

« *Esprit anglais, esprit continental* », Duhem contre les modèles.¹

RESUME DE LA CONSTITUTION D'UNE THEORIE PHYSIQUE ET DEFINITION DES ESPRITS ABSTRAITS ET IMAGINATIFS.

Elle réclame de « rendre présents aux yeux de l'imagination un très grand nombre d'objets, de telle façon qu'ils soient saisis tous à la fois, dans leur agencement complexe, et non point pris un par un arbitrairement séparés de l'ensemble auquel la réalité les rattache » (p. 78)

- Esprits abstraits

Ceci « est, pour beaucoup d'hommes, une opération impossible ou, pour le moins très pénible ». (id) « Leur imagination s'épouvante, comme un labyrinthe où leur intelligence se perd » (id).

« Par contre, ils conçoivent sans effort une idée que l'abstraction a dépouillée de tout ce qui exciterait la mémoire sensitive ; ils saisissent clairement et complètement le sens d'un jugement reliant de telles idées » (id).

Tels sont les esprits abstraits.

- Esprits imaginatifs

« Il en est (des hommes) qui ont une merveilleuse aptitude pour rendre présent à leur imagination un ensemble compliqués d'objets disparates... Cette vue est précise et minutieuse. Mais cette puissance intellectuelle est soumise à une condition ; il faut que les objets sur lesquels elle s'exerce soient de ceux qui tombent sous les sens, qui se touchent ou qui se voient... L'idée abstraite leur semble s'évanouir comme un impalpable brouillard. Le jugement général résonne pour eux comme une formule creuse et vide de sens. » (p. 79)

Tels sont les esprits imaginatifs.

« La théorie physique, telle que nous l'avons conçue, ne sera pas acceptée d'emblée comme la forme véritable sous laquelle la nature doit être représentée, sinon par les esprits abstraits. » (p. 80).

Duhem renvoie à Pascal, (*Pensées*, Harvet VII). Sa T.P. convient aux esprits « forts mais étroits » et sera repoussée par les esprits « amples mais faibles » ou « esprit de finesse ».

« Puisque nous aurons à combattre l'amplitude d'esprit, apprenons à la bien connaître » (81)

NAPOLEON

¹ Communication au colloque *Europe et Sciences modernes*, février 2013, Nantes. On verra que le terme *Modèle* a ici, un sens nettement différent que celui (ou ceux) qu'il a acquis depuis. Ce texte n'est pas un article rédigé et on admettra les nombreuses utilisations d'un style télégraphique. Les références à l'ouvrage de Pierre Duhem, *La théorie physique, son objet, sa structure*, renvoient à la réédition chez Vrin, Paris, 1989.

Cinq pages sont consacrées à Napoléon, modèle d'esprit ample mais faible, ou imaginaire. Ce caractère d'esprit s'y trouve incarné, développé « à un degré presque monstrueux » (81-86) :
Aucune disposition pour les langues
Un principe général est une niaiserie ou un ennemi.
Une mémoire prodigieuse des *faits et localités*
Faculté imaginative prodigieuse.

L'AMPLITUDE D'ESPRIT ET GEOMETRIE.

Longue citation de Pascal. L'esprit de finesse, c'est celui de Talleyrand, c'est aussi celui de Saint-Simon exhibé dans ses *Mémoires*, celui de Balzac et de sa *Comédie humaine* ; c'est encore celui de Rabelais. Celui de César, quasi l'égal de Napoléon.

Celui du joueur d'échec, mais curieusement, c'est aussi celui des géomètres, esprits amples, mais faibles. (Référence à Pascal encore p. 89)

Attention aux termes. « Les géomètres » ne sont pas les géomètres.

Euclide ou Archimède œuvrent en tant qu'esprits « forts et justes », c'est l'abstraction, la déduction rigoureuse, l'analyse philosophique qui règnent dans leurs chefs-d'œuvre. (p. 89)

Les « géomètres » dont parle Pascal (selon Duhem) n'en sont plus. Ce sont des mathématiciens d'un genre nouveau, ceux qui ont « imaginé des procédés qui substituent à cette méthode purement abstraite et déductive une autre méthode où la faculté d'imaginer ait plus de part que la faculté de raisonner » (89)

« Ils représentent les propriétés abstraites par des nombres et des mesure et les soumettent à des manipulations réglées fixement, les règles de l'Algèbre. « Au lieu de déduire, ils *calculent* » (p. 90).

Ainsi Jacobi.

« En maintes circonstances, l'esprit géométrique vient se ranger, auprès de l'esprit de finesse, parmi les esprits amples, mais faibles » (90)

L'AMPLITUDE D'ESPRIT ET L'ESPRIT ANGLAIS

« Chez toutes les nations, on trouve des hommes qui ont l'esprit ample ; mais il est un peuple où l'amplitude d'esprit est à l'état endémique ; c'est le peuple anglais » (90)

Dickens, Georges Elliot : ce qui frappe c'est la longueur et la minutie des descriptions. (90)

Le lecteur français est effrayé et tourne les pages sans les lire. Ces énumérations sont comme un cauchemar. Il voudrait du Pierre Loti, « abstrayant et condensant en trois lignes l'idée essentielle » (91) :

Corneille contre Shakespeare ; Descartes contre Bacon. Longue argumentation pour l'esprit fort et abstrait de Descartes, de la *Méthode*. (92-94) et toute aussi longue contre le fatras et le chaos de Bacon.

Viennent les grands noms des esprits amples mais faibles : Locke, Hume, Bentham, Mill, Darwin, Spencer : ces deux derniers « n'entament pas avec leurs adversaires la savante escrime de la discussion ; ils les écrasent en les lapidant » (96)

Cette opposition entre le « génie français et le génie anglais » se marquent également dans toutes les manifestations de la vie sociale. : le droit, l'histoire acceptée par les anglais comme un chaos « égalitaire », où Cromwell cohabite sans problème avec Charles I^{er}. « Le français veut une histoire claire et simple qui se soit déroulée avec ordre et méthode » (97)

POURQUOI TOUT CECI DANS CET OUVRAGE SUR LA THEORIE PHYSIQUE ?

« Maintenant que nous avons appris à connaître (cet esprit), nous ne nous étonnerons pas (qu'il ait) opposé un type nouveau de théories physiques au type qu'avait conçu l'esprit fort mais étroit. Nous ne nous étonnerons pas de voir ce type nouveau atteindre sa plénitude dans les œuvres de cette « grande école anglaise de physique mathématique » dont les travaux sont une gloire du XIX^e siècle » (98).

LA PHYSIQUE ANGLAISE ET LE MODELE MECANIQUE

A partir de là, va se développer la critique d'un concept essentiel de la physique anglaise, celui de modèle. « Rien ne fait mieux saisir la façon, bien différente de la notre, dont procède l'esprit anglais dans la constitution de la science, que cet usage du modèle » (99)

Sur l'exemple de l'électrostatique, Duhem montre comment un français ou un allemand (représentés par Poisson ou Gauss), par abstraction, formalisation, déduction strictement logique, bâtissent la théorie électromagnétique. Ce physicien « connaît alors les lois des actions mutuelles des corps électrisés, un ensemble de notions abstraites et de propositions générales, formulées dans le langage clair et précis de la géométrie et de l'algèbre, reliées entre elles par les règles d'une sévère logique » (p. 100)

Que font les anglais ?

Long passage de description des ressorts, tubes, perles, poulies et tuyaux des anglais et des justifications par Thomson (100-105). Puis, p. 107-108-109, toujours Thomson et commentaire : la science anglaise rejette l'abstraction et aussi l'explication.

« Le physicien anglais va matérialiser ces lignes, les épaissir jusqu'aux dimensions d'un tube qu'il remplira de caoutchouc vulcanisé ; à la place d'une famille de lignes de forces, concevables seulement par la raison, il aura un paquet de cordes élastiques, visibles et tangibles, solidement collées par leurs extrémités au surfaces des deux conducteurs, distendues, cherchant à la fois à se raccourcir et à grossir etc. Tel est le célèbre modèle des actions électrostatiques imaginé par Faraday, admiré comme une œuvre de génie, par Maxwell et par l'école anglaise toute entière » (100-101).

Viennent d'autres exemples ; il s'agit d'*illustrer*. « La vue du modèle finit par se confondre avec l'intelligence même de la théorie » (102). La théorie électromagnétique (que Thomson dit ne pas comprendre car elle n'a pas encore de modèle mécanique). La théorie de l'élasticité des corps cristallisés, formalisée par Navier et Poisson est transformée en un assemblage de « huit boules rigides, au sommet d'un parallélépipède et reliées entre elles par un nombre suffisant de ressorts » (p. 109)

Le pape de cette physique est William Thomson, Lord Kelvin qui écrit :

« Comprendons-nous ou ne comprenons-nous pas tel sujet de physique ? (se ramène à) Pouvons-nous construire un modèle mécanique correspondant ? » (102-103)

« Si je puis faire un modèle mécanique de l'objet que j'étudie, je comprends ; tant que je ne puis pas faire un modèle mécanique, je ne comprends pas ». (103)

« Comprendre » une situation physique, ce n'est pas « l'expliquer », c'est s'en former une « image » concrète. La phrase clé du modèle, ainsi compris est « tout se passe comme si ».

Peut importe les principes généraux (la cosmologie) qui seraient censés porter la théorie, atomisme, cartésianisme, énergétisme... pourvu que l'image modélisée soit clairement établie. Les questions philosophiques sur la constitution de la matière sont oiseuses et nuisibles au progrès de la science (107)

Et voici un jugement inévitable : « La théorie purement abstraite que Newton a prônée paraîtra bien peu intelligible aux adeptes de cette école » (104). Newton est à l'opposé de l'esprit anglais !

« Chez les grands physiciens de France, de Hollande, de Suisse, d'Allemagne, le sens de l'abstraction peut avoir des défaillances ; il ne sommeille jamais complètement » (105)

Sur ce point, le mécanisme cartésien présente de sérieuses difficultés.

L'ECOLE ANGLAISE ET LA PHYSIQUE MATHÉMATIQUE

Il faut prendre garde à une simplification. La fracture n'est pas entre la physique de modèles mécaniques et la physique mathématisée. Sans doute la théorie combattue par Duhem inclut-elle les premiers, mais aussi une partie des seconds.

La distinction des sortes d'esprit ne se fait pas entre ceux qui s'adonnent aux mathématiques et les autres, mais elle partage les mathématiques elles-mêmes. Il y a des maths qui conviennent aux esprits amples et faibles et des maths qui conviennent aux esprits forts et étroits. Il y a un usage de mathématiques qui est du genre bricolage, comme les ressorts et les tuyaux de Thomson.

Le « pur algébriste » est du côté *anglais, ample, faible, imagitatif* (p.109). Pour cette mathématique, « point n'est besoin de force d'esprit, une grande amplitude suffit ; l'habileté au calcul algébrique n'est pas un don de la raison, mais un apanage de la faculté imaginative » (p. 110)

La distinction traverse l'algèbre elle-même : la classique est pour les forts-étroits, la symbolique pour les amples-faibles.

L'algèbre classique est comme le jeu de dame, pour les forts-étroits, les français, les allemands

L'algèbre symbolique est comme le jeu d'échec, pour les amples mais faibles, les anglais.

Clarifier la p.110-111 sur l'algèbre symbolique qui convient aux anglais. Duhem cite à plusieurs reprises les quaternions et la *vector-analysis*.

De qui s'agit-il ? de Hamilton et de son *calcul des quaternions*, « mais les français pourraient lui opposer la théorie des clés *de Cauchy* (je suppose que ce sont les travaux en algèbre linéaire, précurseurs de la théorie des groupes et sur les endomorphismes) et les allemands l'*Ausdehnungslehre* de Grassmann (qui prépare les théories des espaces vectoriels). De ceci, il n'y a point à s'étonner ; en toute nation se rencontrent des esprits amples » (111)

Bref, chez les « anglais », on a aussi de grands français et allemands.

p.112-113. Examen du rôle du calcul algébrique dans la TP. « Pour un Français ou un Allemand (un fort-étroit, un duhémien), une théorie physique est essentiellement un système logique » (p. 112). Et un point essentiel est l'étape 1 de la TP : « la définition des grandeurs dont elle doit traiter » et l'étape 2 : « la justification des hypothèses qui porteront les déductions » (113). C'est le rôle des *préambules consacrés à la mise en équations* d'une TP.

A partir de là, la déduction logique se déploie. On observe bien que le calcul algébrique n'est pas un modèle.

Duhem nous donne une liste de Français et d'Allemands « qui ont fondé la Physique mathématique » : « Laplace, Fourier, Cauchy, Ampère, Gauss, Franz Neumann » (113). Dans le chapitre, c'est une assimilation franco-allemande...jusqu'à la conception de l'explication.

Or, cette étape, ce préambule n'est pas chez les anglais (les amples-faibles).

Pour illustrer ceci, Duhem développe une critique de Maxwell (113-114). Un nouvel élément va être introduit dans la théorie électrodynamique, le *courant de déplacement*. Il correspond au fait qu'une certaine action électrique a lieu, même dans des corps non conducteurs, dans les diélectriques. C'est le futur champ électrique.

C'est de grande importance et conduit à la théorie électromagnétique : unification des phénomènes optiques, électriques et magnétiques. Des phénomènes imprévus, jamais vus sont annoncés (les ondes *em* de Hertz).

Cette grandeur nouvelle n'est pas introduite par Maxwell selon les normes proposées par Duhem, une définition précise, rationnelle, avec protocole de mesure etc. A la place, on a deux lignes vagues (citées p. 114).

Pourquoi ?

Parce que, là où la TP (le physicien franco allemand) met en équation pour que la logique se déploie avec rigueur, là où l'algèbre n'est qu'un auxiliaire, un aide-mémoire de la déduction logique, le physicien « anglais » fabrique un *modèle* : les équations algébriques jouent le rôle de représentation, d'image des phénomènes. L'algèbre est comme les ressorts et les tuyaux ; cette algèbre est un modèle. (p.115)

La mise en équation n'a pas besoin d'être une rigoureuse traduction logique (arbitraire en un certain sens) ; elle doit soutenir l'imagination, « imiter plus ou moins fidèlement les lois et les phénomènes. »

L'ÉCOLE ANGLAISE ET LA COORDINATION LOGIQUE D'UNE THÉORIE

La distinction entre anglais et continent se complique : au sein des continentaux, deux catégories apparaissent : les explicatifs et les représentatifs.

Pour un esprit ample et faible, celui du physicien anglais, il en va autrement:

"La théorie n'est ni une explication, ni une classification rationnelle des lois physiques; mais un modèle de ces lois; elle n'est pas construite pour la satisfaction de la raison,

mais pour le plaisir de l'imagination; dès lors, elle échappe à la domination de la Logique" (p 117).

Pour un même groupe de lois, le modèle peut varier. Il cite en exemple W.Thomson, Passant à la dispersion de la lumière, il construit une molécule comme une série de sphères concentriques maintenues en place par des ressorts. S'agissant de la polarisation, voici des enveloppes rigides avec chacun deux gyrostats et articulations à billes etc. (cf. p120/1). Et il y en a encore bien d'autres dans "*cette collection d'engins et de mécanismes (qui) déconcerte le lecteur français*"(p122).

Ces modèles mécaniques ne font pas appel à la raison mais à l'imagination, ils *figurent* la matière réelle.

Il montre comment, chez Thomson, les modèles de l'éther sont contradictoires entre eux (p. 121-122)

La même désinvolture par rapport à la cohérence et la rigueur d'ensemble se retrouve dans les travaux mathématiques de Maxwell (que dans les modèles mécaniques de Thomson) (voir son *Traité d'électricité*), travaux qui, pour cette raison ne sont pas de la *traduction symbolique abstraite* mais des modèles commodes, valables seulement localement. C'est précisément cet aspect de valeur "régionale" d'un groupe d'équations, sans considération pour ses effets ou interprétations dans des champs plus ou moins voisins et connexes, qui en fait de simples et vulgaires modèles :

Le *traité d'électricité et de magnétisme* de Maxwell a beau avoir revêtu la forme mathématique ; pas plus que les *Leçons sur la dynamique moléculaire* de W. Thomson, il n'est un système logique. (125)

LA DIFFUSION DES METHODES ANGLAISES

Une forme de rôle militant arrive : il faut comprendre pour les combattre les *méthodes anglaises*.

Duhem pense avoir trouvé un digne représentant français de l'école modéliste, en la personne de Gassendi qui est longuement examiné et caractérisé comme très anglais.

Depuis peu, La manière anglaise de traiter la physique s'est répandue partout avec une extrême rapidité » (126). Ceux qui, sur le continent, ont succombé aux sirènes anglaises, doivent cependant en être distingués et n'abandonnent pas complètement la raison et la logique.

« A aucun moment, les physiciens français ou allemands n'ont, d'eux-mêmes, réduit la théorie physique à n'être qu'une collection de modèles ; cette opinions n'est point née spontanément au sein de la science continentale ; elle est d'importation anglaise » (131)

Le cheval de Troie sur le continent, ce furent les modèles déguisés en mathématiques, c'est-à-dire Maxwell plutôt que Thomson. (131). Pourtant Duhem réserve ses flèches les plus acérées à Maxwell.

"Les raisonnements et les calculs par lesquels Maxwell s'est efforcé, à plusieurs reprises, de les justifier (les équations de l'électrodynamique), abondent en contradictions, en obscurités, en erreurs manifestes; quant à la confirmation que l'expérience leur peut apporter, elle ne saurait être que tout à fait partielle et limitée" (p132)

Longue critique détaillée opposant l'électrodynamique de Hertz-Maxwell à l'électrodynamique de Helmholtz-Duhem. (132-133)

Duhem voit en Poincaré un de ceux qui « a donné libre pratique en France aux méthodes de la physique anglaise » (p. 133), qui a partiellement abdiqué les exigences de la raison et de la rigueur logique. Etant donné sa personnalité, il est hautement responsable de leur diffusion.

Les trois pages qui suivent (134-137) sont particulièrement notables. Duhem laisse libre cours à son hostilité et exhibe les dangers que font courir ces méthodes anglaises. Ce sont trois pages très externalistes, mais elles sont belles. Elles posent au cœur de la question, la liaison de la théorie scientifique et de l'industrie. On peut d'ailleurs y voir un argument *ad hominem* pour Poincaré.

« D'ailleurs, l'admiration...difficultés imprévues ».

FAIBLE FECONDITE DES MODELES (P.137)

Contrairement à une idée aujourd'hui (en 1905) admise, y compris par leurs auteurs, les modèles mécaniques où localement algébriques n'ont pas grande efficacité, ne produisent pas grand résultat. Loin d'inspirer d'importantes découvertes, ils ont en général été conçus, élaborés *a posteriori*, dans l'élan d'une découverte qui, toujours en général, est fondée sur une théorie abstraite cachée, ou tue.

« Le lecteur non prévenu, celui à qui manque le loisir de faire des recherches historiques et de remonter aux origines, peut être dupe de cette supercherie » (p.138)

Avant, en arrière plan du modèle, il y a la traduction symbolique.

Duhem accumule les exemples: Maxwell et ses "équations-modèles" sont en vérité juchés sur les épaules de Gibbs et de sa grande théorie physico-chimique. Le plus célèbre des physiciens tenants des modèles, Lord Kelvin inspire à Duhem ce jugement :

"Le physicien qui a le plus formellement identifié l'intelligence d'une théorie et la vision d'un modèle, lord Kelvin, s'est illustré par d'admirables découvertes; nous n'en voyons aucune qui lui ait été suggérée par la physique imaginative. " (p143).

« La part de butin qu'elle a versée à la masse de nos connaissances semble bien maigre lorsqu'on la compare aux opulentes conquêtes des théories abstraites » (p.145)

La théorie de Gibbs (1839, 1903). Surmontant la critique des énergétistes, la théorie cinétique de la matière (Boltzmann et Gibbs) prit la forme de la mécanique statistique, elle interpréta ainsi les lois des états gazeux et donna un sens profond au second principe de la thermodynamique ; elle rend compte du mouvement brownien, reflet, à notre échelle, de l'agitation chaotique des molécules et, au fond, de la structure discontinue de la matière.

Bref, c'est la théorie abstraite qui est fertile, les modèles sont plutôt stériles pour inventer ; utiles pour exposer (et encore !).

- La valeur de l'analogie.

Autant le modèle est un bien faible outil, autant il convient de ne pas le confondre avec l'analogie qui n'est pas de même nature dont l'utilité, l'efficacité est considérable :

"L'histoire de la physique nous montre que la recherche des analogies entre deux catégories distinctes de phénomènes a peut-être été, de tous les procédés mis en œuvre

pour construire des théories physiques, la méthode la plus sûre et la plus féconde" (p140)

Son analogie est très précisément définie ou délimitée, sur le mode, soit d'une classe d'équivalence, soit celui d'un isomorphisme. L'exemple proposé est celui de l'équivalence algébrique des états d'équilibre des corps chauds et de l'électrostatique. Ohm et Fourier, sur électricité et chaleur (p.141)

Ayant toutefois admis que l'emploi des modèles mécaniques a pu guider certains physiciens

"du moins est-il certain qu'il n'a point apporté aux progrès de la physique cette riche contribution qu'on nous vantait; la part de butin qu'il a versé à la masse de nos connaissances semble bien maigre lorsqu'on le compare aux opulentes conquêtes des théories abstraites".(p145)

Avec argument pour ne pas confondre « analogie et modèle » (p.142)v. L'analogie ne contrevient pas à la logique.

COMMENT RESISTER AUX MODELES ?

La tolérance méthodologique devrait régner car

« le meilleur moyen de favoriser le développement de la science, c'est de permettre à chaque forme intellectuelle de se développer suivant ses propres lois et de réaliser pleinement son type ...C'est en un mot, de ne pas contraindre les Anglais de penser à la française, ni les Français de penser à l'anglaise.» (p.146)

Mais, selon Duhem, la situation est plutôt une pression des *modélisateurs* contre la liberté ou la possibilité de pratiquer la science abstraite et représentative.

Contre les modèles imaginatifs, leur déferlement intolérant (voir p.147 : le danger est qu'ils interdisent la méthode *logique* et abstraite), la conception explicative est impuissante ; seule la conception représentative est efficace.

En effet, les « explicatifs » ne peuvent comprendre pourquoi les modèles disparates sont efficaces, puisque, étant disparates, ils contreviennent forcément à la vérité. En revanche, les « représentatif » admet sans difficulté (car la logique le lui autorise) que l'on emploie « des procédés de classification différents ».

La théorie explicative doit, de toute nécessité, éviter jusqu'à l'apparence d'une contradiction ». (la matière ne peut être une chose et son contraire). Elle **ne peut pas** admettre des hypothèses logiquement inconciliables. Elle ne peut pas reconnaître les performances des modèles.

D'où tirons-nous argument en faveur de la coordination nécessaire de la théorie physique ? Pas de la seule logique, ni du principe de contradiction, ni de l'économie de pensée,

Cette opinion est légitime parce qu'elle résulte en nous d'un sentiment inné...qu'il n'est pas possible d'étouffer complètement. .. Tout physicien aspire naturellement à l'unité de la science (p.151)

La raison La raison n'a donc point d'argument logique pour arrêter une théorie physique qui voudrait briser les chaînes de la rigueur logique ; mais la " nature soutient la raison impuissante et l'empêche d'extravaguer jusqu'à ce point. (Pascal, *Pensées*,8)

Vincent Jullien