HAL open science

La physique du XIXe siècle face au concept de paradigme

T. Masson

▶ To cite this version:

T. Masson. La physique du XIXe siècle face au concept de paradigme. L'épistémologique et interdisciplinarité, A paraître. hal-01632657

HAL Id: hal-01632657
https://hal.science/hal-01632657v1

Submitted on 10 Nov 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

La physique du XIXe siècle face au concept de paradigme

T. Masson

Centre de Physique Théorique (UMR 7332)
Aix Marseille Univ, Université de Toulon, CNRS, CPT, Marseille, France
Membre associé au CEPERC (UMR 7304), Aix Marseille Univ, France

Résumé

Nous interrogeons la pertinence du concept de paradigme de Kuhn, ainsi que de son schéma des révolutions scientifiques, en les confrontant à l'histoire des fluides impondérables au XIXe siècle au sein de la thermodynamique et de l'électromagnétisme.

1 Introduction

Le concept de « paradigme », introduit par Kuhn (Kuhn, 2008), suppose des paliers dans le développement du savoir scientifique. Chaque palier est une « science normale » qui fait référence à une normalisation sur le fond du savoir et dans sa pratique. Dans le schéma de Kuhn, ce palier se fragilise parfois dans une « anomalie », signe d'une incapacité à expliquer certains phénomènes, c'est-à-dire à les *insérer de façon cohérente dans le paradigme partagé*. Cette crise peut alors déboucher sur une « révolution » qui remplace le paradigme en place : en effet, après quelques années de recherches, un nouveau palier est atteint et l'activité scientifique se développe de nouveau au sein d'une autre « science normale ». Compte-tenu du lien conceptuel étroit qui les relie, il est impossible de s'interroger sur le concept de paradigme sans s'interroger en même temps sur celui de « révolutions scientifiques ».

Bien que comportant des éléments convaincants, comme beaucoup de tentatives d'explication de la démarche scientifique, et plus encore de sa théorisation, ce schéma ne peut s'appliquer de façon universelle à toutes les périodes de l'histoire des sciences.

Dans cet exposé, je me propose de prendre comme support à la réflexion sur la pertinence de la notion de paradigme et des révolutions scientifiques, l'histoire des fluides impondérables à travers le XIXe siècle. Je renvoie le lecteur à deux livres sur le sujet traité ici : le premier retrace l'histoire des fluides impondérables au XIXe siècle (Harman, 1982) ; le second reconstitue l'histoire de l'électromagnétisme d'Ampère à Einstein (Darrigol, 2003).

La thèse de mon exposé est que la physique du XIXe siècle ne répond pas de façon satisfaisante au schéma « des révolutions scientifiques » proposé par Kuhn. Bien entendu, la physique du XIXe siècle a été élaborée dans le cadre d'une théorie « de référence » : le paradigme de la mécanique de Newton. Les chercheurs ont presque toujours fait référence aux concepts de cette théorie (essentiellement celui de force entre corpuscules), et ils ont toujours cherché à concevoir leurs idées nouvelles dans ce cadre de pensée. Le XIXe siècle est en effet

rempli de nombreuses tentatives de « mécanisation » de la physique : l'électromagnétisme de Maxwell a d'abord été élaboré à l'aide d'une analogie avec la mécanique des milieux continus.

Cet exposé se propose de retracer très partiellement l'évolution de quelques découvertes importantes du XIXe siècle, avec comme fil conducteur le devenir des fluides impondérables, et d'en tirer des conclusions sur la notion de paradigme.

2 Les fluides impondérables en physique

La notion de *fluide impondérable* a joué un grand rôle aux XVIIIe et XIXe siècles. Énoncée en 1687, la mécanique classique développée par I. Newton est devenue une référence pour la physique au XVIIIe siècle. Sa simplicité « axiomatique » (l'espace et le temps absolus, la loi fondamentale de Newton $m\vec{a} = \vec{F}$), sa précision (en astronomie notamment), sa mathématisation rigoureuse (développée par la suite sous différentes formes par J.-L. Lagrange et W. R. Hamilton par exemple), en font le cadre idéal pour y incorporer les phénomènes « non mécaniques » qu'il reste à expliquer à la fin du XVIIIe siècle.

Mais certains phénomènes résistent encore à l'analyse et à la compréhension et ne semblent pas pouvoir se décrire dans ce cadre. La combustion, la chaleur, l'électricité, le magnétisme, la lumière… sont souvent perçus, à la fin du XVIIIe siècle, comme la manifestation de fluides non soumis à la loi fondamentale de la mécanique de Newton. Ils sont considérés comme *impondérables*, ce qui les rend insensibles aux forces usuelles. Leur avantage est de préserver le cadre théorique de la mécanique de Newton, en lui adjoignant des fluides non corpusculaires,[1] dont il « suffit » de déterminer les propriétés et le comportement pour expliquer ces phénomènes non encore incorporés à la théorie.

La notion de fluide « pondérable » (les liquides par exemple) s'intègre très bien dans le cadre de la théorie de Newton et elle s'inscrit dans le programme plus large de la mécanique des milieux continus, dont la finalité est de décrire et de comprendre la déformation des solides ainsi que l'écoulement des fluides. Les physiciens du XIXe siècle apprennent donc à maîtriser les mathématiques nouvelles des théories des fluides et des milieux continus et ils apprennent aussi à mener des « raisonnements physiques » à l'aide de ces concepts.

Ainsi, les fluides impondérables sont conçus comme généralisations des fluides pondérables et ils obéissent à des lois et des principes différents. Détecter ces fluides et caractériser leur comportement et leurs propriétés est une activité qui occupe de nombreux physiciens au début du XIXe siècle.

3 Le phlogiston et le calorique

La théorie du *phlogistique*, élaborée au début du XVIIIe siècle par G. E. Stahl pour expliquer la combustion dans le cadre de la théorie des quatre éléments d'Empédocle, postule l'existence d'un « élément-feu », le phlogiston, présent au sein des corps combustibles, et qui, en se dégageant lors d'une combustion, produit la flamme. Ce fluide est considéré comme impondérable, incolore, inodore…

---

[1] Le corpuscule est un des concepts fondamentaux de la mécanique de Newton.

Après la mise en place de la pesée précise des corps combustibles et des produits de combustion (par A. Lavoisier en particulier), on s'est aperçu que ces produits sont souvent plus lourds que les corps. Cela semble indiquer que le phlogiston a non seulement une masse, mais qu'en plus elle devrait être négative ! À la fin du XVIIIe siècle, Lavoisier propose une théorie de la combustion dans laquelle le phlogiston n'est pas nécessaire : dans cette théorie, l'oxygène de l'air s'assemble au corps combustible, ce qui explique le gain de masse dans les produits de combustion.

Il reste cependant à expliquer le dégagement de chaleur associé à une combustion. Lavoisier propose de promouvoir la théorie du *calorique*, un fluide impondérable assimilé à la *chaleur* dégagée lors de la combustion. La théorie du calorique est utilisée au début du XIXe siècle dans le cadre de la thermodynamique naissance, la science des échanges de chaleurs et de production de travail. La machine à vapeur est ainsi idéalisée par S. Carnot sous forme d'un transport de calorique d'une source chaude vers une source froide.

Dans les années 1840, J. Joule transforme du travail en chaleur et démontre ainsi expérimentalement l'équivalence de la chaleur et de l'énergie mécanique. Ces expériences remettent en question le calorique : l'augmentation de chaleur ne peut plus s'expliquer comme le transfert d'un fluide. Joule va plus loin encore : il établit des correspondances semblables entre la mécanique, la chaleur, l'électricité et la chimie…

Suite aux travaux de Joule, H. von Helmholtz, W. Thomson et W. Rankine, R. Clausius énonce en 1850 le *principe de conservation de l'énergie*, qui devient la première loi fondamentale de la thermodynamique.[2] L'énoncé de Clausius introduit d'une part le concept d'énergie, plus large que celui d'énergie mécanique jusqu'alors considéré, et il précise d'autre part que cette grandeur est conservée dans tous les processus. C'est un *principe unificateur* puisqu'il établit l'*identité* de toutes les formes d'énergie.

Dès les années 1850, ce principe sert de cadre de pensée à une vision mécaniste (à la Newton) des phénomènes thermodynamiques, dans laquelle il n'est plus nécessaire de faire appel à d'autres « substances » que la matière ordinaire. Il marque donc la fin définitive du fluide calorique.

Ce principe est une des plus grandes découvertes scientifiques de tous les temps. Mais il n'entre pas dans le cadre des paradigmes de Kuhn : pas de crise antérieure, pas de révolution, juste une lente et confiante progression d'idées, étayée au fur et à mesure par des expériences pertinentes et convaincantes.

4 Lumière, électricité et magnétisme

La nature de la lumière, corpusculaire *versus* ondulatoire, a longtemps été débattue. Au XVIIe siècle, Ch. Huygens propose une théorie ondulatoire, concevant la lumière comme une onde de vibrations d'un milieu remplissant l'espace, qu'il nomme l'éther ; tandis que Newton propose une théorie corpusculaire, dans laquelle les grains de lumière sont soumis à des forces au même titre que la matière ordinaire. Le modèle de Newton, incapable d'expliquer certains phénomènes (la diffraction par exemple), est complété par l'ajout de phénomènes

[2] La seconde loi fondamentale de la thermodynamique, énoncée en 1865 par Clausius, concerne l'irréversibilité et utilise le concept d'*entropie*.

ondulatoires produits par les corpuscules de lumière dans un milieu rigide, auquel il donne aussi le nom d'éther.

Au XVIIIe siècle, le succès de la mécanique de Newton impose avec lui le modèle corpusculaire de la lumière. Mais en 1801, Th. Young réalise une expérience cruciale qui démontre la nature ondulatoire de la lumière : il parvient à créer des franges d'interférences avec la lumière, phénomène qui ne peut s'expliquer que dans le cadre d'un modèle de vibrations d'un milieu continu (comme les ondes à la surface d'une eau calme).

Dans les années 1820, A. Fresnel construit un modèle mathématique ondulatoire complet de la lumière. Il se base à la fois sur ses propres expériences et sur sa maîtrise des mathématiques. Son modèle explique tous les phénomènes lumineux connus. Il repose sur deux hypothèses importantes : la lumière est une onde de vibrations d'un milieu continu, l'*éther luminifère* ; les ondes sont transversales (le mouvement vibratoire est perpendiculaire à la direction de propagation).

En 1850, L. Foucault compare la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau : cette expérience permet de départager le modèle de Newton de celui de Huygens (qui prédisent sur ce sujet des résultats différents) et favorise l'hypothèse ondulatoire.

La communauté scientifique abandonne donc le modèle corpusculaire de la lumière, en faveur d'un modèle d'ondes de vibrations d'un fluide impondérable, l'éther luminifère, qu'il ne reste plus désormais qu'à caractériser. Mais assez rapidement, il se révèle que ce fluide doit avoir des propriétés étranges (du moins si on le compare à un fluide « ordinaire ») en termes de rigidité, d'élasticité, d'incompressibilité… De plus, malgré des efforts répétés, ce fluide n'est jamais mis en évidence.

Le XVIIIe se termine aussi avec une certaine confusion en ce qui concerne les phénomènes électriques et magnétiques. Depuis l'antiquité, ces phénomènes se refusent à toute explication. Des progrès techniques, comme les machines électrostatiques, la pile de Volta, les bouteilles de Leyde pour « stocker l'électricité », permettent des expérimentations mieux maîtrisées.

Mais la nature de l'électricité et celle du magnétisme restent mystérieuses et plusieurs modèles sont proposés. Presque tous ces modèles reposent sur des fluides impondérables : un ou plusieurs fluides pour l'électricité, un fluide magnétique (notion encore utilisée en ésotérisme…). La confusion s'accroît lorsqu'on découvre plusieurs façons de produire de l'électricité : le fluide électrique produit par une machine électrostatique est-il le même que celui produit par la pile de Volta ? Les expériences de L. Galvani, qui produisent des réactions musculaires en électrisant les nerfs des pattes d'une grenouille, mettent elles en évidence une « électricité animale » (un « fluide vital ») différente des autres formes d'électricité ?

Une série d'études des phénomènes électriques et magnétiques commence donc dès la fin du XVIIIe siècle, en particulier sous l'impulsion et l'influence de P. S. de Laplace, dont la démarche, dans l'esprit newtonien, repose principalement sur des expérimentations systématiques et une quantification mathématique rigoureuse et avancée en termes de forces centrales entre corpuscules. C'est dans ce contexte que Ch.-A. Coulomb donne en 1785 la forme mathématique de la force entre deux corps chargés, semblable à la force de gravitation proposée par Newton.

En 1820, H. Ch. Ørsted découvre un lien entre phénomènes électriques et phénomènes magnétiques : cela ouvre la porte à un vaste programme de recherche, l'*électrodynamique*. Dans les années 1830, A.-M. Ampère étudie et quantifie les premières lois de cette discipline,

en termes de forces entre des fils parcourus par des courants électriques. En même temps, l'anglais M. Faraday, autodidacte et mal à l'aise avec les mathématiques, conduit des expériences sur le même sujet. Son approche est très différente, puisqu'elle repose sur une dextérité expérimentale extraordinaire, une exploration méthodique des phénomènes et des intuitions admirables. Il se démarque ainsi d'une approche trop mathématique qu'il juge stérile. De ses expériences, Faraday conçoit que les forces électriques et magnétiques sont transmises entre particules par un milieu ambiant, dans lequel s'établissent et s'organisent des « lignes de forces ». L'intuition de Faraday diffuse petit à petit dans l'école anglaise, d'abord à travers les travaux mathématiques de W. Thomson, qui y trouve une analogie avec la propagation de la chaleur (théorie mathématique de J. Fourier) et avec la mécanique des milieux continus.

Comme on peut le constater, les méthodes de l'école française (mais aussi celles de l'école allemande) diffèrent des méthodes de l'école anglaise, aussi bien dans leur interprétation des faits que dans leur finalité. Il est patent que ces écoles ne partagent pas le même « paradigme ». L'école continentale cherche des lois mathématiques en termes de forces, acceptant au passage les actions à distance instantanées, alors que l'école anglaise recherche une action par propagation dans (ou par) un milieu ambiant.[3] Il ressort des travaux conjoints de Faraday et Thomson un concept novateur et pertinent, celui de *champ*, c'est à dire d'une grandeur attachée continûment à chaque point de l'espace et pouvant varier dans le temps.

Au début des années 1850, J. C. Maxwell reconstruit, via une analogie mécanique avec un fluide incompressible qui est le siège de tourbillons (*vortex*), les mathématiques des lois découvertes par ses prédécesseurs. Il propose, au début des années 1860, un ensemble d'équations qui synthétisent toutes les lois connues des phénomènes électriques et magnétiques (Maxwell, 1873). À sa grande satisfaction, son modèle électromagnétique contient aussi une explication des ondes de lumière (en tant qu'ondes électromagnétiques), telles que Fresnel les avait caractérisées techniquement. En 1888, H. Hertz démontre l'existence des ondes électromagnétiques (dans le domaine appelé aujourd'hui radio) et confirme ainsi la prédiction de Maxwell.

Les successeurs de Maxwell approfondissent sa synthèse, la simplifient et la reformulent. Une étape importante est de débarrasser ces équations et leur « compréhension » de toute analogie mécanique.

La nature des champs électriques et magnétiques, ainsi que leur propagation dans le vide sous forme d'ondes « lumineuses »,[4] est l'objet de spéculations, qui convergent toutes vers un *éther électromagnétique* unique : les champs électriques et magnétiques sont des états de contraintes de ce fluide impondérable. Tout comme l'éther luminifère de Fresnel (qu'il remplace), l'éther électromagnétique doit avoir des propriétés étranges, voire contradictoires. L'intérêt de la communauté scientifique se reporte donc sur l'étude, la caractérisation et la détection de ce fluide.

Ainsi, entre la fin du XVIIIe siècle et la fin du XIXe siècle, s'est produit un changement radical dans la conception des phénomènes lumineux, électriques et magnétiques. Les

---

[3] Il est paradoxal que l'école continentale se soit montrée plus newtonienne que l'école anglaise…

[4] Les ondes « strictement » lumineuses, c'est-à-dire que notre œil peut voir, ne forment qu'une infime partie de tout le spectre électromagnétique.

nombreux fluides impondérables *constituants* les phénomènes (fluides électriques et magnétiques) sont remplacés, après la synthèse de Maxwell, par un *unique* fluide impondérable qui devient cette fois *support* de propagation des phénomènes.

5 Un siècle d'évolution

Le XIXe siècle est aussi celui de l'élaboration et de la mise en place de la théorie microscopique de la matière. Dans la seconde moitié du siècle, R. Clausius, J. C. Maxwell, L. Boltzmann et W. Gibbs développent la théorie cinétique des gaz, qui repose sur l'hypothèse qu'un gaz est constitué de « grains de matière » microscopiques en très grand nombre (des *molécules*). Cette théorie permet de retrouver (et de justifier) les principes de la thermodynamique.

D'autre part, l'histoire de l'électromagnétisme ne s'arrête pas aux équations de Maxwell : le problème de la nature des courants et des charges électriques reste en suspens. Dans l'approche maxwellienne, il y a prévalence du concept de champs : les courants et les charges se dérivent des champs électriques et magnétiques.

L'électrolyse (décomposition chimique induite par un courant électrique) met en évidence un « quanta de charge » minimal[5] et en 1897, les rayons cathodiques sont compris en terme d'un « corpuscule » plus petit que l'atome (la première particule « subatomique »), qui se révèlera par la suite porter ce quanta de charge : cette particule est baptisé *électron*[6] (Arabatzis, 2006).

Les courants électriques ne sont plus alors des phénomènes émergeant du champ électromagnétique (modèle maxwellien), mais bel et bien un mouvement de « grains » de matière ordinaire (pondérable) portant des charges électriques définies, multiples de la charge élémentaire portée par l'électron.

En 1895, H. Lorentz réalise une synthèse des équations des champs électromagnétiques et des courants de charge : dans son modèle, le champ électromagnétique a pour source les courants de particules chargées (équations de Maxwell « avec courant ») ; les particules chargées subissent une force due au champ électromagnétique (force de Lorentz). Cette synthèse décrit tous les phénomènes connus de l'électrodynamique.

Le XXe siècle débute ainsi avec un modèle *microscopique* des phénomènes électromagnétiques, dans lequel ne subsiste plus qu'un seul fluide impondérable, et avec une théorie complète de la thermodynamique (expliquée elle-même par la théorie microscopique de la cinétique des gaz).

Mais le schéma des paradigmes de Kuhn ne peut pas s'appliquer tel quel pour décrire (et expliquer) ces progrès scientifiques. Si le modèle électromagnétique s'inscrit bien dans le paradigme de la mécanique de Newton, il n'en forme pas une révolution (la révolution aura lieu plus tard, voir plus loin). De plus, la thermodynamique ne s'inscrit pas dans le paradigme de la mécanique de Newton, puisque ni l'espace ni le temps ne sont des concepts fondamentaux de cette théorie.

Une révolution ne peut avoir lieu que s'il y a d'abord un consensus en place. Or, l'histoire

---

[5] Helmholtz le désigne par « l'atome d'électricité ».
[6] Le nom choisi pas G. J. Stoney pour l'atome d'électricité.

scientifique du XIXe est une perpétuelle remise en question d'idées et de conceptions, parfois abandonnées rapidement, et qui n'ont jamais atteint le stade de « paradigme ». L'impression donnée à la lecture de cette histoire est celle d'une grande « confusion » dans le choix des concepts à utiliser, dans le choix des modèles élaborés, et dans l'interprétation des expériences. Mais confusion n'est pas crise et les solutions apportées ne sont en rien des révolutions.[7]

6 La fin de l'éther

À la fin du XIXe siècle, l'éther électromagnétique résiste à toute tentative de détection, directe ou indirecte. Depuis la théorie de Fresnel, se pose la question de son entraînement par le mouvement de la Terre : A. A. Michelson et E. Morley montrent en 1887 qu'on ne détecte aucun mouvement de la Terre par rapport à l'éther. Cette expérience « négative » n'est pas conforme aux attentes du modèle.

Lorentz trouve une solution en considérant deux référentiels. Le premier est au repos par rapport à l'éther : les équations de Maxwell-Lorentz s'y appliquent. Le second est en mouvement uniforme par rapport à l'éther : dans ce référentiel, les longueurs se contractent dans la direction du mouvement, ce qui permet d'expliquer le résultat négatif de l'expérience de Michelson et Morley. Le passage d'un référentiel à l'autre s'effectue à l'aide de transformations que Lorentz déduit de la structure des équations de Maxwell, mais il ne croit pas en la réalité des nouvelles coordonnées dans le second, qu'il considère comme fictives (un artifice de calcul).

À partir de 1886, H. Poincaré s'intéresse aux différents modèles électromagnétiques et son intérêt se porte sur des questions plus fondamentales : les théories électromagnétiques respectent-elles les principes de la mécanique ? Il formalise le *principe de relativité* : les lois de la physique ne doivent pas dépendre du référentiel galiléen[8] dans lequel on décrit les phénomènes. Mais les équations de Maxwell-Lorentz violent le principe de relativité à cause de la distinction entre référentiel au repos et référentiel en mouvement par rapport à l'éther.

Poincaré axiomatise les transformations de Lorentz sous forme d'un groupe de symétries des équations de Maxwell-Lorentz (le groupe de Lorentz) et il considère que les coordonnées dans les référentiels en mouvement par rapport à l'éther sont « apparentes », par opposition aux coordonnées « vraies » du référentiel au repos. Bien qu'apparentes, ces coordonnées fournissent le temps et les longueurs *mesurées* dans ce référentiel, ce qui permet une invariance *formelle* de la théorie et en même temps une invariance physique *vraie* (fondée sur la mesure).

En 1905, A. Einstein prend pour guide l'électromagnétisme mais ne s'y restreint pas (contrairement à Lorentz et Poincaré). Il remplace la théorie de la mécanique classique de Newton par une nouvelle théorie qui repose sur deux principes : le principe de relativité

---

[7] L'absence de « manuels scientifiques » sur les fluides impondérables confirme qu'aucun paragime n'était en place à cette époque. Dans cette situation, il faut alors faire appel au concept de « période pré-paradigmatique » de Kuhn.

[8] Un référentiel est galiléen si la loi fondamentale de Newton s'y applique. Deux référentiels galiléens sont toujours en mouvement à vitesse constante l'un par rapport à l'autre. Ce sont les référentiels pour lesquels Lorentz a établi ses transformations.

(souverain pour toutes les lois de la physique) ; le principe de constance de la vitesse de la lumière (cette vitesse est la même dans tous les référentiels galiléens). Il déduit alors les transformations de Lorentz *sans faire référence aux équations de Maxwell-Lorentz* et il montre que cette nouvelle cinématique reproduit mathématiquement les travaux de Lorentz et Poincaré, mais débarrassés de tout problème « interprétatif » quant au temps et à l'espace, qui deviennent des notions « non absolus », puisque relatives au référentiel dans lequel on se place.

Dans cette nouvelle cinématique, le principe de relativité interdit l'existence du référentiel « au repos » considéré par Lorentz et Poincaré : l'éther devient une hypothèse inutile. Le dernier fluide impondérable doit s'effacer de la scène, et avec lui toutes les difficultés qu'il soulevait.

La nouvelle théorie mise en place par Einstein est la *relativité restreinte*.[9] Elle résout une crise « à la Kuhn ». Poincaré avait constaté l'incompatibilité du modèle électromagnétique par rapport à la théorie de la mécanique classique dans laquelle ce modèle devait prendre place. La solution d'Einstein a consisté à construire une théorie susceptible d'*incorporer* le modèle électromagnétique de Maxwell-Lorentz, sans toucher à ce dernier, avec ses acquis et ses succès !

Cette révolution illustre parfaitement la crise d'un paradigme, qui se trouve incapable d'insérer de façon cohérente un ensemble de phénomènes.

7 Conclusion

Nous avons pris l'histoire de la physique du XIXe siècle, et plus particulièrement celle des fluides impondérables au sein de la thermodynamique et de l'électromagnétisme, comme source de réflexion sur la pertinence du concept de paradigme de Kuhn et de son schéma des révolutions scientifiques. Il est certain que Kuhn propose un vision simplifiée, car conceptualisée, du progrès scientifique : on ne peut donc pas s'attendre à une adéquation parfaite avec la réalité des faits.

Il faut remarquer que, selon Kuhn, la « science normale » doit être partagée par une communauté, ce qui suppose donc une certaine extension spatiale (quelques instituts, un pays, un continent ?). Elle doit aussi durer un certain temps, puisque cette science doit diffuser dans la formation des praticiens de la science (point sur lequel Kuhn insiste).

Or, les fluides impondérables constituent un contre-exemple à l'idée du paradigme comme « science normale », puisque ces fluides n'ont jamais cessé d'être questionnés, d'être conçus de façons différentes selon certaines écoles de pensées (qui peuvent se réduire parfois à un seul individu !), et rapidement remis en question ou carrément supprimés pour des explications plus pertinentes. La confusion mentionnée à la fin de la Section 5 illustre ce point. Pour sauver la pertinence de la notion de paradigme, il faudrait donc réduire ce concept à *des* sciences normales (au pluriel), dispersées et localisées dans l'espace et le temps. Ce n'est probablement pas l'esprit de la pensée de Kuhn lorsqu'il a proposé ce concept épistémologique.

D'autre part, l'exemple de l'électromagnétisme met en lumière deux courants de pensée :

[9] Restreinte, car elle ne concerne que les référentiels galiléens.

le premier (sur le continent) était ancré sur les principes de la mécanique de Newton ; le second (en Angleterre), plus audacieux, a conçu une nouvelle démarche à l'aide de nouveaux outils qui fourniront le concept de champ. Il ressort donc que le premier courant a utilisé le paradigme de la mécanique de Newton, alors que l'autre courant a ignoré, dès le départ, toute forme de paradigme. On peut certainement attribuer cette attitude à la personnalité singulière de Faraday qui ne maîtrisait pas suffisamment l'outil mathématique pour s'enfermer dans le cadre conceptuel de la mécanique de Newton. Quant à la théorie de la thermodynamique, elle a dû inventer ses propres concepts au fur et à mesure de l'apparition de modèles qui l'ont finalement construite.

L'utilisation d'un paradigme, lorsque paradigme il y a, semble donc correspondre à l'utilisation du cadre de pensée donné par une théorie et ses principes (aussi bien théoriques qu'expérimentaux). C'est donc une approche « par le haut », et un paradigme ne serait en somme qu'une théorie (*principle theories* selon Einstein, 1922). Cela n'empêche pas des approches de l'activité scientifique « par le bas », à travers des modèles (*constructive theories* selon Einstein, 1922), qui peu à peu peuvent définir une théorie (la thermodynamique en est un exemple) : le concept de paradigme ne semble alors pas très pertinent dans ce cas. Concernant les « révolutions », la situation semble confirmer cette possible identification : les révolutions de la relativité restreinte et de la mécanique quantique correspondent bien à un changement de théories et non de modèles.

Il n'est donc pas certain que le schéma de Kuhn soit l'unique grille de lecture des transformations du XIXe siècle. Ce schéma est vulnérable face aux progrès de la science physique de ce siècle, bien qu'il reste pertinent dans d'autres situations (surtout sur des « points » particuliers pour lesquels il a été conceptualisé). De façon générale, théoriser la démarche scientifique reste un exercice difficile, voire utopique, compte-tenu de la diversité (passée et à venir) des circonstances qui composent l'histoire des sciences.

Les paradigmes actuels en physique sont connus : d'une part la physique des particules, fondée sur les mathématiques de la théorie quantique des champs ; d'autre part la gravitation et la cosmologie, fondées sur les mathématiques de la relativité générale. Mais ces paradigmes sont en crises : matière et énergie noires restent insolubles[10] dans ces cadres théoriques formels. À quand la prochaine révolution scientifique pour résoudre cette crise ?

Remerciements

Je tiens à remercier les organisateurs des tables rondes interdisciplinaire *Inter+sections* pour m'avoir invité à exposer mon point de vue de physicien lors de la table ronde sur le paradigme. Je remercie J. François et G. Giovannetti pour leur relecture attentive et leurs commentaires.

Références

[10] On peut ici entendre « insoluble » dans ses deux sens : qu'on ne peut pas résoudre et qu'on ne peut pas dissoudre…

T. Arabatzis. *Representing electrons : A biographical approach to theoretical entities*. University of Chicago Press, 2006.
O. Darrigol. *Electrodynamics from Ampère to Einstein*. Oxford University Press, 2003.
A. Einstein. On the Present Crisis of Theoretical Physics. *Kaizo*, 4(12) :1–8, 1922.
P. M. Harman. *Energy, Force, and Matter - The Conceptual Development of Nineteenth Century Physics*. Cambridge, Cambridge University Press, 1982.
T. S. Kuhn. *La structure des révolutions scientifiques*. Champs Sciences. Flammarion, 2008.
J. C. Maxwell. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Oxford, 1873.