

Réflexions à l'occasion d'un bicentenaire Qu'est-ce qu'une révolution scientifique?*

G. LOCHAK

C.N.R.S. Fondation Louis de Broglie,
C.N.A.M. 292, Bd. Saint-Martin, 75141 Paris Cedex 03

Bien des idées ont cours au sujet des révolutions scientifiques. Certains pensent, par exemple, qu'entre des périodes étales et sans grand intérêt, les seules étapes de la science qui méritent l'attention sont marquées par le renversement subit d'idées reçues, actes isolés de cerveaux solitaires qui imposent aux tenants de la tradition leurs idées neuves et révolutionnaires. D'autres, au contraire, taxent d' "aristocratique" cette conception et affirment que l' "ère du savant génial" est révolue et que la science, désormais, ne progressera plus que par l'accumulation de modestes progrès successifs, réalisés dans l'effort collectif d'une communauté scientifique organisée en grands laboratoires.

En somme, pour les premiers, la révolution serait le seul fait des héros et pour les autres, elle consisterait à répartir le pouvoir entre un petit peuple de savants. Mais les uns et les autres me paraissent peu réalistes: les premiers parce qu'on les voit ensuite défendre avec griffes et ongles leurs propres modestes résultats qui sont loin d'être "révolutionnaires" et qui devraient être, à leurs propres yeux, sans importance; les autres parce qu'ils rêvent, en réalité (tout comme les premiers), de remporter de grands prix scientifiques et d'imposer leur pouvoir.

La réalité est plus complexe. En effet, s'il est vrai que les grandes idées sont toujours le fait de brillantes individualités (les commissions d'experts ont peu d'idées!) et s'il est vrai que ce sont elles qui infléchissent le cours de la science, en revanche, elles ne sont rendues possibles que par une longue maturation dont beaucoup se partagent le mérite. Inversement, l'effort collectif n'est valable que s'il reçoit

* Reproduit avec l'aimable autorisation des éditeurs de *Lettres à la révolution*, Trois Cailloux, Amiens, 1989.

l'impulsion d'un esprit imaginatif et surtout s'il éclate ensuite dans la fulgurante conclusion d'un esprit d'exception, sans quoi il ne serait que sédimentation d'une poussière insipide de résultats invertébrés.

Mais qu'est-ce, alors, qu'une révolution scientifique? Eh bien, malgré la spécificité de la science (son objet, ses méthodes, ses critères de vérité), celle-ci reste une entreprise humaine comme une autre et, de ce fait, le mot révolution s'y applique et même dans tous les sens que lui donnent les dictionnaires. Ces sens, j'en relèverai essentiellement quatre, mais je ne les prendrai pas dans l'ordre que suggère l'étymologie.

1) Prenons d'abord le sens le plus banal (et un peu dérivé) du mot révolution: celui de grande agitation, de chambardement.. Il est très facile de l'illustrer parce que nous en avons un exemple récent, dont toute la presse a parlé: la découverte des nouveaux supraconducteurs, dits "à haute température" parce que leurs propriétés apparaissent au dessus de la température de l'azote liquide, facile à atteindre, ce qui n'était pas le cas pour les supraconducteurs connus auparavant.

En effet, le phénomène lui-même, connu depuis longtemps, consiste en une brusque disparition de la résistance électrique de certains matériaux, mais il n'a encore reçu que peu d'applications parce qu'on ne savait, jusqu'ici, le produire qu'au voisinage du zéro absolu, de façon trop coûteuse pour l'usage industriel. La récente découverte a donc surpris par sa nouveauté, par les perspectives qu'elle ouvre et aussi parce qu'elle défie, les théories existantes. Une grande effervescence s'en est suivie et des milliers de physiciens se sont jetés sur ce nouveau sujet: c'est bien ce qu'on peut appeler une découverte "révolutionnaire", comme l'avaient été, par exemple, la découverte des rayons X ou de la radioactivité, ou l'invention du transistor ou du laser. Mais ce n'est peut-être pas là le sens le plus intéressant qu'on donne, en science, au mot révolution.

2) Beaucoup plus intéressant et de plus grande portée est le sens de changement brusque d'ordre social et moral, changement dans les moeurs et dans la manière collective de voir les choses. Les épistémologues modernes ont donné à l'homologue scientifique d'un tel changement, le nom à consonnance grammaticale de changement de paradigme, comme si on se prenait à conjuguer la nature autrement.

On emploie ce terme, par exemple, à propos du passage du système géocentrique de Ptolémée au système héliocentrique de Copernic.

On le dit aussi à propos de la relativité, spécialement parce qu'elle a révélé que les mesures de l'espace et du temps ne sont pas les mêmes pour

des observateurs en mouvement relatif les uns par rapport aux autres, si bien que l'espace et le temps ne peuvent plus être pris pour des données absolues, comme on le supposait dans la mécanique de Newton.

On le dit surtout à propos de la mécanique quantique qui, sous sa forme présentement admise, n'attribue pas de valeurs certaines aux différentes grandeurs physiques qu'elle envisage, mais prévoit seulement, comme résultats de mesures éventuelles, un ensemble de valeurs possibles affectées chacune d'une probabilité d'être observée. Et surtout, elle prévoit que toutes les grandeurs ne seront pas simultanément mesurables avec précision, ce qui est le cas, en particulier, pour la position et la vitesse d'un corpuscule, de telle sorte qu'on ne pourra plus attribuer à celui-ci une trajectoire, contrairement à ce que faisait la mécanique de Newton et contrairement à ce que le bon sens semblerait indiquer.

Je cite ces exemples parce qu'ils sont classiques, mais je dois avouer qu'ils ne me convainquent pas vraiment et que la notion même de changement de paradigme me paraît simplificatrice, souvent ambiguë et sujette à caution.

Prenons le cas de l'héliocentrisme. Tout d'abord, il s'agit d'une révolution à retardement! En effet, l'héliocentrisme avait déjà été proposé par Aristarque quelque 1800 ans avant Copernic (lequel semble, d'ailleurs, s'en être inspiré); et même, plusieurs siècles avant Aristarque, déjà les pythagoriciens pensaient que la Terre n'est pas au centre du monde et qu'elle se meut autour d'un "feu central".

Il se trouve que ces idées ont été repoussées dans l'Antiquité pour diverses raisons dont, à un moment donné, l'influence personnelle d'Aristote et de grands astronomes comme Hipparque et Ptolémée, mais il n'en demeure pas moins que l'idée de Copernic n'était pas vraiment novatrice: c'était plutôt un retour en arrière, c. à d. une "révolution", non pas dans le sens que nous considérons ici, mais dans un autre que nous verrons plus loin.

Si Copernic a fait figure de révolutionnaire, c'est plutôt parce qu'il est venu après un interminable règne du géocentrisme.

Mais je pense surtout qu'autour des idées héliocentristes, les deux vrais révolutionnaires furent Kepler et Galilée et non pas Copernic. Kepler, pour avoir imaginé de toutes pièces un changement de paradigme décisif pour la suite de la théorie, entièrement inédit et dont on mesure difficilement l'audace, à savoir la substitution des trajectoires elliptiques aux trajectoires circulaires admises depuis Platon. Galilée, pour avoir

fondé la science sur l'observation et non plus sur des arguments de vraisemblance et des préjugés d'école, grâce à quoi il détruisit les arguments aristotéliens en faveur du géocentrisme; mais surtout, Galilée fut celui qui, le premier, aperçut le principe d'inertie et énonça la loi de la chute des corps, pierres d'angle de la mécanique de Newton et de la théorie de la gravitation.

Voyons maintenant la relativité des mesures de l'espace et du temps. La relativité est le type même de la découverte géniale qui ne procède pas d'une révolution. Le principe de relativité avait déjà été énoncé par Galilée: il stipulait que les lois de la mécanique doivent être les mêmes pour tous les observateurs en mouvement relatif uniforme. L'effort d'Einstein fut un effort d'unification, en incluant dans le principe de relativité non plus seulement la mécanique, mais aussi la théorie du champ électromagnétique de Maxwell (c. à d. l'électricité, le magnétisme et l'optique). Et c'est à titre de conséquence, mais non pas de nouveau principe posé a priori, qu'il s'ensuit une différence entre les mesures d'espace et de temps effectuées par des observateurs en mouvement relatif très rapide. Aux faibles vitesses ("faibles" en comparaison des 300.000 km/s de la lumière!) Newton continue d'avoir raison, mais son hypothèse sur le caractère absolu de l'espace et du temps ne peut plus être érigée en principe et doit céder la place aux principes relativistes d'Einstein.

Pourtant, je ne crois pas que ce soit ce changement de paradigme qu'il faille, en l'occurrence, souligner chez Einstein, mais plutôt son esprit de synthèse et de généralisation. Le changement de paradigme est ailleurs, me semble-t-il, il est "en amont", mais ce n'est pas lui qui frappe l'esprit des non spécialistes.

Le véritable, le grand changement de paradigme, celui qui est à l'origine de toutes les découvertes, et aussi de toutes les difficultés de la physique du XXe siècle, à commencer par celles de la relativité, c'est la découverte, par Maxwell, des équations du champ électromagnétique. C'était d'ailleurs l'opinion d'Einstein lui-même, qui considérait cette découverte comme la plus grande depuis Newton, parce qu'elle brisait l'unité d'un monde décrit par Newton et par ses successeurs en termes de corpuscules matériels se mouvant dans un espace vide, espace dans lequel Maxwell a introduit un être entièrement nouveau, le champ électromagnétique (les ondes), un être qui est partout, se répand partout, qui remplit tout et qui n'est plus localisé comme l'étaient les particules.

C'est en cherchant à réunifier ces deux mondes antagonistes des corpuscules et des champs, qu'Einstein en est venu à ses conclusions sur

l'espace et le temps. Mais le changement de paradigme était antérieur, il était chez Maxwell. S'il est moins ressenti comme tel, c'est que tout le monde sait, ou croit savoir (en fait, personne ne sait!) ce que sont l'espace et le temps, tandis que les corpuscules et les ondes sont des concepts plus abstraits et plus lointains.

Enfin, regardons le changement de paradigme de la mécanique quantique. Quand on posait la question à Einstein (qui découvrit le photon, particule associée aux ondes de lumière), à de Broglie (qui découvrit les ondes de matière associées aux corpuscules matériels), à Schrödinger (qui découvrit l'équation qui gouverne les ondes de de Broglie), tous trois répondaient que le vrai mystère, le vrai changement de paradigme est dans la découverte de l'intrication des propriétés corpusculaires et ondulatoires, et non pas dans les probabilités qui, pour eux, n'étaient qu'un instrument mathématique ne touchant pas la nature des choses et dont l'invasion ne constituait pas à leurs yeux un changement de paradigme. Ils niaient tout simplement que l'impossibilité, dans laquelle se trouve l'actuelle mécanique quantique, de décrire une trajectoire et d'exprimer les lois de la physique en termes de causalité, puisse être une loi de la nature: ils n'y voyaient qu'un aspect provisoire de la microphysique et non un nouveau paradigme auquel ils seraient tenus de se plier.

Quant à la "non-localité", ou la "non-séparabilité", dont on a tant parlé, ces notions sont devenues comme les porte-drapeaux du nouveau paradigme quantique et elles ont été, ces dernières années, l'objet d'interminables polémiques, mais je n'ai pas l'intention d'y revenir, n'y ayant, malgré moi, que trop participé. Qu'il me suffise d'observer que l'étendue même de ces polémiques, leur acharnement et le nombre des protagonistes montre qu'il ne s'agit là ni d'une conséquence nécessaire de la théorie, ni d'un résultat expérimental auquel on serait tenu de se ranger, mais bien d'un problème interprétatif.

La querelle que ce problème engendre signifie tout simplement que si le changement de paradigme revêt, aux yeux de certains, l'évidence aveuglante des convictions idéologiques, il n'en est pas pour autant imposé par les faits: le spectre de l'hydrogène ou le spin de l'électron n'ont jamais provoqué autant de passions agressives, tout en ayant suscité un immense intérêt et en ayant eu des conséquences beaucoup plus importantes.

Toute cette discussion n'a pas pour but d'imposer au lecteur mes propres vues, mais seulement de suggérer que la révolution scientifique, identifiée à un changement de paradigme, n'est pas une notion aussi

simple qu'on le prétend parfois, qu'elle reste, au contraire, toujours discutable et peut toujours être remise en question. Pourtant, il est arrivé, en science - et plus d'une fois - qu'un changement de paradigme parvienne à s'imposer. Et ceci nous amène au troisième sens du mot révolution.

3) D'une façon plus radicale, on appelle révolution la prise du pouvoir par un nouveau groupe, dans la société, et les changements profonds qui en résultent.. Or cela existe en science et c'est ainsi qu'un paradigme peut s'imposer plus ou moins durablement.

Bien sûr, ce paradigme doit d'abord prouver, au moins momentanément, son efficacité, c. à d. rendre intelligible, d'une certaine manière, un certain ensemble de faits. Mais il n'est pas, pour autant, le seul possible et imposé par l'expérience, il n'est même pas nécessairement le meilleur (même momentanément). Il doit seulement s'être acquis des mérites qui le rendent scientifiquement défendable, de telle sorte qu'en des circonstances favorables, c. à d. s'il correspond à l' "air du temps", il ait des chances de s'imposer, sous l'influence d'éminentes personnalités, de groupes puissants et prestigieux et le plus souvent à la suite d'une lutte d'influence comme on en voit dans toute activité humaine.

C'est de cette manière que le système géocentrique et la théorie des épicycles de Ptolémée se sont imposés en astronomie pendant plus d'un millénaire et demi, la théorie corpusculaire de la lumière de Newton pendant cent vingt ans, la théorie ondulatoire de la lumière de Fresnel pendant un siècle (jusqu'aux années vingt de notre siècle), l'atomisme tel que nous le connaissons, depuis quatre-vingts ans, la mécanique quantique depuis soixante.

Entendons nous bien, il ne s'agit pas de considérer ces théories prestigieuses, qui furent à l'origine de grands progrès scientifiques et sur lesquelles travaillèrent les plus grands physiciens, comme des sortes d'idéologies plus ou moins arbitraires qu'on peut remplacer au gré du vent ou des influences. Leurs mérites scientifiques, grâce aux résultats qu'elles ont atteints (ou qu'elles atteignent encore), ne sauraient être oubliés, même lorsqu'elles se voient supplanter par des théories nouvelles (les fameux changements de paradigme...).

D'ailleurs, certaines de ces théories, après avoir perdu le pouvoir absolu qu'elles ont jadis possédé, continuent de régner sur de vastes provinces de la science: il n'est que de penser à la mécanique de Newton qui continue d'être indispensable dans de nombreux domaines et qui reste une science vivante et en pleine expansion, malgré la victoire du "paradigme quantique". Il n'est que de penser à l'optique purement

corpusculaire de Newton qui domine la construction des instruments d'optique, tandis qu'au contraire, la théorie purement ondulatoire de Fresnel occupe l'essentiel de l'optique du laser. Et cela alors même que l'une et l'autre théorie, l'ondulatoire comme la corpusculaire, ont perdu leur rôle de paradigme en optique.

Lorsqu'une théorie impose sa vision des choses et devient paradigmatique, c. à d. incarne le "vrai", à une certaine époque, elle eclipse les autres, elle prend le pouvoir, en quelque sorte, et elle prend plus de pouvoir que ses seuls mérites ne lui en vaudraient, parce qu' aucune théorie ne voit jamais qu'une certaine facette de la réalité et que, nécessairement, elle se masque d'autres facettes que découvriront des théories nouvelles, ou même, que découvrent déjà des théories existantes mais que personne n'écoute encore parce que le rôle de "paradigme", autrement dit le pouvoir, est tenu par quelqu'un d'autre.

Eh bien cette prise de pouvoir là, c. à d. non pas simplement le succès scientifique, mais la capacité d'imposer durablement sa vision des choses, son propre paradigme, cette prise de pouvoir là, est de caractère révolutionnaire, en ce sens qu'elle est le fait de brillants leaders (souvent des savants géniaux), suivis par tout un "peuple" de scientifiques, qui ne sont pas sans mérite, mais sont de moindre envergure et qui constituent l' "opinion publique" de la science: ils forment avec les leaders une puissante cohorte qui, à l'occasion de succès scientifiques suffisamment convaincants, avec l'aide d'un environnement philosophique favorable, peut bousculer les idées dominantes du moment et prendre place durablement. Il arrive même que cette prise de pouvoir s'effectue dans quelque prestigieuse assemblée (évoquant d'autres événements historiques) comme ce fut le cas pour la mécanique quantique au Congrès Solvay de 1927.

Mais, précisément parce qu'un nouveau paradigme, en imposant son autorité, fait taire, momentanément, toute idée différente et plonge dans un oubli durable des idées de valeur, la science peut fort bien progresser, ensuite, par des retour en arrière, ce qui nous amène au dernier sens du mot révolution, en fait le premier.

4) Etymologiquement, la révolution, c'est d'abord la révolution des astres, le retour à la position initiale. Car la science, en effet, ne progresse pas linéairement: elle effectue de fréquents retours en arrière. Tout d'abord parce que les idées entièrement nouvelles sont extrêmement rares et que, le plus souvent, le progrès, l'idée neuve, consiste, en réalité, à redécouvrir ou à reprendre sous une forme nouvelle, une vieille idée, dont de successives variantes ont été, au cours des siècles, avancées, puis

rejetées pour diverses raisons, puis longtemps tombées dans l'oubli, au point que tout le monde s'étonne de les revoir paraître.

On l'a déjà vu à propos du système héliocentrique, successivement proposé, sous différentes formes, par les pythagoriciens, par Aristarque et par Copernic. Mais il en a été de même pour les corpuscules et les ondes, images entre lesquelles l'optique a longtemps balancé et entre lesquelles elle balance encore. Il en est un peu ainsi, également, pour la mécanique classique de Newton: après avoir été regardée comme une sorte de pièce de musée, du temps de l'enthousiasme tout neuf que suscita la découverte de la relativité et des quanta, on la voit effectuer, aujourd'hui, un brillant retour sur le devant de la scène, étonnant beaucoup de physiciens par sa puissance explicative et par son aptitude à se renouveler.

De tels retours en arrière ne sont évidemment jamais des cercles qui se referment, mais des mouvements en spirale qui font revoir d'une autre altitude, sous de nouveaux angles et fortement enrichis, des paysages pourtant familiers. Et c'est là que se trouve l'explication des abandons et des retours.

Les changements de paradigme, les révolutions scientifiques, qui oblitèrent, à un moment donné, telle conception au profit de telle autre, ne peuvent se produire, nous l'avons déjà dit, qu'en faveur d'une théorie qui est capable de satisfaire aux principales exigences scientifiques du moment. Mais, ce faisant, on oublie certains problèmes que soulevaient à juste titre les théories tombées momentanément en défaveur et ce sont ces théorie là que l'on retrouve plus tard, en les modifiant et en les enrichissant de connaissances nouvelles acquises entretemps, lorsque ces problèmes oubliés reviennent sur le devant de la scène, au hasard du progrès scientifique.

Bien sûr, le système héliocentrique de Copernic, Kepler, Galilée et Newton n'est pas vraiment celui d'Aristarque; les ondes lumineuses de Fresnel et de Maxwell ne sont plus les ondes qu'avait envisagées Huygens longtemps avant eux; les corpuscules de lumière d'Einstein (les photons) ne sont pas, non plus, ceux que Newton avait imaginés.

Mais il s'agit bien, cependant, de retours en arrière, c. à d. de révolutions, au sens de la Révolution des orbites célestes, pour reprendre le titre du célèbre ouvrage de Copernic, c. à d. de révolution au sens étymologique du mot, de même que nous avons rencontré des révolutions scientifiques au sens de grande agitation, au sens de changement radical de la manière de voir les choses et au sens de prise du pouvoir par un groupe d'insurgés au nom d'une idée nouvelle.