# Histoire des sciences physiques : des révolutions oubliées

par J.C. COMPAIN
Lycée Jacques Decour, 75009 Paris

## INTRODUCTION

Les manuels de sciences physiques présentent souvent la science comme un vaste édifice pyramidal, chaque chercheur ayant apporté sa pierre, indispensable à la solidité de l'ensemble. Un scientifique illustre disait, «Par la superposition et la convergence de leurs efforts, des générations de savants, au prix d'erreurs et d'insuccès sans nombre, sont parvenus à construire l'immense édifice de la science moderne qui chaque jour s'élève et s'étend davantage». Cette vision de L. de Broglie est bien dans la lignée de la pensée du sociologue Popper [1], et valorise particulièrement le rôle du professeur de science expérimentale, «gardien du temple sacré». Cependant, cette vision séduit paradoxalement plus qu'elle ne prouve. Cet article présente une autre vision de la science, moins cumulative, moins parfaite, mais peut-être aussi moins froide. Il montre comment les théories scientifiques naissent, vivent et meurent même parfois ; il montre pourquoi l'enseignant ne rend généralement pas compte de ces aspects de l'histoire des sciences qu'il déforme ou qu'il ignore au profit du seul aspect que revêt la science d'aujoud'hui.

## 1. UNE THÉORIE SUR LES SCIENCES EXPÉRIMENTALES

### 1.1. La notion de vérité en sciences expérimentales

La notion de vérité pose un problème majeur en sciences expérimentales. Quand dit-on qu'une loi ou une théorie est vraie ? A première vue, on peut répondre que c'est quand elle est cohérente avec les faits expérimentaux. La vérité vraie, intrinsèque et universelle, cela n'existe pas ; la vérité est seconde par rapport à l'expérience. Ce n'est pas neuf, Buffon [2] disait déjà : «Les vérités physiques, au contraire (des vérités mathématiques), ne sont nullement arbitraires et ne dépendent point de

nous, au lieu d'être fondées sur des suppositions que nous ayons faites, elles ne sont appuyées que sur des faits : une suite de faits semblables ou, si l'on veut, une répétition fréquente et une succession non interrompue des mêmes événements, fait l'essence de la vérité physique ; ce qu'on appelle vérité physique n'est donc qu'une probabilité, mais une probabilité si grande qu'elle équivaut à une certitude (...) on va de définition en définition dans les sciences abstraites, on marche d'observation en observation dans les sciences réelles : dans les premières on arrive à l'évidence, dans les dernières à la certitude». Cela ne veut pas dire que la théorie doive toujours suivre chronologiquement l'expérience. Au contraire, née de l'expérience elle doit la nourrir à son tour, la susciter, la devancer. Le va-et-vient entre le concret et la théorie est le moteur de la pensée scientifique. Mais, la théorie doit être validée, a priori ou a posteriori par l'expérience, faute de quoi elle devient une spéculation intellectuelle sans valeur scientifique.

Le succès des retombées scientifiques, la force du discours scientifique et du nôtre en particulier, et la fascination que l'on a pour la chose pensée ont, pendant longtemps, occulté cette dépendance de la vérité scientifique aux faits. Au mieux, les résultats expérimentaux sont présentés dans le cadre d'une théorie. L'élève ne dit pas «je lis 5,2», il dit «le pH de la solution est 5,2» ce qui présuppose qu'il n'y a pas d'erreur de lecture, que le montage expérimental est correct, que l'appareil et ses électrodes fonctionnent bien et que la mesure d'un pH a un sens dans le cas proposé, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'artefact. Au pire, l'élève tentera de savoir auprès de ses camarades ou auprès du professeur «combien il faut trouver» quitte à « arranger ses valeurs». Il ne fait pas une erreur mais il ment pour faire coller ses résultats à une théorie qu'il juge plus fiable et pour obtenir (a-t-il toujours tort ?) une meilleure note. Il y a eu inversion, c'est la théorie qui est devenue vérité première au lieu d'être, autant qu'elle peut, un système explicatif des faits observés.

De la même façon, les théories auxquelles nous croyons sont trop souvent, pour nous, les seules à êtres vraies et scientifiques ; elles possèdent une vérité éternelle et les théories du passé, attachées à un ensemble de résultats expérimentaux plus réduit, sont des erreurs et des mythes sans intérêt. Pourtant Kuhn [3], physicien, enseignant au MIT, et sociologue des sciences expérimentales n'hésite pas à écrire dans son célèbre ouvrage La structure des révolutions scientifiques : « S'il faut appeler mythes ces croyances actuellement dépassées, alors les méthodes qui ont pu conduire à ces mythes, les raisons qui ont fait tenir

ceux-ci pour vrais sont bien semblables à celles qui conduisent aujourd'hui à la connaissance scientifique. Si, au contraire, il faut les ranger dans la catégorie des sciences, la science a alors contenu des ensembles de croyances absolument incompatibles avec ceux qui sont les nôtres».

Ce point de vue dérange notre petit confort. Si la science n'est pas ce qui est vrai, c'est-à-dire ce à quoi nous croyons, qu'est-ce qu'un mythe et qu'est le savoir scientifique ? Peut-on séparer l'un de l'autre ou suivre M. Serres [4] quand il dit «il n'y a pas de plus pur mythe que le savoir pur de tout mythe. Je n'en connais point d'autre, tant les mythes sont pleins de savoir et le savoir de rêves et d'illusions» ?

### 1.2. **Une «lecture» du fonctionnement des sciences expérimentales**

Comment alors définir la science ? Kuhn [3] propose de la définir à partir de ses deux types de fonctionnement : la **science normale** et la **révolution scientifique**.

Une période de science normale se développe quand une théorie est acceptée par l'ensemble d'un groupe. C'est ce consensus qui confère la scientificité au groupe et à la théorie. Kuhn donne à celle-ci le nom de **paradigme**. La mécanique de Newton, l'optique corpusculaire ont été des paradigmes. L'activité scientifique du groupe se limite alors aux possibilités acquises ou supposées du paradigme auquel il est lié, les questions ne relevant pas de ce domaine sont rejetées comme faisant partie d'une autre activité scientifique, ou comme n'étant pas scientifiques. L'activité du groupe est double :

– la recherche consiste à résoudre des problèmes dans le cadre du paradigme existant, et dans ce cadre seulement. Ces problèmes sont alors appelés **énigmes**. Les succès de la recherche donnent de la science l'image de progrès cumulatifs chère à L. de Broglie.

– l'enseignement consiste à produire des manuels et à former des néophytes au paradigme existant. Il établit un domaine de connaissances communes auxquelles les scientifiques pourront faire appel de façon implicite. Aucun article de recherche ne redéfinit ce qu'est une molécule ou la quantité de mouvement de la mécanique newtonienne ! L'enseignant s'occupe essentiellement de ce qui sera le non-dit chez le chercheur.

S'il apparaît un problème qui résiste de façon opiniâtre aux efforts

des chercheurs et si ce problème apparaît comme majeur, le doute s'installe sur la validité du paradigme, et c'est l'apparition d'une crise. Dans le cas de la mécanique classique, paradigme puissant et séculaire, c'est l'optique électromagnétique de Maxwell (1864) qui ouvre la crise. En effet, les formules de changement de référentiel galiléen sont incompatibles avec les équations de Maxwell, en particulier avec la célérité $\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_o \mu_o}}$ d'une onde électromagnétique dans le vide.

Deux positions sont alors possibles : les équations de Maxwell doivent être traitées dans un référentiel particulier, fixe par rapport à l'éther, ou bien il faut revoir la cinématique classique : c'est la **révolution scientifique**. L'expérience de Michelson, maintes fois répétée et affinée à partir de 1881, a ouvert la voie à cette révolution ; elle est préparée par Lorentz (1903) et menée par Einstein (1905).

## 2. LA PÉRIODE PRÉSCIENTIFIQUE

**«Naissance de la chimie en tant que science : 1789»**. Ce titre emprunté à un manuel contemporain est massif et percutant. Il a l'avantage de montrer à l'étudiant ce qui est bien (ou scientifique) et ce qui est mal (non scientifique), mais la date de parution du manuel de Lavoisier est un critère un peu simpliste. Regardons, dans le domaine de la chimie et de quelques-unes de ses origines usuellement admises, comment naît une science expérimentale.

### 2.1. L'atomisme de Démocrite : de la pensée à la nature

Initialement proposé par Leucippe, l'atomisme de Démocrite son élève est une conséquence directe de l'incapacité dans laquelle se trouvent les philosophes de concevoir un processus infini de division. L'infiniment petit, comme l'infiniment grand posent toujours un problème de concept. Si l'on ne peut diviser à l'infini, c'est qu'il existe un niveau plancher de petitesse : l'atome, et la nature est en conséquence discontinue. L'épicurien Lucrèce dit : «Puisqu'il y a un sommet extrême où aboutit ce corps élémentaire qui déjà lui-même **cesse d'être perceptible à nos sens**, ce dernier élément est évidemment exempt de parties et atteint au dernier degré de la petitesse». On voit plus loin fort logiquement que ces «éléments» doivent être «solides et éternels» [5]. Aucune expérience ne peut, a priori, intervenir, explicitement ou implicitement, pour étayer le principe de cette théorie puisque

cet atome n'est pas perceptible à nos sens. Par contre Lucrèce tire quelques explications de faits concrets : la douceur des parfums et celle du chant s'opposent au grincement de la scie en raison des différentes formes d'atomes rencontrés. Le philosophe va de la raison à l'expérience mais pas de l'expérience à la raison, or c'est un tel aller et retour qui constitue le fondement de la pensée scientifique. Il s'agit donc d'une considération philosophique sur la nature de l'infini et le terme d'atome y apparaît plus comme un homonyme du nôtre qui a complètement perdu l'aspect étymologique d'entité insécable. Toutefois cet exemple montre que la théorie et la logique précèdent largement l'expérience et qu'il est illusoire de penser que l'on peut aborder une expérience, vierge de toute idée préconçue et de toute théorie sous-jacente.

### 2.2. **Les éléments d'Aristote : un frémissement scientifique ?**

Ils sont certainement tirés de l'expérience quotidienne, et plusieurs auteurs en parlent. L'eau, la terre et l'air (il faudrait traduire liquide, solide et gaz) sont les propriétés qualitatives qui sont érigées en principe fondamental au détriment d'autres notions accessibles à l'expérience comme la couleur ou la masse par exemple. Le quatrième élément nous paraît plus curieux : le feu, mais il faut reconnaître que le feu, par la lumière et la chaleur qu'il émet, par les effets qui en sont bien connus : cuisson des aliments, brûlures et incendies, a un principe de réalité largement aussi fort que l'eau et probablement plus que l'air. Homère pensait que toute matière était une combinaison d'eau, de terre et de feu ; Aristote, après Platon, y ajoutait l'air. Le système fonctionne pour de nombreuses observations. Si on ajoute que ces principes ont été reconnus comme tels par de très nombreuses personnes pendant très longtemps, il n'est pas exclu de penser qu'il y a là une ébauche de science expérimentale.

### 2.3. **L'alchimie chrétienne : une quête mystique**

L'alchimie chrétienne est certainement beaucoup plus maltraitée encore dans nos manuels que les éléments d'Aristote. L'alchimiste y est dépeint comme un fou illuminé dont la sottise semble aussi immense que la naïveté, et l'on reconnaît du bout des dents que les alchimistes ont mis au point un grand nombre de techniques de laboratoire encore en usage aujourd'hui, mais sans obtenir, semble-t-il, jamais aucun succès dans une compréhension de la matière. Six siècles d'efforts et des noms d'hommes illustres et cultivés comme Saint Thomas d'Aquin pour rien ? C'est peut-être un peu bref.

Certes il est difficile de comprendre ce qu'est l'alchimie parce qu'elle est **diverse, ésotérique et hermétique** :

– **diverse** dans la mesure où il n'y a pas d'école universellement reconnue d'alchimie, il s'agit d'une pratique individuelle et chacun a sa propre théorie. Certains conservent les éléments d'Aristote, d'autres partent de l'idée que chaque corps est composé à partir des éléments issus de l'alchimie arabe : soufre philosophique (faculté de brûler, sauf pour l'or) mercure philosophique (responsable de l'éclat métallique) et sel philosophique (faculté de se dissoudre). D'autres encore s'accommodent des deux théories.

La transmutation des métaux qui nous étonne tant, n'a rien de surprenant dans la mesure où ils sont tous considérés comme des mélanges de mercure philosophique et de soufre philosophique.

Prouvons **par l'expérience** l'existence des transmutations : si on plonge une lame de fer dans de l'eau mêlée à du vitriol bleu, il apparaît du cuivre : le fer a subi une transmutation (il faut s'interdire naturellement de penser que le vitriol bleu s'appelle aujourd'hui sulfate de cuivre, nom lié à la théorie actuelle et qui serait anachronique).

L'or, par contre, ne peut brûler. Si on en croit Saint Thomas d'Aquin [6] : «L'or, véritablement le plus parfait de tous les métaux, est composé d'un soufre rouge, clair, subtil, non brûlant, et d'un mercure subtil et clair, fortement mis en action par le soleil. C'est pourquoi il ne peut être brûlé par le soufre (la matière soufre) ce qui est possible pour tous les autres métaux».

– L'alchimie est **ésotérique** : ce n'est pas rédhibitoire en soi. Les mathématiques le sont aussi. Que ferait un novice devant la ligne :

$$\forall \varepsilon \in \mathbb{R}^{+*} \exists \alpha \in \mathbb{R}^{+*} / \forall x \in \mathbb{R} \mid x - x_0 \mid < \alpha \Rightarrow \mid f(x) - f(x_0) \mid < \varepsilon$$

si on ne lui donne pas les clés nécessaires pour comprendre ? Le secret est d'ailleurs très répandu au Moyen-Âge, dans les corporations de métiers par exemple.

– L'alchimie est **hermétique** et cette inaccessibilité voulue est le point le plus délicat. Pour l'alchimiste l'homme et la nature sont avant tout des créatures de Dieu. Conformément au désir divin, ils aspirent à l'état de perfection. Il y a donc une hiérarchie de valeurs, tant pour l'homme que pour la matière. Pour cette dernière, c'est l'or qui

représente le sommet de la perfection. Le péché originel d'Adam et Ève a provoqué la chute de l'humanité et celle de la nature. «Ce n'est qu'en combattant pour la délivrer (la matière) que l'alchimiste sera lui-même délivré de l'imparfaite condition humaine. (...). Le Grand Oeuvre (transmutation des métaux en or) n'est autre que la restauration de l'état divin primordial et la rédemption universelle de tous les êtres et de toutes les choses» [8]. L'alchimie est donc, par essence, la recherche spirituelle et matérielle d'une sagesse originelle, qui ne peut se trouver que par l'expérience individuelle et l'étude des maîtres. Ceux-ci sont seuls en mesure de juger l'alchimiste débutant **digne de recevoir les clés** nécessaires à la compréhension des textes ésotériques. La réalisation du Grand Oeuvre apparaît plus comme le symbole d'un achèvement par nature inaccessible, que comme une manipulation de chimie.

L'ésotérisme des ouvrages est une technique permettant d'éprouver le néophyte et de protéger l'alchimie des personnes suspectes qui voudraient briser les secrets des textes sans avoir été choisies par les maîtres. Les faux alchimistes, ou spagyristes sont destinés à se heurter sans fin à des miroirs aux alouettes volontairement trompeurs. Si le progrès des techniques expérimentales est manifeste, il n'est pas perçu comme une meilleure compréhension de lois naturelles immuables dans le temps, mais comme un progrès, permis par Dieu, sur le chemin de la rédemption de la nature et de l'humanité. La commercialisation des techniques expérimentales ne peut être que le fait de faux alchimistes. C'est un sacrilège punissable de mort à certaines époques.

De toute évidence, nous sommes là hors d'une structure scientifique : l'alchimiste regarde l'intérieur de l'âme et non la matière, et si l'homme de science d'aujourd'hui se doit de respecter une scrupuleuse honnêteté intellectuelle, il ne lui est pas demandé de poursuivre une quête de sainteté.

L'alchimie n'est donc pas, comme on le voit souvent proposé, la mère de la chimie en tant que science ; ses apports sont de même nature que la maîtrise du feu ou les techniques empirico-magiques de la métallurgie du bronze ou du fer. On peut noter enfin que le Moyen-Âge a produit de nombreuses quêtes du Graal de ce genre et que leurs adeptes devaient bien y trouver leur compte. Celle-ci n'est pas de notre domaine, c'est tout [9].

## 3. VIE ET MORT D'UN PARADIGME : LE PHLOGISTIQUE

### 3.1. Mise en place d'une chimie scientifique

Au cours du XVII$^{e}$ siècle, on voit peu à peu s'installer les caractéristiques d'une science expérimentale véritable.

L'expérience n'est plus comme en alchimie une pratique spirituelle, et, si le savant est encore un mystique, son but est de comprendre la matière. «Ce n'est pas à nous de fouiller dans les célestes secrets de Dieu puisque nous ignorons les terrestres qui devraient nous être connus comme étant moins relevés» [10] dit Van Helmont (1577-1644). Notons que cet expérimentateur prend conscience de l'existence de gaz produits dans une réaction chimique, mais que l'atmosphère n'apparaît pas elle-même comme gazeuse, ce point sera fondamental par la suite.

D'autre part Descartes fait école : le Discours de la Méthode est publié en 1636. Il développe le sens d'analyse critique des savants. On voit apparaître des communautés scientifiques dont le rôle est de permettre la communication entre personnes : ce sont les salons et les Académies, où l'on expose, discute, combat théories et expériences. La science n'est plus une affaire individuelle mais une entreprise collective. Les théories proposées sont nombreuses et contradictoires. On assiste à la formation de diverses écoles. C'est le stade qui précède l'établissement d'un paradigme.

Enfin la chimie est enseignée de façon régulière et le manuel de Lemery est largement diffusé. On forme à la science un public aussi large que possible. L'Hermétisme a totalement disparu.

### 3.2. Le premier paradigme chimique

La doctrine qui va s'imposer et faire l'unanimité est celle de Stahl 1660-1734 : il s'agit de la «sublime théorie» du phlogistique. Le principe est le suivant : au cours d'une combustion, le corps qui brûle perd un «principe combustible» ou phlogistique. Pour revenir au corps de départ, il faut réintroduire du phlogistique. On pourrait tenter de traduire en langage moderne phlogistique par caractère réducteur. Cette théorie a permis d'expliquer avec succès un très grand nombre de faits d'expérience :

– elle organise des réactions d'oxydation et de réduction et elle

explique la ressemblance entre les métaux (ils sont riches en phlogistique), les réactions des acides sur les métaux,...

– l'arrêt de la combustion d'une bougie placée dans une cloche est interprétée comme une propriété de l'atmosphère ; celle-ci ne peut contenir qu'une quantité limitée de phlogistique à la manière d'un système «éponge».

– par contre, il reste des énigmes inexpliquées, en particulier sur la nature pesante ou non de ce phlogistique, attendu que certains corps brûlent avec diminution de masse et d'autres avec augmentation de masse, phénomène connu au moins depuis le XVI$^{e}$ siècle.

Cette difficulté apparaît dès l'épanouissement de ce paradigme mais elle ne semble pas alors cruciale, bien que certains prédécesseurs comme Jean Rey aient proposé dans la première moitié du XVII $^{e}$ siècle la conservation de la masse comme un principe fondamental : «le poids que chaque portion de matière prend au berceau, elle le portera jusqu'à son cercueil» [11].

Le malheur de Rey, c'est que la mesure des masses de gaz pose une difficulté technique qui rend sa théorie stérile au regard de celle de Stahl, et le choix d'un paradigme repose bien plus sur les promesses de fécondité d'une théorie que sur une hypothétique hiérarchie de valeur classant ses principes.

Le phlogistique, paradigme intéressant les réactions de combustion, crée un ordre dans le monde des produits chimiques et prépare l'établissement de théories dans des domaines connexes. En particulier, la notion d'élément chimique au sens où nous l'entendons aujourd'hui, progresse ; c'est la «parenté» qui existe entre le métal et sa chaux (traduire entre le métal et son oxyde).

### 3.3. **Du doute à la révolution**

C'est la question de l'augmentation de masse par combustion des métaux, difficulté qui résiste aux efforts renouvelés des chercheurs, qui amène le paradigme à l'état de crise majeure. D'une part on améliore les techniques expérimentales d'étude des gaz, la cuve à eau est inventée en 1719 ; d'autre part on produit des modifications variées et contradictoires de la théorie pour lui faire rendre compte des faits : le phlogistique prend une masse positive, nulle ou négative selon le cas particulier, comme le caméléon prend la couleur qui convient à son

environnement. Ces aménagements apparaissent comme artificiels et le doute s'installe au sujet du paradigme.

La situation est mûre pour qu'apparaisse un nouveau paradigme, et c'est Lavoisier, avec sa théorie de l'oxygène, qui en sera le père. Notons que s'il en est le père, ce n'est pas lui qui l'a isolé, c'est Priestley en 1774, ses travaux étant confirmés par ceux du Suédois Scheele, publiés en 1777.

Toutefois, Priestley s'est contenté d'interpréter le résultat expérimental dans le cadre de la théorie du phlogistique qu'il n'abandonnera jamais. Pour lui, c'est de l'air déphlogistiqué, alors que Lavoisier en a fait un produit chimique indépendant entrant dans la composition de l'atmosphère, et assurant la conservation de la masse lors d'une réaction chimique. Cette nouvelle vision de la chimie nécessite la destruction de l'ordre établi par Stahl. Lavoisier ne s'y risque qu'avec prudence, malgré son immense prestige à l'époque. Il sait que sa théorie est incapable de donner une réponse à certains problèmes que le phlogistique permet de résoudre, mais il a foi en sa fécondité. Il lui faut convaincre ses collègues par la séduction autant que par la preuve, il les prépare en faisant savoir qu'il a mis au point une théorie mais en la gardant secrète pour ménager son effet de coup de tonnerre. Nous sommes en 1778, il déclenche... une révolution.

## 4. LE TRAVAIL DE RECHERCHE

### 4.1. Le travail de recherche de la science normale

D'après Kuhn [3], on peut distinguer essentiellement trois types de recherches.

– Le premier est l'exploitation du paradigme existant. Au niveau théorique, c'est la prédiction du comportement de systèmes concrets relevant d'un domaine bien connu : calcul d'un pH, prévision de la trajectoire d'un solide... Cette recherche, ne comportant pas de caractère essentiellement novateur, relève du domaine de l'ingénieur et de la recherche industrielle. Au niveau expérimental, la construction de matériels ad hoc permet la synthèse d'une nouvelle molécule, la recherche des conductibilités électriques de matériaux etc. Cette recherche apparaît comme le produit direct du paradigme, elle est la source des retombées pratiques et technologiques favorables et c'est

elle qui, malgré son caractère peu novateur donne paradoxalement de la science l'idée de progrès cumulatifs si répandue dans le grand public.

– Le second concerne les très rares cas où la théorie et l'expérience peuvent coïncider. En effet, la théorie apparaît de façon générale comme un modèle assez éloigné d'une situation concrète : le pendule n'est jamais simple, le mobile jamais sans frottement, le système n'est jamais à deux corps... On cherchera donc, soit à réaliser la rare expérience pour laquelle la théorie et la pratique sont plus proches (réalisation de table à coussin d'air par exemple), soit à atteindre un niveau supérieur de sophistication dans la théorie (par exemple tenir compte de l'inflence mutuelle des planètes pour le calcul de leurs trajectoires). Le but de cette recherche est manifestement de créer un lien plus étroit entre la théorie et la nature.

– Le troisième est plus particulièrement orienté vers le paradigme lui-même. Il s'agit :

• de la détermination, avec une précision de plus en plus grande des constantes fondamentales (gravitation universelle, nombre d'Avogadro, célérité de la lumière) ;

• du passage au quantitatif d'un paradigme développé de façon qualitative ou semi-quantitative ; la théorie est alors reformulée ;

• de l'exploration de domaines voisins de ceux qui sont connus, pour laquelle le paradigme existant constitue la seule base de départ possible. Dans ce dernier cas, c'est à l'expérience de valider ou non l'extension du paradigme. L'hypothèse d'une dualité onde-corpuscule pour la matière, analogue à celle connue pour la lumière, conduit à proposer une expérience de diffraction des électrons. Davison et Germer l'obtiennent effectivement en 1927.

Par contre, la mécanique classique subit un échec dans le domaine de l'atome. En 1934 Langevin écrit «On y voyait un noyau central composé d'électrons et de protons, électrisé positivement à cause d'un excès de ces derniers, avec d'autres électrons négatifs circulant autour de lui sous l'attraction de sa charge, comme des planètes circulent autour du soleil sous l'action attractive newtonienne, conformément aux lois de la mécanique valable à notre échelle.

On s'est aperçu, il y a une dizaine d'années, que décidément cela ne pouvait pas marcher, après avoir pourtant commencé assez bien. Les

difficultés sont devenues si flagrantes qu'il a fallu renoncer à l'image planétaire des systèmes atomiques» [12].

La voie est ouverte pour l'atome de Bohr, puis pour la mécanique ondulatoire.

### 4.2. **La révolution scientifique**

Le chercheur résout des énigmes dans le cadre du paradigme existant qu'il ne remet pas en cause. Cette remise en cause n'intervient qu'à partir du moment où le paradigme est peu fécond et où on assiste à des échecs répétés pour résoudre une énigme. Elle apparaît alors comme cruciale et ouvre une situation de crise. Cependant la crise durera tant qu'un nouveau candidat paradigme n'est pas apparu. En effet, il n'y a pas d'exemple montrant que l'on ait cessé d'utiliser une théorie scientifique à cause d'un désaccord entre ses prévisions et l'expérience ; l'abandon ne vient que lorsqu'une autre théorie est

Figure parue dans PUCK en 1915 sous le titre "My wife and mother in law"

susceptible de la remplacer. Personne n'a songé à abandonner la mécanique de Newton, malgré les travaux de Michelson, entre 1881 et 1905 par exemple.

En l'absence de crise majeure, le candidat paradigme est rejeté, même s'il est prometteur ; il apparaît tout au plus comme une intéressante spéculation intellectuelle.

La comparaison entre deux théories présente plusieurs difficultés :

– le vocabulaire attaché à chacune d'elle est souvent le même, bien qu'il désigne des choses explicitement ou pire implicitement différentes : avant Copernic, la terre était fixe par définition puisqu'elle était la référence du mouvement. Les mots terre et mouvement doivent être regardés dans le cadre de la théorie étudiée sinon, comme l'ont dit Descartes et Huygens, c'est une question vide de sens.

– d'autre part, le scientifique n'est pas neutre face à l'observation.

Un exemple de cette faculté d'interprétation est illustré par l'examen de ce très célèbre dessin donné en illustration où l'on peut voir soit une vieille dame, soit une jeune. Le dessin est le même, c'est l'interprétation de l'observateur qui change. Il «voit» de façon alternative une femme ou une autre, ces deux visions du même dessin s'excluant l'une l'autre comme incompatibles.

De la même façon qu'il est possible de voir deux sujets différents en regardant la même image, on peut voir deux mondes différents en regardant la même nature : observant le mouvement d'une pierre attachée au bout d'une ficelle, le mécanicien aristotélicien voit un mouvement de chute entravée par la ficelle alors que Galilée voit un mouvement perpétuel limité par des frottements. Chacun modélise la nature dans un sens différent, le premier voit l'avancée d'un corps lourd, d'une position plus élevée à une position plus basse, cette avancée étant entravée par la ficelle ; l'autre voit le mouvement qui se répète presque à l'identique.

– Enfin, aucune théorie ne permet de justifier l'ensemble des données expérimentales que l'on possède. Dans le cas contraire, il n'y aurait plus d'énigme à trouver et les chercheurs seraient au chômage. Il faut attendre 1801 pour que Young explique le phénomène des anneaux de Newton, que l'optique corpusculaire de celui-ci ne pouvait pas justifier.

Il ne faut pas croire non plus que le candidat paradigme donne toujours une réponse satisfaisante à la totalité des questions auxquelles le paradigme précédent répondait. Par exemple la théorie sur l'oxygène de Lavoisier considérait comme une énigme la ressemblance qui existe entre les différents métaux ce que la théorie précédente expliquait (les métaux contiennent beaucoup de phlogistique et donc se ressemblent).

Le choix entre deux théories nécessite l'évaluation de la gravité des échecs de chacune d'elle, qui sont incommensurables dans la mesure où ils ne sont pas de même nature. Le choix entre deux théories se fait plutôt sur la foi que l'on met dans leur fécondité respective, et c'est pour cela qu'un paradigme fécond qui n'est pas en état de crise majeure a bien peu de chances de se voir concurrencé.

Changer de paradigme est une expérience individuelle qui ne peut être imposée de force. En particulier, les chercheurs qui ont eu une carrière très riche dans le cadre d'un paradigme, résistent particulièrement à en changer : Priestley n'accepta jamais la théorie de l'oxygène et Einstein résistait au côté non déterministe de la mécanique quantique.

Dans les batailles entre paradigmes, un argument très efficace est de prétendre que la nouvelle théorie résoud l'énigme qui a amené l'ancienne théorie à la crise. Lavoisier s'attaque à l'augmentation de masse des métaux calcinés qui gênait les tenants du phlogistique, Bohr obtient des succès considérables en expliquant le spectre de l'hydrogène. D'autre part, la prédiction de phénomènes restés entièrement inaperçus et que l'expérience valide a posteriori a un effet choc considérable dans la mesure où il est évident qu'ils n'ont pas été incorporés a priori dans la théorie. La découverte des éléments prédits par Mendeleev a prévalu sur les difficultés persistantes de sa classification. Parfois des arguments très peu scientifiques comme l'aspect esthétique d'une proposition (ce fut le cas de l'hypothèse de De Broglie) entrent en ligne de compte.

Le passage d'un paradigme à l'autre ne se fait pas de façon brutale pour l'ensemble du groupe scientifique mais il y a plutôt une évolution de la répartition des adhérents à une théorie ou à l'autre jusqu'à ce que l'ensemble du groupe soit convaincu, jusqu'à ce qu'il ne reste plus que quelques irréductibles qui ont cessé de ce fait d'être des hommes de cette science.

## 5. L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

### 5.1. La place de l'enseignement de l'histoire des sciences

L'histoire des sciences tient une place réduite à l'extrême dans notre enseignement. Les manuels destinés aux élèves de nos classes, soit n'en parlent pas du tout, soit évoquent sous forme de lectures ou de paragraphes très restreints l'apport de quelques grands hommes à la science contemporaine. Dans ce cas, il s'agit de donner aux élèves une «petite teinture» d'où tout esprit de logique et de cohérence avec la science de l'époque est exclu. On voit même que la notion de science est réduite à l'ensemble des théories ayant cours actuellement, rejetant dans les sphères de l'erreur ou de la crédulité naïve les théories défuntes. La constance de cette attitude ne peut être justifiée par des raisons de temps ou de programmes.

L'enseignement des sciences fait en effet partie d'un ensemble de structures sociales, l'oubli et la déformation du passé sont des arguments supplémentaires souvent inconscients et toujours implicites que nous donnons à nos élèves pour les convaincre de la valeur de la science.

### 5.2. Glissement du contenu du vocabulaire au cours du temps

Les manuels scolaires ou de vulgarisation s'intéressent à un ensemble organisé de problèmes, de données et de théories qui constituent la science du moment. Ils s'efforcent d'initier le lecteur au vocabulaire spécifique contemporain. Si elle n'est pas implicite, la définition du vocabulaire intervient très tôt dans le discours, soit en tête, soit juste après la description d'expériences préliminaires destinées à éveiller l'intérêt du lecteur. Cette place privilégiée lui donne un aspect d'indépendance trompeuse à l'égard de la théorie que cette définition précède, et du contexte historique dans lequel la théorie se place.

Cependant, la lecture des manuels anciens montre combien cette dépendance est évidente et combien les concepts peuvent évoluer dans des domaines pourtant connus de longue date et que l'on pourrait considérer comme fixes. Par exemple, dans un cours de 1881 [13] destiné aux élèves préparant un baccalauréat ou un brevet supérieur, et fatalement considéré à l'époque comme un modèle, on utilise un vocabulaire encore en usage de nos jours dans un sens qui nous paraît étranger.

• «On nomme gaz, ou fluides aériformes, des substances dont les molécules possèdent une mobilité parfaite, et sont entre elles dans un état constant de répulsion, qu'on désigne sous les noms d'expansibilité, de tension, de force élastique».

• «D'après la pression que l'atmosphère exerce sur un centimètre carré, pression qu'on a vu être égale à un kilogramme et 33 grammes, on prévoit que la somme totale des pressions que supporte notre corps doit être considérable (...). La surface entière du corps est environ d'un mère carré et demi (...) la pression supportée par le corps humain est donc 15 000 fois 1 kil, 033 gr. (...). Pourquoi ne sommes nous pas aplatis par ces pressions ? (...) C'est par l'effet d'une force intérieure qui leur fait constamment équilibre, et cette force c'est l'élasticité d'une certaine masse de gaz qui se trouve dans le sang, dans le tissu des chairs, en un mot dans tous nos organes».

On voit au passage que les qualités principes d'Aristote ne sont pas loin.

Dans la partie thermodynamique de ce cours on trouve encore : «La température d'un corps est le degré de chaleur qui se manifeste dans ce corps». Parions qu'une telle définition, proposée aujourd'hui par un élève, serait fraîchement accueillie par le maître.

On peut voir dans ce glissement de contenu et dans cette redéfinition a posteriori l'influence de l'émergence de notions connexes ; dans les exemples ci-dessus, c'est la notion d'intensivité et d'extensivité qui modifiera le sens de ces mots.

Ailleurs, c'est la mécanique quantique qui permet de donner une définition de la valence, basée sur la structure et non sur la réactivité, qui laisserait Wurtz perplexe : «On définit arbitrairement la valence en prenant le double du spin total de l'atome dans la configuration électronique qu'il a dans la molécule» [15].

Le glissement du sens du vocabulaire et la reformulation de la tradition scientifique correspondants rendent, pour l'élève débutant, les textes anciens rapidement illisibles, alors que dans d'autres domaines, comme la musique ou la littérature, les œuvres subissent un vieillissement moins rapide, on lit Hugo mieux que Ganot on apprécie Mozart mieux que Buffon.

### 5.3. L'ancien paradigme source d'incohérence

Un homme de science qui a vu un champ d'activité scientifique à travers deux paradigmes différents risque de voir ressurgir dans son discours les vues du passé. Celles-ci apparaissent alors comme une incohérence ou une faute au sein du paradigme en vigueur. L'enseignant qui fait le silence sur les théories abolies évite de ce fait une source d'incohérence. Un bel exemple de ce type nous est donné par l'académicien Buffon [14]. Il connait la mécanique de Newton assez finement pour démontrer sans aucun calcul que le flux et reflux des marées constituent un phénomène du second ordre, alors que l'impulsion des planètes apparaît dans son discours comme une force ou une source de force très proche d'une mécanique pré-newtonienne.

«Galilée ayant trouvé la loi de la chute des corps et Képler ayant trouvé que les aires que les planètes principales décrivent autour du soleil et celles que les satellites décrivent autour de leur planète principale sont proportionnelles au temps et que les temps des révolutions des planètes et des satellites sont proportionnels aux racines carrées des cubes de leurs distances au soleil ou à leurs planètes principales (...) Newton trouva que la force qui fait tomber les graves sur la surface de la terre s'étend jusqu'à la lune et la retient dans son orbite ; que cette force diminue en même proportion que le carré de la distance augmente, que par conséquent (...) tous les corps qui décrivent autour d'un centre ou d'un foyer des aires proportionnelles au temps, sont attirés vers ce point. Cette force que nous connaissons sous le nom de pesanteur est donc généralement répandue dans toute la matière.

Une seule chose arrête (...) c'est la force d'impulsion, l'on voit évidemment que celle d'attraction tirant toujours les planètes vers le soleil elles tomberaient en ligne perpendiculaire sur cet astre, si elles n'en étaient éloignées par une autre force, qui ne peut être qu'une impulsion en ligne droite dont l'effet s'exercerait dans la tangente de l'orbite si la force d'attraction cessait un instant».

Sur les marées il écrit : «le flux arrive toutes les fois que la lune est au-dessus ou au-dessous du méridien (...) et le reflux succède toutes les fois qu'elle est à l'horizon. (...) (Quand la lune est au méridien) la surface des eaux étant immédiatement sous la lune est alors plus près de cet astre que toutes les autres parties du globe, soit de la terre, soit de la mer, dès-lors cette partie de la mer doit s'élever vers la lune en formant une éminence dont le sommet correspond au centre de cet astre. (...) Lorsque la lune passe au méridien de l'antipode du lieu où

nous avons supposé qu'elle a d'abord élevé les eaux, le même effet arrive, les eaux dans cet instant où la lune est absente et la plus éloignée s'élèvent sensiblement (...) car alors les eaux de cette partie étant moins attirées que tout le reste du globe, elles s'éloigneront nécessairement du reste du globe et formeront une éminence dont le sommet répondra au point de moindre action».

### 5.4. **Valorisation des pères des paradigmes en cours**

Quelques exemples montreront avec quelle réticence l'enseignant fait l'éloge des scientifiques appartenant à des traditions révolues alors que sonnent les trompettes pour saluer les pères des paradigmes encore en vigueur.

Massain sur Stahl (sa conclusion) [7] : «Il est conforme à la plus stricte équité de reconnaître au chimiste allemand une place de choix parmi les grands noms de la chimie».

Le même sur Lavoisier, regrettant sa mort prématurée «Du moins nous reste-t-il la joie profonde de savoir que le souvenir de Lavoisier ne s'effacera plus de la mémoire des hommes».

Quand Ostwald [16] écrit sur Lavoisier et son œuvre : «Si grand que soit ce progrès, on en a généralement exagéré l'importance. Car la théorie du phlogistique avait déjà résolu ce qu'il y a à proprement parler d'essentiel, la systématisation des combustions, et il ne restait plus guère qu'à prendre symétriquement l'inverse des idées relatives à la combinaison et à la décomposition», Massain s'indigne : «A quel lecteur échappera tout le parti pris que révèlent ces lignes embarrassées ? Y aurait-il donc ingénuité à penser que c'est vraiment faire œuvre de création que de découvrir la vérité..., en adoptant le contre-pied des idées en cours ?»

Dans le même ordre d'idées, on sélectionne chez un savant, la partie de son œuvre qui a subsisté, le reste est occulté. Qui enseigne que Lavoisier croyait à l'élément feu d'Aristote ? Qui enseigne que Newton était alchimiste ? Pourtant, l'année où il publie les Principia, Newton consacre deux fois plus de pages à l'alchimie qu'à la physique. Newton physicien serait-il un scientifique rigoureux et Newton alchimiste un fou visionnaire ?

«On peut néanmoins affirmer que l'alchimie de Newton était

établie sur des fondements si solides à ses yeux qu'il ne lui vint jamais à l'esprit de mettre en doute la valeur de ces derniers» [17].

### 5.5. L'histoire réécrite : la classification périodique

La notoriété de certains scientifiques est liée, nous l'avons vu, à la persistance du paradigme qu'ils ont construit. Inversement, le paradigme construit son propre père au point que son travail en est totalement transformé. La notoriété de Mendeleev est immense : tous les élèves des classes de seconde en entendent parler. Les ébauches de classification antérieures sont rarement citées, alors que l'on connaissait des quantités de triades (K, Rb, Cs). La classification en octaves de John Newlands apparaît sous forme d'un mot dans un manuel récent [18]. Ce mot non défini ne recouvre de ce fait aucun concept et se prête aux projections psychologiques les moins scientifiques. Or, dans la liste des seuls éléments connus à l'époque, prenez le lithium et sautez à l'octave (sept intervalles) et vous aurez le sodium. Et ainsi de suite. Si nous voyons une intuition géniale chez Newlands, la même que Mendeleev pour les deux premières lignes, la communauté scientifique n'était pas prête à accepter son idée, et il lui a été répondu quand il a présenté sa proposition qu'il devrait placer les éléments par liste alphabétique pour voir si cela ne permettrait pas de découvrir une harmonie cachée !

Les conclusions de Mendeleev sont les suivantes [19] :

1) Les éléments disposés d'après la grandeur de leur poids atomique présentent une **périodicité** de propriétés.

2) Les éléments qui se ressemblent par leurs fonctions chimiques présentent des poids atomiques voisins (Pt, Ir, Os) ou bien croissant uniformément (K, Rb, CS).

3) La disposition des éléments ou de leurs groupes d'après la grandeur du poids atomique correspond à **leur valence**.

4) les corps simples les plus répandus sur la terre ont un poids atomique faible et tous les éléments à poids atomique faibles sont caractérisés par des propriétés bien tranchées. Ce sont des éléments typiques.

5) Les grandeurs du poids atomique déterminent le caractère de l'élément.

6) Il faut attendre la découverte de plusieurs corps simples encore inconnus, ressemblant par exemple à Al et Si et ayant un poids atomique entre 65 et 75.

7) La valeur du poids atomique d'un élément peut quelquefois être corrigée si l'on connait ses analogues. Ainsi le poids atomique de Te n'est pas 128 mais doit être compris entre 123 et 126.

8) Certaines analogies des éléments peuvent être découvertes d'après la grandeur du poids de leurs atomes.

La classification de Mendeleev est basée sur les masses et non, et pour cause, sur les nombres de charge. Il ne doit donc la survie de sa théorie qu'à un hasard, celui du rapport proche de 1 pour les noyaux stables entre le nombre de protons et le nombre de neutrons. D'autre part, on est surpris du caractère flou des conclusions 1, 2, 5 et 8. Les conclusions 4 et 7 (qui est la plus quantitative) sont fausses. Il reste les conclusions 3 et 6.

Dans l'ouvrage [18] on trouve : «Au fur et à mesure que de nouveaux éléments sont découverts (...) des difficultés apparaissent (...) le tellure, aux propriétés voisines de celles du soufre vient après l'iode». L'humour de la situation consiste à regarder la photographie superbe placée juste au-dessus où l'on voit la première classification de Mendeleev avec... l'iode et le tellure. Une telle faiblesse est inconcevable dans tout autre chapitre de cet excellent livre et montre que la cohérence et la logique ne sont pas au centre du discours. Malgré la place inhabituellement importante laissée à l'histoire dans ce manuel, il s'agit d'évoquer des grands noms et pas de tracer une fresque de l'état de la science à une certaine époque, ni de présenter les nouvelles théories avec leurs origines, leur logique, leurs faiblesses mais aussi leurs promesses. Mendeleev, et, comme lui, la plupart des auteurs anciens dont le nom demeure dans nos livres apparaissent comme les fondateurs ex nihilo de théories sans faille. Notre histoire n'est pas une histoire de la science, c'est une galerie de statues de divers Commandeurs.

## CONCLUSION

Le professeur consciencieux présente toujours à ses élèves des arguments et des expériences qui soutiennent la théorie qu'il entend exposer. Il peut honnêtement croire que l'élève a le droit d'être convaincu ou non par la puissance de ses démonstrations. C'est sur-estimer de beaucoup la solidité des déductions et sous-estimer de beaucoup la puissance du langage scientifique. Nous avons vu que l'enseignement se limite à la science telle qu'elle se présente aujour-

d'hui, et que son passé, ses hésitations, ses théories abandonnées ou ses difficultés sont occultées dans une très large mesure. Elle apparaît nécessairement comme beaucoup plus cohérente, monolithique, cumulative et pyramidale. S'opposer à ce qu'elle propose, c'est s'élever contre une multitude de livres où les manipulations «marchent» toujours, de gens toujours célèbres d'institutions toujours respectables, de travaux toujours immenses et solidaires. En réalité, les chemins de la science ne sont pas si rectilignes.

Suivrons-nous le philosophe Latour [20], maître de recherche en sociologie à l'école des Mines de Paris quand, provocateur à son habitude, il dit : «Celui qui prétend tirer une phrase d'une autre par «pure déduction formelle», est toujours un professeur. Il connait à l'avance la conclusion du raisonnement qu'il développe ; il a appris dans le désordre et lentement les arguments ordonnés qu'il fait découler rapidement l'un de l'autre ; il dissimule sous l'estrade et derrière le tableau noir l'histoire tumultueuse qui a fait s'allier tel argument avec tel autre et les stations d'épuration qui ont permis à cette association provisoire de phrases de couler à travers les villes en pures déductions. Il offre à l'adoration de ses élèves l'ostensoir qui contient en puissance toutes les conséquences «qu'il n'y a plus qu'à tirer» comme on dit en France. Les élèves répètent l'enchaînement - comme dans la salle de gymnastique - et croient avec émotion qu'ils ont déduit une chose d'une autre» ?

## BIBLIOGRAPHIE

[1] Pour une présentation sommaire de la sociologie des sciences expérimentales voir l'article de Michael POLLAC dans *Encyclopedia Universalis*, édition 1984.

[2] BUFFON : *Histoire naturelle, générale et particulière*, 1749 tome premier.

[3] KUHN : *La structure des révolutions scientifiques*, traduction française de LMEYER, Flammarion 1983.

[4] SERRES : Cité par LATOUR dans *Pandore*, février 1982.

[5] LUCRÈCE : Cité par MASSAIN [7]

[6] SAINT THOMAS D'AQUIN : Cité par MASSAIN [7]

[7] MASSAIN : *Chimie et chimistes*, édition Magnard 1982.

[8] Stanislas KLOSSOWSKI de ROLA : *Alchimie*, Seuil 1974.

[9] C. JUNG a proposé une analyse de l'alchimie dont on peut voir une présentation dans l'ouvrage cité en [17].

[10] Van HELMONT : Cité par MASSAIN [7].

[11] REY : Cité par MASSAIN [7].

[12] LANGEVIN : *Préface de l'Évolution Humaine*, 1934.

[13] GANOT : *Cours de physique*, 1881.

[14] BUFFON : *Histoire naturelle, générale et particulière*, 1749 tome deuxième.

[15] SUARD et PRAUD : *Éléments de chimie générale*, Flammarion 1971.

[16] OSTWALD : Cité par MASSAIN [7].

[17] DOBBS : *Les fondements de l'Alchimie de Newton ou la chasse au lion vert*, Éditions de la Maisnie 1981.

[18] DUBOC-CHABANON, LERMERLE, LE ROUX, TALBOT : *Chimie* , Armand Colin 1987.

[19] MENDELEEV : Cité par MASSAIN [7].

[20] LATOUR : *Les microbes Guerre et Paix* suivi de *Irréductions*, 1984 édition A. M. Métaillé.