des substances présentant la forme vitreuse et la forme cristallisée; pour lui, les faux équilibres chimiques ne sont pas des faits exceptionnels, mais sont de règle, quoique souvent voisins de l'état de véritable équilibre. D'une manière générale, dans un système capable de faux équilibre, les conditions d'équilibre s'expriment non par des égalités, mais par des inégalités, et ce caractère établissait pour Duhem un rapprochement étroit entre les systèmes chimiques capables de faux équilibres réels et les systèmes mécaniques doués de frottement. Dans un ordre d'idées analogue, il rattachait l'inégalité célèbre de Clausius au travail de la viscosité et du frottement, et il regardait la Thermodynamique classique comme la théorie des systèmes ne présentant pas de résistances passives.

D'importantes contributions ont été apportées par Duhem, à la dynamique chimique. Nous avons déjà fait allusion, en étudiant ses travaux sur l'énergétique générale, au cas particulier envisagé par lui des variables sans inertie. Par rapport à ces variables, les équations différentielles sont seulement du premier ordre et non du second. Ce cas est extrêmement intéressant pour la Chimie, où les variables sont le plus souvent sans inertie; les transformations ne dépendent alors que de l'état actuel du système. Outre la vitesse des réactions, il y a lieu souvent d'envisager ainsi l'accélération des réactions; Duhem en fait une étude systématique, et l'examen des réactions, dont l'accélération est positive et qui sont accompagnées d'une élévation de température, lui permet de poser les bases rationnelles de la dynamique des explosifs. Il indique aussi la voie pour mettre en équations le problème de la propagation du mouvement dans un fluide, qui peut

être le siège d'une réaction ; l'étude de cette difficile question a été poursuivie avec succès par plusieurs de ses élèves, qui ont regardé l'onde explosive comme une onde de choc déterminant une réaction au sein d'un milieu en faux équilibre chimique.

Duhem a écrit de nombreux Mémoires et plusieurs Ouvrages sur l'électricité et le magnétisme. Dans ces travaux, il est resté en dehors du mouvement des recherches modernes caractérisées par les théories corpusculaires. Fidèle à sa pensée constante, il demande à l'énergétique l'édification des théories électriques, mais l'énergétique des systèmes électrisés est compliquée par le fait que, pour obtenir l'énergie totale, il faut en général envisager, en dehors de l'énergie cinétique et de l'énergie interne, une nouvelle forme d'énergie : l'énergie électrodynamique ; la loi de Joule et les lois de l'induction permettront de la déterminer. En électrodynamique et électromagnétisme, Duhem est ainsi conduit à l'électrodynamique de Helmholtz, plus générale, à cause d'un paramètre arbitraire qu'elle renferme, que celle de Maxwell qui n'en est qu'un cas particulier ou plus exactement un cas limite. Sa critique de l'œuvre de Maxwell était impitoyable : que de fois il a répété que les équations de Maxwell ne permettaient pas l'existence des aimants. Il admirait au contraire la théorie de Helmholtz, dont il a fait des applications variées et qu'il a complétée en plusieurs points, théorie ne conduisant à aucune contradiction, et susceptible, comme celle de Maxwell, d'expliquer la théorie électromagnétique de la lumière et les expériences de Hertz. La théorie du physicien allemand, plus compliquée que celle de Maxwell, admet, dans les corps conducteurs comme dans les milieux électriques, la possibilité de flux longitudinaux aussi bien que de flux transversaux, et Duhem, semble-t-il, pensait que ces flux variés expliqueraient certains phénomènes restés obscurs. Notre confrère ne se dissimulait pas d'ailleurs que, en combattant la théorie de Maxwell, il prêchait dans le désert, mais il n'en était pas découragé, comme en témoignent les lignes suivantes : « On reconnaîtra un jour que l'œuvre électrodynamique de Helmholtz était vraiment une belle œuvre, et que nous avons bien fait de nous y tenir ; la logique peut être

patiente, car elle est éternelle ». Pour le moment, la théorie de Helmholtz paraît bien lointaine, et les théories atomiques de l'électricité, contenant d'ailleurs comme celle de Maxwell plus d'une contradiction, entraînent aujourd'hui la Physique avec une vitesse vertigineuse dans des voies nouvelles. De quoi demain sera-t-il fait ?

Il est des cas où l'énergie électrodynamique est constante, par exemple quand un système immobile est le siège de courants permanents. On peut alors appliquer les propositions de l'énergétique ordinaire. C'est ce que Duhem a fait dans diverses publications relatives aux courants termo-électriques, à l'équilibre magnétique et à la polarisation des diélectriques. Il trouvait ainsi l'occasion d'introduire dans des théories assez disparates la coordination que seule, d'après lui, peuvent établir dans la science les principes généraux de l'énergétique.

VII.

Telle est, sommairement esquissée, l'œuvre de Pierre Duhem en Mécanique, en Physique et en Chimie. Elle présente une remarquable unité due à ses idées très arrêtées sur ce qu'il faut entendre par une théorie physique. De ces idées, nous avons trouvé l'expression dans ses Mémoires spéciaux, mais il tint à les exposer et à les développer dans des ouvrages susceptibles d'être lus par tous ceux qu'intéresse la philosophie des sciences.

Se propose-t-on dans une théorie physique de donner une explication des phénomènes, c'est à dire de déchirer le voile des apparences sensibles et de montrer la réalité face à face ? C'est là une question à laquelle ont prétendu répondre affirmativement maintes écoles philosophiques ; tel était notamment l'avis des atomistes et des cartésiens. Chez ceux-ci, un fluide continu, dont certaines parties sont animées de mouvements tourbillonnaires, forme le monde, tandis que ceux-là regardent la matière comme composée de petits corps durs et rigides. Les uns et les autres, pensait Duhem, mettent leur théorie sous la dépendance d'une métaphysique.

La lutte fut souvent vive entre les écoles, que Duhem qualifie de cosmologiques. C'est ainsi que Huygens écrivait à Leibnitz : « Pour ce qui est de la cause du reflux que donne M. Newton, je ne m'en contente nullement, ni de ses autres théories qu'il bastit sur son principe d'attraction qui me paraît absurde ». L'accusation de faire appel à des causes occultes est une des plus graves que se lançaient les savants de ce temps. En fait, et Duhem y insiste fortement, on ne peut d'un système métaphysique tirer tous les éléments nécessaires à la construction d'une théorie physique; toujours au fond des explications qu'elle prétend donner, il reste de l'inexpliqué.

Dans son Livre sur la théorie physique, Duhem trace d'une plume sévère le tableau des incohérences et des impuissances offertes, à travers les âges, par les tentatives d'explications en physique. Ce spectacle qui l'éloigne des cartésiens et des atomistes, va-t-il le jeter en un empirisme, teinté de scepticisme, ne voyant dans la science qu'un recueil de recettes et qu'une collection d'observations précises, ou bien se réfugiera-t-il, avec Henri Poincaré, dans la théorie de la commodité? Nullement, il estime que, sans théorie physique, il n'y a pas de physique. Une de ses conclusions est ainsi formulée : *Une théorie physique n'est pas une explication; c'est un système de propositions mathématiques, qui ont pour but de représenter, aussi simplement, aussi complètement et aussi exactement que possible, un exemple de lois expérimentales.*

Nous avons vu avec quelle brutalité, si j'ose dire, Duhem pose dans sa Thermodynamique générale les principes qu'on peut appeler *hypothèses*, au sens étymologique du mot, et qui sont les véritables fondements de la théorie. Il ne craint pas d'écrire que ces hypothèses peuvent être formulées d'une manière arbitraire, sous la seule condition qu'il n'y ait pas entre elles de contradictions logiques. C'est seulement après que l'Analyse mathématique a tiré, suivant ses règles propres, les conséquences des principes posés, qu'il y a lieu de voir si celles-ci sont conformes à l'expérience. L'accord avec l'expérience est pour une théorie physique l'unique critérium de vérité, mais une

théorie vraie ne doit pas avoir la prétention de donner des apparences physiques une explication conforme à la réalité.

Cependant, une théorie physique n'est pas seulement une représentation économique des lois expérimentales ; elle est encore une classification de ces lois. Ainsi dans une théorie optique la vibration d'un éther, dont l'existence importe peu, est pour nous une représentation, et non une explication, et cette représentation conduit à une classification qui met de l'ordre dans l'ensemble si touffu des phénomènes lumineux.

Mais en quoi, demandera-t-on, Duhem se distingue-t-il de ceux qui, sous une forme ou une autre, n'envisagent la science que du point de vue pragmatique ? C'est ici qu'il prend une position personnelle. En se perfectionnant, pense-t-il, la théorie physique prend peu à peu les caractères d'une classification naturelle ; ce qu'il exprime ainsi « Plus la théorie se perfectionne, plus nous pressentons que l'ordre logique, dans lequel elle range les lois expérimentales, est le reflet d'un ordre ontologique ». Cette croyance en ce que la théorie doit devenir le reflet de plus en plus précis d'une métaphysique est encore accrue par le fait que la théorie a souvent devancé l'expérience, circonstance rendant très vraisemblable qu'elle n'est pas un système purement artificiel, et que, sans pouvoir saisir la réalité au-dessous des phénomènes, notre raison est capable cependant d'établir entre des notions abstraites des relations correspondant à des rapports vrais entre les choses.

Tel est le terme extrême de la philosophie scientifique de Duhem. Il semble qu'il y arriva lentement, ses vues sur la théorie physique ayant eu d'abord un caractère plus formel. Sa physique, d'abord purement descriptive et symbolique, devint asymptote à une métaphysique. Peut-être l'évolution de sa pensée fut-elle hâtée par les prétentions de certaine conception pragmatique de la vérité, dont un philosophe illustre a résumé l'essentiel sous la forme suivante : « Tandis que pour les autres doctrines une vérité nouvelle est une *découverte*, pour le pragmatisme c'est une *invention* », c'est-à-dire qu'on ne découvre pas la

vérité, mais qu'on l'invente. Quelque parti que certaine école pragmatiste ait pu tirer des analyses de Duhem, il ne se rattache pas à elle, comme le montre l'évolution finale de ses idées.

Je ne peux pas entrer ici dans la discussion d'une pensée parfois subtile, mais que de pages brillantes seraient à citer dans son Ouvrage intitulé : *La théorie physique, son objet, sa structure*, livre d'une haute portée scientifique, et véritable œuvre d'art par la vie et la passion qui l'animent. Avec quelle vigueur Duhem s'efforce de montrer que, quand une partie explicative et une partie représentative se sont trouvées mêlées dans une théorie, ce n'est pas à la partie explicative, simple parasite, que la théorie doit sa fécondité. Un jour ou l'autre, l'explication s'écroule, et les mécanismes hypothétiques deviennent des embarras et des entraves ; seule reste la part de classification naturelle.

La méthode inductive, seule féconde aux yeux de tant d'expérimentateurs, a été l'objet des critiques de Duhem. Il est, suivant lui, chimérique de croire que les hypothèses, à partir desquelles la théorie déroule ses conclusions, puissent être tirées une à une de l'expérience et de l'observation par induction et généralisation. C'est pourquoi une expérience de physique ne peut jamais condamner une hypothèse isolée, mais seulement tout un ensemble théorique ; aussi ne peut-il pas y avoir d'*experimentum crucis*.

L'énergétique de Duhem nous a offert plus haut un exemple de la manière dont il posait *a priori* les principes. Cette prétention apparente à deviner la nature a troublé plus d'un lecteur de ses *Commentaires sur les principes de la thermodynamique*, mis en méfiance par le peu de part que l'expérience semble avoir dans l'élaboration de la théorie, et cet édifice logico-mathématique a pu provoquer quelque agacement par son arbitraire au moins apparent.

Et puis les partisans de l'énergétique ne sont-ils pas bien ingrats envers le mécanisme, en qui se trouve la première origine du principe de la conservation de l'énergie, et qui a maintes fois suggéré la forme de certaines fonctions restant indéterminées dans les équations générales.

Duhem au fond, était moins intransigeant qu'il ne le semble d'après plusieurs de ses écrits. On ne peut pas douter, quand on le voit proclamer que la méthode légitime, sûre et féconde pour préparer un esprit à recevoir une hypothèse physique, est la méthode historique. « Pourquoi ne préparerions-nous pas, écrivait-il un jour, l'entrée de chaque hypothèse dans l'enseignement par un exposé sommaire, mais fidèle, des vicissitudes qui ont précédé son entrée dans la Science. » Rien n'est plus juste.

Il y a quelque vingt ans, sévissait une querelle entre l'École qu'on a appelé du nom barbare de *mécanistique* et l'École *énergétique*. On a reproché aux énergétistes leur peu de curiosité; ils ne tiennent pas à savoir ce qui se passe derrière le mur. L'énergétique pure, telle que l'entendait Duhem, est une science austère, drapée dans ses symboles, ne se permettant aucune image et aucun modèle; c'est une science d'algébriste. A ce point de vue, notre confrère est resté rigoureusement énergétiste. Le brillant développement des écoles néo-atomistes, qui mettent à la base de leurs explications des ions et des électrons, ne le fascinait pas. Il restait persuadé que des ruines de ces théories sortirait un jour une théorie représentative, conçue à la manière de la Thermodynamique générale.

Pour beaucoup aujourd'hui, ces querelles d'écoles ont perdu de leur intérêt. On peut penser que la meilleure manière d'exposer les parties de la science très élaborées est la forme préconisée par l'énergétique, où l'on commence par poser les principes semblant définitivement acquis, autant du moins qu'il y a dans la science quelque chose de définitif. Mais il faut reconnaître que, dans les questions parvenues à un moindre degré d'avancement, les théories explicatives stimulent davantage la recherche, rendant la science plus vivante et plus attrayante. En fait, énergétique et mécanistique se mêlent le plus souvent aujourd'hui dans les travaux des savants. Il ne faut pas mutiler l'esprit humain dans l'effort immense qu'il a à accomplir pour débrouiller l'effroyable complication des phénomènes naturels.

VIII.

Les vues systématiques de Duhem ne l'empêchaient pas d'analyser avec pénétration les variétés que présentent les esprits vigoureusement développés. Chez les uns, prédomine la faculté de concevoir des idées abstraites et d'en raisonner, tandis que la faculté d'imaginer des objets concrets est surtout développée chez les autres. Ceux-là, qu'on peut dénommer *abstraites*, se plaisent à la réduction des faits en lois et des lois en théories, tandis que ceux-ci, incapables de généralisations et de longues déductions, mais doués d'une vive imagination, saisissent d'une seule vue un ensemble compliqué d'objets, pourvu que ces objets tombent sous les sens. C'est la distinction de Pascal qui a écrit dans les *Pensées* « Il y a donc deux sortes d'esprit ... L'un est force et droiture d'esprit, l'autre est amplitude d'esprit. Or l'un peut être sans l'autre l'esprit pouvant être fort et étroit, et pouvant être aussi ample et faible. »

Duhem, comme Taine, range parmi les esprits imaginatifs Napoléon, qui avait horreur de l'abstraction et de la généralisation, tandis que sa faculté imaginative était prodigieuse d'amplitude et de précision. L'amplitude d'esprit domine aussi chez un Saint-Simon dans ses Mémoires, et un Balzac dans sa Comédie humaine. Mais on éprouve quelque étonnement, quand on voit Duhem affirmer que l'amplitude d'esprit constitue le génie propre de maint géomètre et de maint algébriste qu'on serait tenté de classer ailleurs; c'est que Duhem a surtout en vue le côté formel de la science mathématique, je veux dire la manœuvre de symboles algébriques, qui exige en effet une aptitude à se représenter des combinaisons complexes formées avec certains signes visibles. Au contraire un Euclide et un Archimède dans l'antiquité, un Lagrange dans les temps modernes se rangeront parmi les esprits forts et étroits, chez lesquels domine la puissance d'abstraire.

Dans toutes les nations se rencontrent des hommes à l'esprit ample mais faible. Toutefois il est un peuple où cet esprit prédomine à un

point extraordinaire : c'est le peuple anglais. Romanciers et philosophes en fournissent abondamment la preuve, Dickens et Georges Elliot comme Locke et Hume. La méthode de Bacon, modèle de l'amplitude et de la faiblesse de l'esprit anglais, s'oppose à la méthode de l'esprit fort mais étroit que fut souverainement Descartes. Le même caractère se marquerait chez nos voisins d'Outre-Manche dans la politique et la vie sociale, mais revenons à la physique.

La physique anglaise a inspiré à Duhem des pages quelque peu sévères. Il appréciait certes le génie des grands physiciens de l'Angleterre, mais on peut dire que leurs conceptions d'une théorie physique étaient à l'antipode des siennes. Le physicien anglais aime à voir des images tangibles des phénomènes ; il crée des modèles et en change au besoin, pendant qu'il étudie un même ordre de questions. Rien n'était plus loin des idées de Duhem toujours obsédé par le souci de l'unité logique, et pour qui une théorie forme un tout exempt de contradictions. Deux théories contradictoires lui étaient insupportables, et il n'espérait pas, comme Henri Poincaré, qu'il pourrait sortir quelque utile suggestion de leurs contradictions.

Je crois bien que Duhem reconnaissait que le besoin d'enchaîner logiquement ses déductions donne parfois au chercheur une prudence excessive, et qu'une certaine témérité d'esprit peut favoriser l'invention ; mais il estimait que les trouvailles ainsi faites sont peu de chose à côté des découvertes qu'ont permis de réaliser les théories abstraites. On pourrait discuter là-dessus, et les travaux actuels sur la constitution de l'atome, où domine une imagination puissante, sembleraient peut-être défavorables à la thèse de Duhem. Quoi qu'il en soit, nous pouvons répéter ici ce que nous disions tout à l'heure à propos des théories explicatives ; il faut distinguer entre la forme plus ou moins définitive à donner à des doctrines très élaborées et les méthodes de recherches dans lesquelles l'esprit souffle où il veut.

IX.

Duhem a consacré une grande partie de son labeur à l'histoire des sciences. Celle-ci n'était pas pour lui un simple objet de curiosité, car il pensait qu'on ne peut avoir une idée juste sur la science, si l'on se borne à la considérer dans son état actuel. Il était en même temps capable de faire œuvre d'érudit, qui remonte aux sources, compulse et compare les manuscrits, examine les écritures et propose des corrections de textes.

Ses deux Volumes sur les origines de la Statique témoignent d'une réelle maîtrise dans ce genre d'études. Duhem nous montre les deux impulsions que la Statique a reçues dès l'origine. Dans l'une, apparaît la tendance d'Archimède où l'on cherche à construire une Statique entièrement indépendante de la Dynamique sur le modèle des éléments d'Euclide, en ramenant par une analyse patiente les cas les plus complexes aux équilibres simples et élémentaires; l'autre source, essentiellement synthétique, peut être rattachée à Aristote.

Duhem, en étudiant l'histoire de cette seconde tendance, met en évidence le rôle au XIII^e siècle de l'École d'un certain Jordanus de Nemore, né suivant lui à Nemi en Italie, et chez qui il aperçoit une ébauche de la méthode des travaux virtuels. Jordanus et ses successeurs postulent en effet que « ce qui peut élever un certain poids à une certaine hauteur peut aussi élever un poids n fois plus grand à une hauteur n fois plus petite ». Il est assurément remarquable de trouver dans cette École du moyen âge un appel incontestable au principe que Descartes prendra pour fondement de la Statique, et qui, grâce à Jean Bernoulli et à Lagrange, deviendra la proposition fondamentale de la science de l'équilibre.

Un historien italien, M. Vailati, a depuis retrouvé la première origine de la méthode des déplacements virtuels dans Héron d'Alexandrie, qui vivait au temps de l'astronome Ptolémée. Quoi qu'il en soit, Duhem montre combien fut considérable l'influence exercée par Jordanus et

un de ses disciples, qu'il appelle le Précurseur de Léonard de Vinci; aucun doute ne peut subsister sur la filiation scientifique du grand artiste avec l'École du XIII^e siècle. Les écrits de l'École de Jordanus furent effrontément pillés au XVI^e siècle; l'idée de propriété scientifique manquait en ce temps, et la difficulté de découvrir les démarquages dans des textes parfois obscurs vient compliquer singulièrement la tâche de l'historien.

C'était pour Duhem une joie de rendre justice aux inconnus ou aux anonymes, et d'apercevoir *dans la nuit du moyen âge* non seulement des lueurs éparses, mais des flambeaux qui ont passé de main en main. Voici la conclusion de ses Volumes sur la Statique, conclusions qui se retrouvent dans d'autres Ouvrages de notre confrère : « *La Science dont s'enorgueillissent à bon droit les temps modernes, écrit-il, 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 stériles; le respect de la tradition est une condition essentielle du progrès scientifique.* »

J'ai hâte d'ajouter que, malgré ses sympathies pour les précurseurs, Duhem n'en rend pas moins à Descartes une éclatante justice, en insistant, avec plus de force et de précision qu'on ne l'avait fait jusqu'ici, sur ce que le grand philosophe a vu le premier dans la notion du *travail* le concept fondamental de la Mécanique. Descartes a aussi affirmé, ce que nul n'avait explicitement énoncé avant lui, l'obligation d'appliquer le principe des déplacements virtuels à un déplacement infiniment petit.

Un Ouvrage de Duhem en trois volumes est consacré à *Léonard de Vinci*, à ceux qu'il a lus et à ceux qui l'ont lu. Il y étudie d'abord patiemment les notes de Léonard, montrant qu'en lui viennent se condenser, se transformer, vivre d'une vie nouvelle en quelque sorte, la science hellène et la science du moyen âge; et il s'efforce de suivre

la pensée du Vinci jusqu'à Roberval, jusqu'à Descartes, jusqu'à Pascal, jusqu'à ce qu'elle prenne une forme définitive et classique. Je crois bien que le volume qu'il a écrit avec le plus d'amour est le troisième portant pour épigraphe « *Ad majorem gloriam mechanicae nostrae scientiae vere genetricis, Facultatis artium quae in Universitate Parisiensi XIV^o saeculo florebat* ». Duhem y montre l'éclat dont a brillé l'Université de Paris au XIV^e et au XV^e siècle, époque de vie intellectuelle intense, où l'influence des doctrines parisiennes fut considérable sur les enseignements des Universités d'Allemagne, d'Angleterre, d'Italie et d'Espagne.

On a souvent regretté que les maîtres de ce temps n'aient pas eu le sentiment plus développé du réel, et que, surtout logiciens, ils n'aient pas su expérimenter. Il semble cependant que les projets d'expérience ne leur ont pas manqué, mais leur technique était insuffisante; c'est qu'en effet les progrès des sciences expérimentales sont liés à ceux de la technique. D'autre part les théories ne pouvaient alors que rarement être exprimées en un langage mathématique permettant d'arriver à quelque prévision numérique.

La Dynamique d'Aristote reposait sur l'axiome que nul mouvement ne peut durer, s'il n'est entretenu par l'action continuelle d'une puissance motrice directement et immédiatement appliquée au mobile. Dans la flèche qui vole après avoir quitté l'arc, le grand philosophe croit trouver cette puissance dans l'air ébranlé. Cette hypothèse, qui nous semble absurde, fut admise presque unanimement par les physiciens de l'antiquité. Une exception est cependant à signaler. Aux dernières années de la philosophie grecque, un chétien d'Alexandrie, Jean Philopon, s'inscrivait contre la doctrine peripatéticienne du mouvement des projectiles; la flèche, d'après lui, continue à se mouvoir, sans qu'aucun moteur lui soit appliqué, parce que la corde de l'arc y a engendré une énergie *cinétique* (c'est l'équivalent du terme dont se servait Philopon), qui joue le rôle de vertu motrice. Les commentateurs arabes, comme Averroës, et le moyen âge chrétien à ses débuts,

dans leur admiration naïve pour Aristote, n'eurent que du mépris pour la doctrine de Philopon; Saint Thomas d'Aquin ne la mentionne que pour la réfuter, très maladroitement d'ailleurs.

X.

Vers la fin du XIII^e siècle, une réaction se produisit contre la philosophie hellène. Etienne Tempier, évêque de Paris, condamne en 1277 trois cents propositions péripatéticiennes ou néo-platoniciennes, ce qui fait dire à Duhem que les condamnations théologiques, alors formulées, ont ouvert la brèche par laquelle notre Mécanique et notre Physique ont passé.

Peu après, vers le milieu du XIV^e siècle, un maître de génie Jean Buridan reprend les idées de Philopon. L'énergie communiquée au projectile, il l'appelle l'*impetus*, et de la théorie de l'*impetus* il fait la base d'une dynamique nouvelle. Jean Buridan n'était pas un inconnu, mais il faut avouer que la dynamique ne jouait aucun rôle dans sa notoriété. Si l'on en croyait Villon dans la ballade des *Dames du temps jadis*, il aurait été à deux pas d'ici, le complice et la victime d'une reine de France :

Semblablement, où est la Royne,
Qui commanda que Buridan,
Fut jetté en ung sac en Seine.
Mais où sont les neiges d'Antan.?

et cette fable alimenta un mélodrame longtemps populaire sur la Tour de Nesles. Son nom est aussi attaché à un curieux argument pour ou contre (on ne l'a jamais su) la liberté d'indifférence; mais Duhem n'en a pas trouvé trace dans les écrits de Buridan, et les hésitations de l'âne affamé entre deux bottes de foin identiques semblent aussi légendaires que les amours du philosophe et de Jeanne de Bourgogne.

Buridan était né à Béthune vers 1300. De bonne heure sa renommée fut grande, et en 1327 il était déjà recteur de l'Université de Paris.

C'est à un manuscrit du fonds latin de la bibliothèque nationale, traduit et commenté par lui, que Duhem emprunte un exposé de la Dynamique de Buridan. D'après celle-ci, l'*impetus* demeurerait sans changement dans le projectile lancé, s'il n'était incessamment modifié par la résistance du milieu et l'action de la pesanteur. Traduisant en langage moderne, nous pouvons dire que Buridan regarde l'*impetus* comme le produit de deux facteurs : la masse et une fonction croissante de la vitesse. Prudemment, il ne précise pas cette fonction que Galilée et Descartes admettront, à tort, proportionnelle à la vitesse, tandis que Leibnitz la regardera comme égale au carré de celle-ci ; de la notion de l'*impetus* devaient donc sortir un jour la *quantité de mouvement* et la *force vive*. La dynamique du philosophe de Béthune ne s'applique pas seulement au mouvement des graves. Il s'élève à la loi de l'inertie ; aussi peut-il esquisser une mécanique céleste toute nouvelle. « Il n'est pas nécessaire, professait Buridan, de poser l'existence d'intelligences qui meuvent les corps célestes d'une manière appropriée ; bien plus, il n'est pas nécessaire que Dieu les meuve, si ce n'est sous la forme d'une influence générale, de cette influence par laquelle nous disons qu'il coopère à tout ce qui est ». L'audace était grande de proclamer inutiles les intelligences motrices des orbés célestes, qui jouaient un rôle important dans la physique péripatéticienne. Aussi Duhem n'hésite-t-il pas à écrire : « Si l'on voulait, par une ligne précise, séparer le règne de la science antique du règne de la science moderne, il la faudrait tracer, croyons-nous, à l'instant où Jean Buridan a conçu cette théorie, à l'instant où 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 ».

Parmi les disciples de Buridan figurent, au premier rang, Albert de Saxe qui enseigna qu'un système pesant est en équilibre quand son centre de gravité est le plus bas possible, et aussi Nicole Oresme, grand maître du Collège de Navarre en 1356, et plus tard évêque de Lisieux. Celui-ci fut à la fois un précurseur de Copernic par les vues qu'il émit

sur le rôle de la Terre et des planètes, et de Descartes par l'usage qu'il fit des principes essentiels de la Géométrie analytique. Il connaissait aussi la loi liant les espaces au temps dans un mouvement uniformément accéléré, mais peut-être la tenait-il de l'école alors célèbre des logiciens d'Oxford.

Les idées des *Parisiens* furent combattues par les Averroïstes italiens du xv^e siècle. Léonard de Vinci comprit au contraire leur importance et s'appliqua à les développer. Par l'étude de l'impeto composé, il tente le premier l'explication de la trajectoire curviligne des projectiles, qui recevra son achèvement de Galilée et de Torricelli. Quant à Galilée, Duhem nous le montre d'abord attaché longtemps aux doctrines anciennes, et il étudie ensuite les ouvrages dont la lecture l'initia à la dynamique et à la cinématique des Buridan, des Albert de Saxe et des Nicole Oresme. La filiation n'est pas douteuse; les maîtres de l'École parisienne ont posé les fondements de la Mécanique que développeront Galilée et ses disciples. Il est cependant un côté de l'œuvre de Galilée, qu'un admirateur plus enthousiaste du grand Florentin aurait mis en évidence; c'est le côté expérimental. A la place d'expériences qualitatives des maîtres des siècles précédents surtout préoccupés de l'examen logique et philosophique des hypothèses, on trouve chez le physicien de Florence des expériences quantitatives sur le plan incliné et le pendule. Mais Duhem se proposait surtout de montrer, dans son Ouvrage, la continuité entre la science du moyen âge et celle des temps modernes, et on ne peut nier qu'il y ait brillamment réussi.

XI.

Entre temps, Duhem écrivait avec une extraordinaire facilité de très nombreux articles sur des sujets variés d'histoire des sciences. Citons au moins quelques-uns d'entre eux qui montrent bien la manière du savant historien. Il y a en hydrostatique un principe qui porte le nom de Pascal. Ce principe est-il vraiment dû à Pascal? Avant lui, Stevin de Bruges, le père Mersenne, Descartes, Galilée, Torricelli,

avaient écrit sur l'équilibre des fluides et, dans son célèbre *Traité sur l'équilibre des liqueurs*, ne se trouve aucune vérité qui n'ait été aperçue de quelques-uns de ces auteurs. Faut-il conclure que l'œuvre de Pascal est sans originalité? Duhem proteste ici avec vigueur. Les principales vérités qui constituent l'hydrostatique avaient été découvertes, mais elles n'avaient pas été ordonnées et reliées les unes aux autres. Pascal fut cet organisateur, en rattachant le tout au principe des déplacements virtuels, et notre confrère termine son article en citant un mot de Pascal sur « l'ordre et le peu de gens qui l'entendent », et il ajoute avec quelque mélancolie : « Les physiciens prodiguent volontiers aujourd'hui les témoignages de leur admiration à toute découverte d'un fait nouveau ou d'une loi imprévue, mais ils semblent priser à très bas prix les efforts de ceux qui souhaitent mettre de l'ordre et de la méthode dans le monceau des faits que d'autres ont découverts, qui cherchent à déduire logiquement d'un petit nombre de principes la multitude des lois formulées par les inventeurs ».

Dans ses études historiques Duhem a souvent rencontré le nom du père Mersenne qui, au xvii^e siècle correspondait avec tous les savants de son temps, et dont Pascal disait qu'il n'avait pas d'égal pour poser de belles questions. Qui a imaginé le premier la célèbre expérience du Puy de Dôme avec le baromètre? Est-ce Pascal, est-ce Descartes? La question a donné lieu en 1906 à des débats passionnés. Pour Duhem celui qui a projeté le premier cette expérience, c'est le père Mersenne. Certes, cette expérience très facile à imaginer après les découvertes de Torricelli, a pu être conçue par Pascal, par Descartes et par d'autres. Mais le premier écrit, où elle se trouve proposée, est un livre du père Mersenne, paru le 1^{er} octobre 1647; l'expérience du Puy de Dôme a été faite le 19 septembre 1648. Il faut ajouter que par les temps d'improbabilité scientifique que furent le xvi^e et le xvii^e siècle, la figure du père Mersenne apparaît, comme dit Duhem, auréolée de loyauté. Contrairement à ceux, très nombreux, qui faisaient grand étalage d'érudition, mais énuméraient seulement les Ouvrages auxquels ils ne devaient rien, on en rencontre d'ailleurs dans tous les temps,

l'honnête religieux a toujours cité scrupuleusement ceux dont il s'inspire.

Dans une étude importante consacrée à l'*Optique de Malebranche*, Duhem a voulu réparer une de ces erreurs dont n'est que trop coutumière l'histoire des sciences. Pour beaucoup, l'oratorien est le célèbre disciple de Descartes, qui a poussé les idées du philosophe plus loin sans doute que celui-ci n'aurait voulu qu'on les poussât, comme en témoigne la *Vision en Dieu*. Mais ici nous devons nous rappeler que, en 1699, peu de temps après avoir été nommé académicien honoraire dans notre Compagnie, Malebranche lisait un Mémoire intitulé : *Réflexions sur les lumières et les couleurs et la génération du feu*, qui est imprimé dans nos recueils. Or c'est là qu'a été émise pour la première fois l'hypothèse que la période de la vibration caractérisait la couleur d'une lumière monochromatique, l'éclat de la couleur croissant avec l'amplitude de cette vibration. Malebranche, après avoir d'abord suivi Descartes, s'était, après la découverte de Rømer sur la vitesse finie de la lumière, rallié au système de Huyghens; mais le grand hollandais n'avait rien dit sur les couleurs. Il est vraiment étrange qu'aucun historien n'ait, avant Duhem, revendiqué les droits du philosophe à la paternité de ces idées fondamentales. « Malebranche fut un modeste, conclut Duhem, aussi lui arriva-t-il ce qui advient trop souvent aux modestes; on admit les idées qu'il avait proposées, mais on ne parla pas de celui qui les avait conçues ».

XII.

Duhem méditait depuis longtemps un Ouvrage étendu sur les doctrines cosmogoniques. Il en commença la publication en 1913 sous le titre : *Le système du monde, histoire des doctrines cosmogoniques de Platon à Copernic*. L'astronomie ayant pris de bonne heure une forme suffisamment précise, on peut y suivre dès l'antiquité les relations de la théorie physique avec l'explication métaphysique. Mais il faut ici faire attention au langage dont nous usons. Pendant deux

mille ans, comme le remarque Duhem, la physique positive n'a pas été séparée de la cosmologie, c'est-à-dire d'une métaphysique du monde matériel, et les questions débattues durant l'antiquité et le moyen âge doivent être ainsi formulées : Quelles sont les relations de l'astronomie envisagée comme théorie physique avec la physique regardée comme une cosmologie? Alors que le physicien examine ce qui concerne l'essence du ciel et des astres, l'astronome se préoccupe seulement de l'ordre des corps célestes, de leurs figures et de leur distances; son but est atteint quand ses constructions géométriques assignent à chaque astre errant une marche conforme à celle que relèvent les observations. *Sauver les phénomènes* « σώζειν τὰ φαινόμενα » tel est son but. Les diverses écoles mêlent plus ou moins le point de vue du physicien et celui de l'astronome; mais, dans l'hellénisme à son déclin, le second point de vue paraît peu à peu prédominer. Les hypothèses des astronomes prétendent de moins en moins à être des réalités, et sont regardées seulement comme des fictions, dont l'objet est de sauver les apparences, cela toutefois avec des alternatives diverses.

Une telle histoire des doctrines cosmogoniques a exigé un travail immense; la sûreté des jugements de l'auteur n'est pas moins digne d'admiration que l'étendue de son érudition. Quoiqu'il déclare commencer à Platon, Duhem croit devoir rappeler les points essentiels de l'astronomie pythagoricienne, et il est ainsi amené à détruire une légende accréditée depuis Gassendi, d'après laquelle le pythagoricien Philolaüs faisait tourner la Terre autour du Soleil; ce n'était pas le soleil, mais une sphère de feu, invisible de la partie habitée de la Terre, qui était pour Philolaüs le centre du monde. Duhem, après avoir cherché à démêler la doctrine astronomique de Platon sous le voile poétique qui la recouvre souvent, aborde l'étude du système des sphères homocentriques dont le centre est la Terre, le premier *moteur* entretenant continuellement le mouvement de la sphère des étoiles, qui engendre à son tour le mouvement des sphères homocentriques; ces divers mouvements sont circulaires et uniformes, tout corps formé de

l'essence céleste devant se mouvoir d'un tel mouvement. Le système homocentrique, adopté par Aristote et ses disciples, est dû en réalité à Eudoxe de Cnide, et Duhem écrit à ce sujet la phrase suivante bien caractéristique : « L'attribution du titre de créateur de la méthode des sciences physiques a donné lieu à bien des querelles ; les uns ont voulu le donner à Galilée, les autres à Descartes, d'autres encore à François Bacon qui est mort sans avoir jamais rien compris à cette méthode. En vérité la méthode des sciences physiques a été définie par Platon et par les pythagoriciens de son temps avec une netteté et une précision qui n'ont pas été surpassées ; elle a été appliquée pour la première fois par Eudoxe de Cnide lorsqu'il a tenté, en combinant des rotations de sphères homocentriques, de sauver les mouvements apparents des astres ».

D'après l'astronome italien Schiaparelli, le véritable précurseur de Copernic relativement au système héliocentrique est Héraclide du Pont, qui vivait au temps même d'Aristote. Duhem se rallie à son opinion, quoique on ait pu prétendre avec quelque raison que cet astronome laissait la Terre immobile au centre du mouvement du Soleil, les autres planètes tournant autour de celui-ci, ce qui fut plus tard le système de Tycho-Brahé. En tous cas, il est certain qu'Aristarque de Samos soutenait, cinquante ans après Héraclide, le système héliocentrique dans son intégrité ; sa tentative tomba dans l'oubli pendant de longs siècles. L'œuvre d'Hipparque, dont presque tous les Ouvrages ont été perdus, est difficile à reconstituer. Duhem s'y est appliqué avec une grande sagacité, en discutant les témoignages des astronomes postérieurs. L'œuvre de Claude Ptolémée est mieux connue, et sa grande *Composition mathématique de l'astronomie*, appelée par les Arabes *al Majesti* est restée longtemps, sous le nom, d'*Almageste*, le code de l'astronomie.

Les astronomes grecs avaient remarqué de bonne heure que des hypothèses géométriques, distinctes l'une de l'autre, peuvent *sauver* avec la même exactitude les phénomènes. Ainsi il y a équivalence entre les épicycles et les excentriques, imaginés probablement par les der-

nières écoles pythagoriciennes de la grande Grèce et auxquels se rallièrent Hipparque et Ptolémée ; il y a aussi équivalence entre le système héliocentrique et le système géocentrique. Ce n'est pas à l'astronomie que, dans de tels cas, il appartient de rechercher lequel est le plus conforme à la nature des choses ; cette étude est réservée au physicien qui a médité sur la cinquième essence, celle des corps célestes. Quelquefois aussi ce sera la simplicité ou la commodité qui pourra décider, et il ne faut guère forcer les textes pour retrouver, dans ces anciens temps, quelques-unes des idées que nous croyons les plus modernes.

Nous ne pouvons suivre Duhem à travers l'astronomie arabe et l'astronomie latine au moyen âge. La science, la philosophie et la théologie sont étroitement mêlées en cette histoire, et notre confrère se mouvait avec aisance au milieu des discussions les plus subtiles ; tel le débat relatif au temps. Il est peu de notions à la fois plus claires et plus obscures que celle du temps. Dans la philosophie grecque, deux courants d'idées régnerent à ce sujet. Les uns ont cherché un temps absolu dans un monde supérieur à celui des sens, les autres ont fait du temps une chose relative aux mouvements du monde sensible. Même pour certains, chaque astre a son temps ; il y a le temps du soleil, celui de la lune et d'autres planètes. On croirait presque entendre un partisan de la théorie moderne de la relativité parler du temps local. D'autre part dans la philosophie d'Aristote, les substances, vouées à la génération et à la corruption, sont seules soumises au temps, les êtres qui durent toujours n'étant pas dans le temps, et c'est ce qui amena la doctrine catholique à distinguer le *temps* et l'*éternité*. Au milieu de ce dédale, on a plus d'une fois envie de dire avec Saint-Augustin : « Qu'est-ce donc que le temps ? si nul ne le demande, je le sais ; si je cherche à l'expliquer quand on me le demande, je ne le sais pas ».

Les quatre premiers volumes de l'*Histoire des Doctrines cosmologiques* ont été publiés pendant la vie de Duhem. Le tome V a paru en 1917, quelques mois après sa mort. Il traite principalement des relations entre l'aristotélisme et la scholastique latine, et intéressera surtout les historiens de la philosophie. Durant le cours du XIII^e siècle,

l'opposition se fait chaque jour plus vive entre la doctrine chrétienne et le péripatétisme rétabli dans son intégrité par certains commentateurs arabes et ce Siger de Brabant dont Dante vantait la pureté des syllogismes. Les Albert le grand et les Thomas d'Aquin s'efforcent de concilier Aristote et le dogme catholique ; mais l'heure de la rupture approche, et c'est à ce moment que se termine la partie imprimée de l'Ouvrage de Duhem. La publication de cette œuvre considérable, qui devait avoir douze volumes, n'est cependant pas achevée. Les tomes VI, VII et VIII étaient entièrement terminés à la mort de l'auteur, et ses manuscrits ont été confiés par sa fille à l'Académie. Nous souhaitons que les circonstances permettent un jour prochain de les imprimer. Ils grandiront encore la renommée du savant, de l'érudit et du philosophe, qui a jugé faire œuvre utile, en se consacrant pour un temps à des recherches si éloignées d'abord de ses premières études. Il pensait que rien n'est indifférent, pour l'histoire de l'esprit humain, des admirables constructions d'une si belle pureté de lignes, réalisées dans l'antiquité par le génie hellène, et dont tant de pierres ont trouvé place dans l'édifice de la science moderne.

XIII.

Duhem a été pendant plus de vingt ans professeur de physique théorique à la Faculté des Sciences de Bordeaux. Son désir était de revenir à Paris, non point qu'il eût la moindre ambition personnelle, mais il estimait que c'était pour lui le seul moyen d'avoir quelque action sur l'orientation des recherches physico-chimiques. Cependant, trop physicien pour les mathématiciens et trop mathématicien pour les physiciens et les chimistes, il ne trouva pas dans la capitale la place à laquelle sa situation scientifique aurait pu lui donner droit. Il ne fit d'ailleurs rien pour y arriver ; ce n'était pas dans sa manière. D'un désintéressement absolu, le caractère de Duhem était essentiellement chevaleresque. Quand il croyait apercevoir quelque tort ou quelque injustice, il se levait pour protester ; ce qui n'est pas la meilleure façon

de se faire des amis. Les savants, qui lui paraissaient par leur enseignement ou leurs écrits retarder la marche de la science, devenaient ses ennemis personnels. On peut trouver qu'il dépassa parfois la mesure, d'autant que, dans la vivacité de la polémique, sa critique oubliait les services que rendent souvent dans la science les lois approximatives et simples. Il eut parmi ses contemporains quelques antipathies scientifiques, comme dans les temps antérieurs il en avait eu en la personne de certains humanistes et savants de la Renaissance, qui avaient combattu les doctrines des vieux maîtres, par lui réhabilités, de l'Université de Paris.

Des intimes de Duhem affirment qu'il souffrait de l'ostracisme qui semblait peser sur lui. Il avait cependant à Paris des amis qui appréciaient sa haute valeur scientifique et son immense labeur; dès 1900 l'Académie le nommait Correspondant dans la section de Mécanique, sur un rapport extrêmement élogieux de notre confrère Sarrau, bon juge dans les questions de thermodynamique et de mécanique chimique. Quand l'Académie eut créé en 1913 une section de membres non résidants, plusieurs d'entre nous pensèrent immédiatement à Duhem, mais il hésita à poser sa candidature, ne voulant pas être nommé avant un naturaliste dont il estimait beaucoup les travaux. Ce ne fut pas sans peine qu'on lui fit comprendre qu'il n'était pas chargé de classer les candidats, et il était élu le 8 décembre 1913 à la presque unanimité des suffrages. Cette élection amena, semble-t-il, dans son esprit inquiet, une sorte de détente.

Quoique Duhem eût beaucoup étudié l'histoire de la philosophie, particulièrement dans ses rapports avec les sciences, il aimait peu les discussions philosophiques. Il eut cependant à répondre à diverses critiques. Nous avons déjà dit que ses idées sur la théorie physique l'avaient fait parfois classer parmi les pragmatistes. Il fut aussi un jour traité de kantiste; c'était à un congrès de savants catholiques à Bruxelles. L'insistance qu'il avait mise à déclarer qu'une théorie physique est quelque chose de purement formel, avait paru suspecte à quelques-uns qui l'accusèrent de subjectivisme. Ce prétendu kantiste a

cependant écrit cette phrase, qui n'eut sans doute pas été contresignée par son ami Delbos, que la *Critique de la raison pure* est le commentaire le plus long, le plus obscur, le plus confus, le plus pédant de ce mot de Pascal « nous avons une impuissance à prouver invincible à tout le dogmatisme », et il n'a pas mieux traité la certitude de qualité inférieure, ce sont ses expressions, à laquelle aboutit péniblement le philosophe de Kœnigsberg dans la *Critique de la raison pratique*. Non, ce n'est pas de Kant, mais de Pascal que relève Duhem, de Pascal qu'il cite constamment, et dont il sait entièrement par cœur le livre des *Pensées*.

Des critiques lui vinrent aussi d'autres côtés. Une d'elles lui fut particulièrement sensible. Un philosophe distingué, après une étude très approfondie de la philosophie scientifique de Duhem, la caractérisait en ces termes : « Dans ses tendances vers une conception qualitative de l'Univers matériel, dans sa défiance vis-à-vis d'une explication complète de cet Univers par lui-même, telle que le rêve le mécanisme, dans ses répugnances plus affirmées que réelles à l'égard d'un scepticisme scientifique intégral, elle est la philosophie scientifique d'un croyant ». Dans un article intitulé *Physique de croyant*, Duhem crut devoir répondre longuement. Il renvoie aux partisans du mécanisme l'accusation de faire de la métaphysique, et insiste sur ce que « pour le physicien, l'hypothèse que tous les phénomènes naturels peuvent s'expliquer mécaniquement n'est ni vraie ni fausse; elle n'a pour lui aucun sens ». Avec une vigueur nouvelle, Duhem reprend ses assertions qu'un principe de physique théorique est une forme mathématique propre à résumer et à classer des lois constatées par l'expérience, et donne simplement une image de ces lois; il est nécessairement sans usage dans les discussions métaphysiques ou théologiques. Ainsi Duhem plaisante ceux qui prétendent déduire du principe de la conservation de l'énergie l'impossibilité du libre arbitre. En posant ce principe, on postule que les phénomènes sont régis par des équations différentielles et, par suite, soumis à un déterminisme rigoureux; il y a alors quelque naïveté à s'étonner qu'aucune place dans la classification ne soit

réservée aux actes libres, qui en ont été exclus *a priori*. Il n'est pas douteux que, au sens où l'entend Duhem, une théorie physique n'est ni une théorie de croyant, ni une théorie d'incroyant, mais seulement une théorie de physicien; mais peut-être dans des discussions de ce genre, saisit-on bien ce qu'a de trop étroit cette opposition systématique faite par Duhem à la méthode inductive qui permet au moins d'énoncer des probabilités, d'autant qu'il fait lui-même une induction en proclamant que la théorie en se perfectionnant devient le reflet de plus en plus précis d'une métaphysique. Duhem a beau jeu d'ailleurs avec les critiques relatives à la conception qualitative de l'Univers, conception qui a été un trait essentiel de la Cosmologie enseignée dans l'antiquité par les disciples d'Aristote, au moyen âge par les philosophes arabes et juifs, comme par la scholastique catholique, et ne se rattache par suite à aucune croyance, ce qui lui donne l'occasion de signaler des analogies un peu forcées, semble-t-il, entre la physique péripatéticienne et la Thermodynamique générale.

La conception que Duhem avait des théories scientifiques ne troublait donc en rien sa foi religieuse. Ce n'est pas qu'il considérât nécessairement le domaine scientifique et le domaine religieux, comme séparés à leur racine par une cloison étanche. Sa pensée intime à ce sujet nous est révélée dans une lettre à un ami d'enfance : « J'ai cru de mon devoir de savant, écrit-il, comme de mon devoir de chrétien de me faire sans cesse l'apôtre du sens commun, seul fondement de toute certitude scientifique, philosophique, religieuse. Mon Livre sur la théorie physique n'avait pas d'autre objet que de mettre en évidence la vérité scientifique de cette thèse ». A l'objection que certaines croyances philosophiques et religieuses reposent uniquement sur des raisonnements sans valeur, invoquant sans cesse des notions indéfinissables qui ne sont que des mots vides de sens, Duhem répond dans la même lettre : « A force de réfléchir à ces difficultés, je me suis aperçu qu'on en pouvait dire autant de toutes les sciences, de celles qu'on regarde comme les plus rigoureuses, la Physique, la Mécanique, voire la Géométrie. Les fondations de chacun de ces édifices sont formées de

notions que l'on a la prétention de comprendre, bien qu'on ne puisse les définir, de principes dont on se tient pour assuré, bien qu'on n'en ait aucune démonstration. Ces notions, ces principes, sont formés par le bon sens. Sans cette base du bon sens, nullement scientifique, aucune science ne pourrait tenir; toute sa solidité vient de là ». Duhem se rencontre ici encore avec Pascal, affirmant que c'est par le cœur, il entend par là le bon sens, que nous connaissons les premiers principes, et aussi avec le Descartes du Discours de la méthode, pour qui le bon sens, trait d'union entre notre pensée et le réel, est la vraie source de l'invention et du jugement.

XIV.

Ces idées sur la certitude, Duhem les a maintes fois soutenues verbalement dans ses cours et dans ses conversations. Nous les retrouvons dans les conférences qu'il fit pendant la guerre *sur la science allemande*, et qui ont été réunies en un petit volume. Il a voulu montrer dans cet Ouvrage comment les Allemands, en se refusant à mettre dans le bon sens le fondement de la certitude, l'ont successivement mis partout où il ne pouvait pas être, et ont ainsi produit diverses philosophies plus étranges les unes que les autres, depuis ce cardinal allemand du xv^e siècle, Nicolas de Cues, qui prenait comme base de ses déductions l'identité en toutes choses du maximum et du minimum, jusqu'à Hegel posant l'axiome fondamental de l'identité des contradictoires. Duhem insiste sur la confiance de l'esprit allemand dans le raisonnement déductif, sa méfiance et son dédain à l'égard des intuitions que fournit le sens commun. Plus des postulats librement posés s'éloignent de celles-ci, plus il a de jouissance à dérouler la longue chaîne de syllogismes qui se déduit de ces prémisses. D'autre part, le bon sens, se surpassant lui-même, poussant sa force et sa souplesse jusqu'à leurs extrêmes limites, devient ce que Pascal nommait *esprit de finesse*, et qu'il opposait à l'esprit de géométrie habile à manier avec rigueur la méthode déductive. Or, en général, le savant allemand a l'esprit géométrique, mais il est dépourvu d'esprit de

finesse, et ceci donne à la fois les raisons de sa faiblesse et de sa force, car le rôle de l'esprit de finesse, si nécessaire au début de certaines études pour en poser les principes, devient moindre quand elles sont parvenues à un stade où l'esprit de géométrie peut tirer de ces principes la longue chaîne de leurs conséquences. Tels sont les points de vue élevés, où se plaçait Duhem pour parler de l'Allemagne pendant la guerre, et ses fines analyses de la mentalité germanique n'ont rien perdu de leur intérêt.

En une autre circonstance, il lui parut utile de répondre à un jugement sommaire porté sur Lavoisier par un chimiste allemand, et il écrivit une petite brochure : *La chimie est-elle une science française?* On a plaisir et profit à suivre avec lui la longue histoire des explications concernant la calcination des métaux. Après Cardan et Léonard de Vinci, qui professaient que l'âme du plomb regagnait son lieu alourdissant ainsi le métal changé en céruse, le médecin périgourdain Jean Rey, véritable précurseur de Lavoisier, esquisse au début du xvii^e siècle une théorie de l'oxydation, bientôt précisée par l'anglais Jean Mayow qui devine dans l'air l'existence d'un principe actif igno-aérien, celui-là même que Lavoisier devait un jour appeler *oxygène*. Mais bientôt après, la Chimie naissante s'engage dans une fausse voie avec Robert Boyle et Stahl, et la théorie du phlogistique régna jusqu'à ce que Lavoisier, complétant et précisant les vues de Jean Rey et de Mayow, vint tout démontrer par la précision de ses mesures et la rigueur de sa critique. Duhem voyait là encore une confirmation d'une thèse qu'il avait maintes fois formulée « le plus souvent, a-t-il écrit, une vérité n'est pas reçue d'une manière définitive, avant qu'elle n'ait été découverte à plusieurs reprises séparées les unes des autres par de longs intervalles d'erreur et d'oubli ».

Duhem resta longtemps isolé dans sa studieuse retraite, tout entier à ses travaux et à son enseignement. Il craignait de se laisser enrégimenter, et il semble même qu'il voyait d'un œil méfiant certains prosélytismes qu'on aurait pu penser lui être sympathiques. Peu à peu cependant, il s'associa à des groupements bordelais dont le rappro-

chaient ses convictions religieuses, faisant aux étudiants des causeries historiques ou philosophiques, où il savait se mettre à la portée de ses auditeurs, jeunes gens ou jeunes filles. Ce polémiste, parfois fougueux, plaisait à la jeunesse qu'il comprenait et qu'il aimait. Il n'avait rien d'ailleurs d'un prédicateur morose, et ne manquait ni de gaieté, ni de cet esprit de finesse dont il avait si doctement parlé.

La guerre, pour lui comme pour tant d'autres, modifia ses habitudes, et on le vit payer de sa personne dans un grand nombre d'œuvres. C'est à l'Association des étudiants catholiques qu'il fit ses conférences sur la science allemande. Il se dépensa aussi sans compter au Comité girondin de l'Orphelinat des Armées, fondé avec le concours de la municipalité de Bordeaux. Sans le rechercher, il était ainsi devenu une figure bordelaise, et la grande cité méridionale était fière de lui. Elle a entendu garder pieusement son souvenir, en donnant le nom de Pierre Duhem à une des rues de la ville; le rapporteur de la proposition faite à ce sujet au Conseil Municipal terminait par ces mots : « Qu'il me soit permis d'ajouter que chez lui l'homme s'élevait à la hauteur du savant; tous ceux qui l'ont connu et approché admiraient l'indépendante fierté de son caractère, son inflexible conscience, la bonté et la sûreté de son cœur. »

La facilité de travail de Duhem était prodigieuse. Mémoires scientifiques, articles philosophiques ou historiques, il menait tout de front comme en se jouant; les pages couvertes par sa grande écriture bien connue de ses nombreux correspondants succédaient aux pages, sans ratures, toutes prêtes pour l'impression. Malgré son naturel maladif, notre confrère paraissait vigoureux, et son visage souriant, terminé par une longue barbe, respirait la franchise. Il aimait passionnément la marche et, pour se reposer de ses travaux, consacrait une partie de ses vacances à parcourir avec le sac au dos une région de la France. Il excellait aussi à diriger une embarcation, et on le rencontrait sur la côte bretonne, menant la vie des pêcheurs. Il était heureux de retourner chaque année dans sa maison de Cabrespine. C'est là que la mort le prit en 1916. Au début de septembre, des douleurs violentes firent

diagnostiquer une angine de poitrine, dont les premiers symptômes, déjà anciens, avaient été méconnus. Le 14, une crise subite l'enlevait en quelques minutes, à l'âge de cinquante-cinq ans; il dort maintenant son dernier sommeil dans le cimetière d'un petit village de la Montagne Noire.

Ainsi disparaissait, dans toute la maturité de son talent, un travailleur d'une rare vigueur d'esprit. A une époque d'une spécialisation excessive, la prodigieuse activité de Duhem s'est portée sur les parties les plus variées des sciences physico-mathématiques, et il a été aussi un humaniste et un philosophe. L'harmonie fut profonde chez lui entre l'homme et le savant, que guidait l'un et l'autre une vue systématique des choses; sa vie si bien ordonnée laisse l'impression d'une admirable unité. La France perd en lui un bon serviteur; l'Académie, qui de bonne heure avait rendu justice à son infatigable labeur, un de ses membres qui lui faisait le plus d'honneur.