

La raison et le réel chez Pierre Duhem

-Une nouvelle lecture de "la Théorie Physique"-

Par: Dr GOUAICH Djamel Eddine¹

Introduction :

La Théorie Physique de Pierre Duhem est un ouvrage essentiel. Elle est le texte fondateur des plus importants courants de l'épistémologie contemporaine, même si la dette n'est pas souvent reconnue. Physicien, professeur de physique, Duhem est aussi un catholique fervent. Ses conceptions religieuses catholiques traditionalistes influent sur sa philosophie de la science (comment mettre la religion à l'abri de la science?) et même sur sa physique (le refus obstiné de l'atomisme). Plusieurs commentaires notent le risque toujours présent chez lui d'une science apologétique. Le Système du monde par exemple cherche à réfuter l'idée de révolution galiléenne et prend la défense des adversaires de Galilée, notamment le cardinal Bellarmine dont il fait un "opérationnaliste" avant l'heure.

La théorie physique vise à établir une ligne de démarcation entre physique et métaphysique ; il s'agit pour lui de protéger la religion contre la menace scientiste – même si le but premier proclamé dans le livre est de défendre l'autonomie de la physique.

Duhem est un spécialiste de la thermodynamique qui est à l'époque la branche dominante en physique. Très tôt orienté vers les travaux de Gibbs et de Helmholtz, Duhem propose, dès ses premières contributions, d'utiliser la notion de potentiel thermodynamique (interne). Ce qui le conduira à la formulation de l'équation de Gibbs-Duhem sur les solutions. Duhem poursuit ses recherches dans cette direction, proposant d'autres applications variées du potentiel thermodynamique à la statique et à la dynamique chimique ; ces travaux font de lui l'un des fondateurs de la chimie

¹- Maître de conférence, Département de philosophie, Université d'Alger2.

physique moderne avec Ostwald, Arrhenius, Le Châtelier. Ce faisant, au lieu de se proposer, comme beaucoup de ses contemporains, en France notamment, de réduire les phénomènes chimiques à la mécanique, il les rapportait à la thermodynamique.

Par ses conceptions et ses contributions en thermodynamique, Duhem apparaît comme un des principaux pionniers de l'étude de la thermodynamique des processus irréversibles. Le projet de Duhem était de fonder sur une énergétique ou thermodynamique générale l'ensemble de la physique et de la chimie, en harmonie avec les conceptions énergétistes de Rankine, Helmholtz, Mach et d'autres, et en opposition au projet de réduction mécaniste des atomistes comme Boltzmann. Il s'attache à poser les fondements logiques et axiomatiques de cette science. Le deuxième principe ne lui paraissait pas réductible à la mécanique – à quoi l'on rapportait généralement le premier, celui de la conservation de l'énergie, issu du principe de l'équivalence de la chaleur et du mouvement ; pour établir les deux principes sur un pied d'égalité, il fallait les traiter comme des postulats, et « la thermodynamique se développe alors selon un type de théorie nouveau en physique ». On perçoit déjà ici le lien entre ses recherches scientifiques et sa conception de la théorie physique. Duhem voyait dans sa tentative d'unifier les sciences physiques et chimiques au sein d'une thermodynamique généralisée sa principale contribution scientifique. Il est à noter que les mots « atome » et « molécule » sont totalement absents, conformément à son rejet de ces notions, de son *Traité d'énergétique* de 1911 qui propose l'accomplissement de ce programme.

La théorie physique s'inscrit dans un débat en cours au tournant du 19^e et du 20^e siècle, visant à redéfinir la nature et les ambitions de la physique. Le contexte est celui d'une réflexion épistémologique d'ensemble très riche, depuis les essais de Claude Bernard sur la « méthode expérimentale » et l'introduction enfin claire de l'idée de « raisonnement expérimental » jusqu'à Mach et l'empirio-criticisme qui aura une influence importante sur Einstein et sur les « pères fondateurs » de la physique quantique.

Le système du monde se présente comme une vaste histoire de la science. Duhem y soutient une position continuiste contre laquelle l'épistémologie contemporaine (de G. Bachelard à T. Kuhn) va s'élever. Pour donner une idée de cette conception gradualiste, on

peut donner le passage suivant, assez révélateur: L'histoire nous montre qu'aucune théorie physique n'a jamais été créée de toutes pièces. La formation de toute théorie physique a procédé par une suite de retouches qui graduellement 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 pas le produit soudain d'une création ; elle est le résultat lent et progressif d'une évolution.

1-Le projet de la Théorie physique:

D'emblée, la question est posée sous la forme d'une alternative : la théorie physique peut se définir par l'explication des phénomènes, ou bien comme un système abstrait qui a pour but de résumer et de classer logiquement un ensemble de lois expérimentales, sans prétendre expliquer ces lois.

« Expliquer, explicare; c'est dépouiller la réalité des apparences qui l'enveloppent comme des voiles, afin de voir cette réalité nue et face à face.

L'observation des phénomènes physiques ne nous met pas en rapport avec la réalité qui se cache sous les apparences sensibles, mais avec ces apparences sensibles elles-mêmes, prises sous forme particulière et concrète. Les lois expérimentales n'ont pas davantage pour objet la réalité matérielle ; elles traitent de ces mêmes apparences sensibles, prises, il est vrai, sous forme abstraite et générale. Dépouillant, déchirant les voiles de ces apparences sensibles, la théorie va, en elles et sous elles, chercher ce qui est réellement dans les corps. »¹

Au contraire, Duhem va essayer de montrer que les lois physiques n'expliquent rien (au sein où elles ne dévoilent pas l'intérieur de phénomènes dont nous n'aurions que l'extérieur.

Prenons, par exemple, l'ensemble des phénomènes observés par le sens de la vue ; l'analyse rationnelle de ces phénomènes nous amène à concevoir certaines notions abstraites et générales exprimant les caractères que nous retrouvons en toute perception lumineuse : couleur simple ou complexe, éclat, etc. Les lois expérimentales de l'optique nous font connaître des rapports fixes entre ces notions abstraites et générales et d'autres notions analogues ; une loi, par exemple, relie l'intensité de la lumière jaune réfléchi par une lame

mince à l'épaisseur de cette lame et à l'angle d'incidence des rayons qui l'éclairent.

Bref, une loi physique n'est pas autre chose qu'une certaine relation régulière entre nos expériences.

Si on ne se place pas de ce point de vue, selon Duhem, on renonce à toute autonomie de la théorie physique et on se place en fait sous la domination de la métaphysique.

Si une théorie physique est une explication, elle n'a pas atteint son but tant qu'elle n'a pas écarté toute apparence sensible pour saisir la réalité physique. Par exemple, les recherches de Newton sur la dispersion de la lumière nous ont appris à décomposer la sensation que nous fait éprouver un éclaircissement tel que celui qui émane du soleil ; elles nous ont enseigné que cet éclaircissement est complexe, qu'il se résout en un certain nombre d'éclaircissements plus simples, doués, chacun, d'une couleur déterminée et invariable ; mais ces éclaircissements simples ou monochromatiques sont les représentations abstraites et générales de certaines sensations ; ce sont des apparences sensibles ; nous avons dissocié une apparence compliquée en d'autres apparences plus simples ; mais nous n'avons pas atteint des réalités, nous n'avons pas donné une explication des effets colorés, nous n'avons pas construit une théorie optique.

Ainsi donc, pour juger si un ensemble de propositions constitue ou non une théorie physique il nous faut examiner si les notions qui relient ces propositions expriment, sous forme abstraite et générale, les éléments qui constituent réellement les choses matérielles ; ou bien si ces notions représentent seulement les caractères universels de nos perceptions.

Pour qu'un tel examen ait un sens, pour qu'on puisse se proposer de le faire, il faut, tout d'abord, qu'on regarde comme certaine cette affirmation: Sous les apparences sensibles que nous révèlent nos perceptions, il y a une réalité, distincte de ces apparences.

Il s'agit bien de métaphysique au sens le plus exact du terme: déterminer le supra-sensible qui se situe par-delà le monde connaissable de la physique. Par exemple, pour Duhem, dire que la matière est composée d'atomes, c'est tomber dans la métaphysique atomiste ²... Le tableau de Mendeleïev est un système de classification qui rend compte des expériences de chimie, pas de la réalité ultime de la matière. Voici le fonds de la question :

Or, ces deux questions :

a- Existe-t-il une réalité matérielle distincte des apparences sensibles ?

b- De quelle nature est cette réalité ?

ne ressortissent point à la méthode expérimentale; celle-ci ne connaît que des apparences sensibles et ne saurait rien découvrir qui les dépasse. La solution de ces questions est transcendante aux méthodes d'observation dont use la Physique ; elle est objet de Métaphysique.

Ensuite Duhem montre qu'aucune métaphysique n'est capable de déterminer complètement une théorie physique. Par conséquent, il faut rompre irrémédiablement le lien entre physique et métaphysique.

Il serait intéressant de montrer que le noyau de l'argumentation sur ce point est repris presque mot pour mot par les positivistes logiques du « Wiener Kreis ». Par exemple, le petit livre de Moritz Schlick, *Forme et contenu* (une introduction à la pensée philosophique)³. Seule la structure de la réalité telle qu'elle nous la décrivons au moyen de notre langage est communicable, le « contenu » est inexprimable, dit et répète Schlick. La thèse vérificationniste⁴ qu'il soutient dans ce livre recoupe d'assez près celle de Duhem: la connaissance scientifique est expérimentale, toute proposition est une proposition expérimentale et la structure d'une théorie scientifique n'est rien d'autre que la structure des expériences. Les liens entre Duhem et le positivisme logique sont très importants – et pas seulement à partir de la thèse de Quine sur le caractère holistique du langage et le paradigme de l'intraductibilité qui est tiré de la thèse de Duhem sur les théories physiques (cf. infra).

2-la fonction d'une théorie physique:

Elle ne consiste pas à dire ce que c'est que la réalité ?Duhem donne plusieurs réponses :1. Une théorie physique permet l'économie de la pensée. C'est une idée que Duhem reprend à E.Mach.

2. un système de classement de nos expériences

3. mais ce classement n'est pas arbitraire ; sa capacité prédictive montre qu'il doit refléter un ordre naturel.

Puisqu'on ne veut pas placer la physique sous la dépendance de la métaphysique – ce que l'on fait nécessairement si en fait « une explication hypothétique de la réalité matérielle », alors il faut déterminer la nature de la théorie physique de telle manière qu'elle

soit autonome ou autosuffisante. D'où la définition que propose Duhem :

Une théorie physique n'est pas une explication. C'est un système de propositions mathématiques, déduites d'un petit nombre de principes, qui ont pour but de représenter aussi simplement, aussi complètement et aussi exactement que possible, un ensemble de lois expérimentales.⁵ (p.24)

Si je dis que la relation fondamentale de l'électricité est $u = ri$, j'ai une formule mathématique qui résume à elle seule toutes les expériences faites et à faire dans lesquelles je place une résistance entre les deux bornes d'une source électrique. La formule me permet de calculer la puissance du radiateur de ma salle de bain aussi bien que la quantité d'énergie dissipée sur les lignes de distribution du courant. Une telle loi a sens strict n'explique rien, en effet. Elle se contente 1/ de dire « c'est comme cela que les choses se passent et 2/ de permettre de faire des calculs et des prévisions (sachant que $u=ri$ et $p=ui$, je peux calculer le temps qui sera nécessaire pour mener à ébullition l'eau de mon thé !)⁶

Une loi est bonne si elle représente exactement les expériences. C'est pourquoi on ne peut pas dire qu'une loi est plus « vraie » qu'une autre. Pour qu'une loi soit « vraie » il faudrait qu'elle puisse être mise en accord avec un réel connu par ailleurs. Une loi est seulement plus exacte qu'une autre (la loi de Newton de la gravitation est plus exacte que la loi galiléenne de la chute des corps, par exemple).

Duhem est extrêmement précis :

« les divers principes ou hypothèses d'une théorie sont combinés ensemble suivant les règles de l'analyse mathématique. Les exigences de la logique algébrique sont les seules auxquelles le théoricien soit tenu de satisfaire au cours de ce développement. Les grandeurs sur lesquelles portent les calculs ne prétendent point être des réalités physiques [souligne par moi, DC] ; les principes qu'il évoque dans ses déductions ne se donnent point pour l'énoncé de relations véritables entre ces réalités ; il importe donc peu que les opérations qu'il exécute correspondent ou non à des transformations physiques réelles ou même concevables. Que ses syllogismes soient concluants et ses calculs exacts, c'est tout ce qu'on est alors en droit de réclamer de lui. »⁷

On ne peut guère être plus clair. La physique non seulement n'explique pas « la réalité » mais on peut même dire qu'elle ne la

décrit pas ! Duhem admet bien qu'il y a un sens métaphysique à parler de la réalité en dehors de notre expérience – c'est même absolument nécessaire si on veut maintenir intacte la possibilité du discours théologique traditionnel. Mais la physique ne peut pas parler de cette réalité puisque la physique ne décrit que les expériences de physique et donc la « réalité physique » n'est rien que ce qui est donné dans les expériences de la physique et susceptible d'être résumé par une équation.

On pourrait rapprocher la position de Duhem du positivisme d'Auguste Comte et c'est un rapprochement qui s'impose tant l'épistémologie de Duhem semble si souvent « positiviste » en dépit de l'adhésion de Duhem à une métaphysique aux antipodes de celle de Comte – en passant, on notera une fois de plus que les philosophies ne font pas vraiment système : l'ontologie et l'épistémologie peuvent très souvent être complètement disjointes. La science recherche des lois et non des causes, répète Comte. Le rejet de l'explication par Duhem rejoint le rejet de la cause par Comte.

On pourrait aussi rapprocher cette position de celle de Poincaré dans La science et l'hypothèse :

Les théories mathématiques n'ont pas pour objet de nous révéler la véritable nature des choses ; ce serait là une prétention déraisonnable. Leur but unique est de coordonner les lois physiques que l'expérience nous fait connaître, mais que sans le secours des mathématiques nous ne pourrions même énoncer.⁸

Peu nous importe que l'éther existe réellement, c'est l'affaire des métaphysiciens ; l'essentiel pour nous c'est que tout se passe comme s'il existait et que cette hypothèse est commode pour l'explication des phénomènes. Après tout, avons-nous d'autre raison de croire à l'existence des objets matériels. Ce n'est là aussi qu'une hypothèse commode ; seulement elle ne cessera jamais de l'être, tandis qu'un jour viendra sans doute où l'éther sera rejeté comme inutile. (chap. XII) Duhem introduit ensuite une idée qui va être reprise par Quine.

Les diverses conséquences que l'on a ainsi tirées des hypothèses peuvent se traduire en autant de jugements portant sur les propriétés physiques des corps ; les méthodes propres à définir et à mesurer ces propriétés physiques sont comme le vocabulaire, comme la clé qui permet de faire cette traduction ; ces jugements, on les compare aux lois expérimentales que la théorie se propose de représenter ; s'ils

concordent avec ces lois, au degré d'approximation que comportent les procédés de mesure employés, la théorie a atteint son but ; elle est déclarée bonne ; sinon elle mauvaise, elle doit être modifiée ou rejetée. (pp.25/26) Il y a deux niveaux :

1- le niveau de la description expérimentale proprement dite, un niveau qui se fait uniquement en utilisant les hypothèses au sens où Duhem les entend, c'est-à-dire les formulations mathématiques des lois ;

2- le niveau des « jugements sur les propriétés physiques des corps », c'est-à-dire le niveau « réaliste » du langage ordinaire.

Pour passer de l'un à l'autre on opère une espèce de traduction. Mais – et c'est un point que Quine va développer – cette traduction est toujours fondamentalement indéterminée.

Une bonne théorie est simplement une théorie qui accorde les jugements sur les propriétés physiques avec les lois par le moyen de la mesure. C'est pourquoi la clé pour Duhem est dans la théorie de la mesure qui fait l'objet des 6 premiers chapitres de la seconde partie.

Ces principes établis on peut donc en venir à ce qu'on attend d'une théorie physique.

3-Es une théorie physique est une économie de la pensée ?

C'est, on l'a déjà signalé une idée que Duhem reprend à Ernest Mach (1838-1916). Duhem donc reprend la thèse de Mach de la théorie physique comme économie de pensée;

- la loi expérimentale est déjà une économie de pensée : à l'infinité des faits concrets est substituée une loi générale.

- l'esprit redouble l'économie de pensée quand les lois expérimentales sont condensées en théories. Les lois sont condensées en « un petit nombre de principes ». ⁹On se gardera bien de confondre loi et principe. Les lois sont aux principes ce que les théorèmes sont aux axiomes en mathématiques. On peut tirer les lois des principes. Ici Duhem annonce très clairement ce qui va être proposé un peu plus tard : une véritable théorie scientifique est une théorie axiomatisée. En second lieu, une théorie est un système de classification.

Les lois sont souvent découvertes en désordre, par des rapprochements accidentels. La théorie permet de les classer

(comme on range ses outils dans la boîte à outils. L'ordre n'est seulement utile. Il est aussi beau.

Cette classification tend à se transformer en une classification naturelle. Duhem soutient une idée proche de celle de Poincaré : au bout d'un certain temps, la théorie atteint un point de perfection tel qu'on peut admettre que l'ordre qu'elle établit entre les représentations doit correspondre à l'ordre des choses.

Ainsi, la théorie physique ne nous donne jamais l'explication des lois expérimentales ; jamais elle ne nous découvre les réalités qui se cachent derrière les apparences sensibles ; mais plus elle se perfectionne, plus nous pressentons que l'ordre logique dans lequel elle range les lois expérimentales est le reflet d'un ordre ontologique ; plus nous soupçonnons que les rapports qu'elle établit entre les données de l'observation correspondent à des rapports entre les choses ; plus nous devinons qu'elle tend à être une classification naturelle.

Dans les divers courants qui se partagent le champ philosophique du philosophème « réalisme physique », ceci permettrait de classer Duhem comme Poincaré non dans le camp des conventionnalistes ou des opérationnalistes purs et durs mais plutôt dans le camp de qu'on peut appeler le « réalisme structural ».¹⁰

Ainsi lorsque Poincaré se demande en quoi consiste la réalité objective, il donne à peu près toujours la même réponse.

L'analyse mathématique, dont l'étude de ces cadres vides est l'objet principal, n'est-elle donc qu'un vain jeu de l'esprit ? Elle ne peut donner au physicien qu'un langage commode ; n'est-ce pas là un médiocre service, dont on aurait pu se passer à la rigueur ; et même, n'est-il pas à craindre que ce langage artificiel ne soit un voile interposé entre la réalité et l'œil du physicien ? Loin de là, sans ce langage, la plupart des analogies intimes des choses nous seraient demeurées à jamais inconnues ; et nous aurions toujours ignoré l'harmonie interne du monde, qui est, nous le verrons, la seule véritable réalité objective.

La meilleure expression de cette harmonie, c'est la loi ; la loi est une des conquêtes les plus récentes de l'esprit humain ; il y a encore des peuples qui vivent dans un miracle perpétuel et qui ne s'en étonnent pas. C'est nous au contraire qui devrions nous étonner de la régularité de la nature.¹¹

Et un peu plus, il met à distance le conventionnalisme: Quelques personnes ont exagéré le rôle de la convention dans la science ; elles sont allées jusqu' à dire que la loi, que le fait scientifique lui-même étaient créés par le savant. C' est là aller beaucoup trop loin dans la voie du nominalisme. Non, les lois scientifiques ne sont pas des créations artificielles ; nous n' avons aucune raison de les regarder comme contingentes, bien qu' il nous soit impossible de démontrer qu' elles ne le sont pas. Cette harmonie que l' intelligence humaine croit découvrir dans la nature, existe-t-elle en dehors de cette intelligence ? Non, sans doute, une réalité complètement indépendante de l' esprit qui la conçoit, la voit ou la sent, c' est une impossibilité. Un monde si extérieur que cela, si même il existait, nous serait à jamais inaccessible. Mais ce que nous appelons la réalité objective, c' est, en dernière analyse, ce qui est commun à plusieurs êtres pensants, et pourrait être commun à tous ; cette partie commune, nous le verrons, ce ne peut être que l'harmonie exprimée par des lois mathématiques.

Conclusion:

C' est donc cette harmonie qui est la seule réalité objective, la seule vérité que nous puissions atteindre ; et si on ajoute que l'harmonie universelle du monde est la source de toute beauté, on comprendra quel prix nous devons attacher aux lents et pénibles progrès qui nous la font peu à peu mieux connaître.

Jusqu' à une date relativement récente, l' épistémologie de Poincaré avait été considérée généralement comme typiquement instrumentaliste et anti-réaliste, notamment parce qu' elle ressemble, à première vue, fortement à celle de Duhem dans sa façon d' insister avant tout sur la fonction classificatrice, organisatrice et unificatrice de la théorie, plutôt que sur sa portée référentielle et son contenu proprement ontologique. Quand Poincaré affirme que la science et la connaissance objective en général n' atteignent que des relations, il ne va pas jusqu' à dire que les relations en question ne peuvent être que des relations quantitatives, ne serait-ce que parce qu' une bonne partie des relations dont s' occupent les mathématiques ne sont pas quantitatives. Et il n' est pas prêt non plus à accepter l' idée que, comme l' a dit quelqu' un, l' univers se réduit à une équation différentielle, probablement parce que l' équation différentielle dont il considère qu' elle constitue la forme par excellence de la loi,

exprime aussi un rapport entre les phénomènes et que pour faire un monde il faut aussi des phénomènes et pas seulement des rapports. Mais il est clair que, s'il a une ontologie, ce devrait être avant tout une ontologie des relations ou, en tout cas, de propriétés relationnelles, et non d'objets.

La question qu'on peut poser à Bouveresse est la suivante : n'est pas précisément sur ce point où il situe la divergence entre Poincaré et Duhem qu'ils sont en réalité parfaitement d'accord ? L'idée de classification naturelle chez Duhem ne conduit-elle pas, elle aussi à une ontologie des relations ? Il est vrai que le désaccord pourrait porter sur le point soulevé par Bouveresse qui laisse entendre que pour Duhem toutes les relations sont quantitatives – voir sa théorie de la mesure dont j'ai parlé plus haut – alors que ce ne serait pas le cas pour Poincaré. Mais on peut se demander jusqu'à quel point cette divergence est décisive, c'est-à-dire jusqu'à quel point on peut, en mathématiques, opposer des relations quantitatives (par exemple les fonctions) et des relations qualitatives (par exemple en topologie).

Ce « réalisme structural » dont on Bernard d'Espagnat défend une autre forme avec sa thèse du « réel voilé » a ceci de particulièrement intéressant : nous avons un auteur qui se défend de toute affirmation sur la nature du réel « en soi », un auteur qui dit que la théorie physique n'est qu'une classification de nos représentations – et l'insistance sur le rapport à Mach en dit long. En même, à la fin des fins, il est défend sa conception en montrant qu'elle donne au moins une solution partielle à la question de la nature du réel. Comme s'il était finalement très difficilement de couper définitivement la théorie scientifique de toute référence à la notion d'une réalité objective.

-Références-

- 1- Duhem Pierre, La théorie physique: son objet, sa structure, 2e édition revue et augmentée /reproduction fac-similé avec avant-propos, index et bibliographie par Paul Brouzeng, Paris : Librairie philosophique J. Vrin, 1981, p.112.
- 2-Duhem Pierre, Les origines de la statique : les sources des théories physiques, tome 2, Paris, Éditions Jacques Gabay, 2006, VIII, p.120.
- 3-Trad. Française Delphine Chapuis-Schmitz Agone, 2003.

4-Toute proposition est vérifiable empiriquement et ce qui n'est pas vérifiable empiriquement n'est pas une proposition.

5-Cf, Duhem Pierre, La théorie physique: son objet, sa structure, p.24.

6- Duhem Pierre, Le système du monde : histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic, tome 1, Paris, Hermann, 1913, p.52.

7- Cf, Duhem Pierre, La théorie physique: son objet, sa structure, p.25.

8- Duhem Pierre, Quelques réflexions au sujet des théories physiques, in Revue des questionsscientifiques, 16e année, t. XXXI (2e série, t. I), janvier 1892, p.p. 139-140.

9- Ibidem, p.141.

10- Bouveresse Jacques, Une épistémologie réaliste est-elle possible ? in La vérité dans les sciences, Odile Jacob, Paris, 2005, p.p.128-130.

¹¹⁻ PoincaréHenri, La valeur de la science, Flammarion 1906, Paris, p.7.

-Bibliographie-

1-Bouveresse Jacques, Une épistémologie réaliste est-elle possible ? in La vérité dans les sciences, Odile Jacob, Paris, 2005.

2- Duhem Pierre, Quelques réflexions au sujet des théories physiques, in Revue des questionsscientifiques, 16e année, t. XXXI (2e série, t. I), janvier 1892.

3-Duhem Pierre, Le système du monde : histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic, tome 1, Paris, Hermann, 1913.

4- Duhem Pierre, La théorie physique: son objet, sa structure, 2e édition revue et augmentée /reproduction fac-similé avec avant-propos, index et bibliographie par Paul Brouzeng, Paris : Librairie philosophique J. Vrin, 1981.

5-Duhem Pierre, Les origines de la statique : les sources des théories physiques, tome 2, Paris, Éditions Jacques Gabay, 2006.

⁶⁻ PoincaréHenri, La valeur de la science, Flamma