



HAL
open science

Science et Innovation - Révolutions et ruptures

Olivier Ridoux, Filipe Drapeau Vieira Contim

► **To cite this version:**

Olivier Ridoux, Filipe Drapeau Vieira Contim. Science et Innovation - Révolutions et ruptures. Master. France. 2021. hal-03176745

HAL Id: hal-03176745

<https://univ-rennes.hal.science/hal-03176745>

Submitted on 22 Mar 2021

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.

Compléments de lecture : sciences, épistémologie et innovation.

Pliage : traits **gris** rentrants, traits **rouges** saillants. Découper selon le trait rouge entre les deux ●, puis achever le pliage.

1. Histoire des inventions et histoire des usages

L'histoire de l'**innovation** est trop souvent présentée sous la forme d'une histoire des **inventions** et surtout des **inventeurs**. Elle conduit souvent à la recherche de l'inventeur premier et à une quête effrénée de l'**antériorité**, ex. pour la machine à vapeur, la faire remonter à **Watt** (1769), voire **Newcomen** (1712), ou même **Papin** (1690), et pourquoi pas **Héron** (ca. 62) en omettant les plus de 200 ans après Watt de développement de cette technologie soutenu par un flot continu d'innovations. Le résultat est une histoire presque exclusivement ouest-européenne ou nord-américaine, masculine et blanche. Dans son livre ***The Shock of the Old***, **David Edgerton** parle d'une histoire racontée pour les **garçons de tous âges**.

Une autre façon de raconter l'histoire de l'innovation est de la raconter par les **usages** qu'elle introduit et comment ils se sont développés. **Edgerton** parle alors d'une histoire racontée aux **adultes de tous sexes**. Ex. son livre est une histoire mondiale, **globale**, du développement des usages ; il met en particulier l'accent sur le nécessaire entretien, la **maintenance**, de l'innovation initiale par un flot continu d'innovations d'amélioration qui ont lieu là où sont les usages, et pas forcément là où l'invention a eu lieu.

3. Ce qu'en pensent Popper, Kuhn, Lakatos et Feyerabend

Karl Popper (1902-94) est connu pour son critère de démarcation entre théorie scientifique et théorie non scientifique. Selon Popper, pour être scientifique une théorie doit être **falsifiable**. Une lecture simpliste a souvent cours dans les milieux scientifiques pour dénigrer des domaines concurrents.

Thomas Kuhn (1922-1996) a une formation de **physicien** (PhD en mécanique quantique de l'université de **Harvard** en 1949). Il trouve alors un poste universitaire comportant la mission d'enseigner l'**histoire des sciences**. Il se forme à ce domaine nouveau pour lui, et l'enseigne pendant 12 ans, pendant lesquels il élabore sa théorie des révolutions scientifiques qu'il publie en 1962 dans **La structure des révolutions scientifiques (SRS)**. Il deviendra professeur à l'université de Berkeley, puis à Princeton, et enfin au MIT.

Imre Lakatos (1922-1974) est un philosophe hongrois. Il développe sur les **mathématiques** un point de vue proche de Kuhn en montrant qu'elles ne procèdent pas de façon aussi purement déductive qu'on l'imagine. Elles aussi procèdent par essais et erreurs, en ajustant les hypothèses et les conclusions des théorèmes.

Paul Feyerabend (1924-94) défend l'idée que la pensée scientifique n'est pas plus digne d'intérêt a priori que d'autres formes de pensées. Selon lui les activités qu'on convient d'appeler scientifiques sont aussi **dogmatiques** et **subjectives** que les autres.

1. Les paradigmes informatiques

En 1978, dans son discours de réception du Prix Turing, **Robert Floyd** utilise en informatique le concept de **paradigme** en référence explicite à la SRS (Kuhn) pour décrire des **familles de langages de programmation** en terme de mode de pensée pour le programmeur. Ex. on parle du paradigme **impératif**, ou comment décrire un enchaînement **d'actions élémentaires** qui font passer d'un **état initial à l'état final désiré**, ou du paradigme **fonctionnel**, ou comment décrire une composition de **fonctions élémentaires** qui associe à chaque **valeur d'un paramètre d'entrée** la **valeur de sortie désirée**.

Même sans utiliser le terme de paradigme, certains développements scientifiques et techniques de l'informatique se comportent comme des paradigmes de Kuhn. Ex. dans le domaine des **bases de données**, le **modèle relationnel** proposé par **Codd** en 1970 est reconnu comme prometteur dès le début car il résout des problèmes de conception jusque là non résolus, mais il ne se traduit pas par une adhésion immédiate dans l'usage car **on ne sait pas encore le mettre en œuvre efficacement**. Il ouvre alors un vaste **programme de recherche pour le rendre efficace**, qui conduira à un **usage généralisé dans les années 1990-2000**. Mais à cette époque naissait le **web**, qui introduit progressivement un nouveau type de demande que le modèle relationnel ne peut pas satisfaire. Il s'en suit actuellement une **profusion de modèles alternatifs** qui fait penser à une phase de **crise** selon Kuhn.

1. Épistémologie et histoire des sciences

L'**épistémologie** étudie les conditions de la **connaissance** et particulièrement de la **connaissance scientifique**. Elle essaie de répondre à de nombreuses questions comme :

- **« Qu'est-ce qu'une connaissance scientifique ? »**,
- **« Comment la distingue-t-on d'une connaissance non-scientifique ? »**,
- **« Comment la distingue-t-on d'une croyance ? »**,
- **« Pourquoi lui donne-t-on de la valeur ? »**,
- **« Comment se construit-elle ? »**, etc.

À un extrême, elle peut chercher à donner des **normes** de comportement scientifique, comme le fait par exemple **Karl Popper** pour distinguer les connaissances scientifiques des autres connaissances. À un autre extrême, elle peut chercher à décrire l'**activité** des scientifiques, comme le fait **Thomas Kuhn**. Ce point de vue peut être irrigué par l'**histoire des sciences** et peut conduire à la **sociologie des sciences**, comme l'ont fait par exemple **Robert King Merton** et **Bruno Latour**.

4. Observation, induction et test

Observer des **faits particuliers** et en tirer des **lois générales** est au cœur de l'activité scientifique. Cela s'appelle l'**induction**. Pourtant, l'observation de faits particuliers ne fournit de conclusion **logique** que lorsqu'elle **contredit** une théorie. Ex. n'observer que des **cygnes blancs** ne permet pas de conclure logiquement que **tous les cygnes sont blancs** ; il en est des **noirs** en Australie, et le jour où on le découvre la théorie des **cygnes tous blancs** devient certainement fausse. Pour Popper, le scientifique devrait donc délibérément chercher à mettre en cause les théories en les soumettant à des contre-expériences, et pour être scientifique une théorie devrait être **falsifiable**. Moins logiciste, le sociologue **Robert King Merton** dit que l'induction empirique est une forme de raisonnement comme une autre, mais qu'une des valeurs de la science est le **scepticisme organisé**. Dès sa création en 1660, la **Royal Society**, la plus ancienne société savante, adoptait la devise **Nullius in Verba** : ne croire personne sans vérifier.

Pour Kuhn, l'observation pure n'existe pas, elle est toujours **chargée d'a priori**. Ex. selon qu'on observe la **Lune** avec l'a priori qu'elle est **lisse** ou bien qu'elle a un **relief**, on n'interprète pas ses **taches** de la même façon (différentes couleurs du sol dans un cas, et ombres du relief dans l'autre). Selon lui, une observation contradictoire ne condamne pas nécessairement une théorie, et il vaut mieux chercher d'abord à vérifier ses hypothèses a priori.

En **informatique**, **programmer** revient à rédiger les lois générales d'un système. Il est crucial de s'assurer que ces lois sont correctes, et une pratique courante est alors de **tester** le programme en le soumettant à des expériences. Mais comme pour l'induction, et comme le dit le pionnier de la programmation **Edsger Dijkstra**, « Tout ce que peut démontrer un test c'est qu'un programme est faux ». Pourtant, le test reste la principale méthode de validation des programmes. Se pose alors la question de ce qu'on peut réellement déduire d'un test réussi.

2. La découverte des planètes du système solaire

Même sans avoir conscience de l'appartenance à un **système solaire**, l'Humanité a très tôt distingué les planètes par leur mouvement d'apparence erratique sur le fond stable des étoiles. Les planètes **Mercure**, **Vénus**, **Mars**, **Jupiter** et **Saturne** sont visibles à l'œil nu et sont identifiées depuis l'Antiquité. La **Terre** est aussi une planète, mais dans la tradition **géocentrique** elle est le centre fixe autour duquel tournent la Lune, les planètes et les étoiles ; la Lune et les planètes tournant sur des **orbites circulaires** et les étoiles sur une **sphère** qui englobe le tout.

Au cours du temps, l'observation de plus en plus précise des astres contredit ce modèle, qui sera progressivement augmenté d'hypothèses complémentaires, pour le réparer sans en changer, mais sans pour autant gommer totalement les anomalies. Il faudra **Nicolas Copernic** (1472-1543), qui propose que le Soleil occupe le centre, mais conserve l'idée d'orbites circulaires, **Tycho Brahé** (1546-1601), qui propose que le Soleil et la Lune tournent autour de la Terre, mais que les autres planètes connues alors tournent autour du Soleil, **Johannes Kepler** (1571-1630), qui formule des lois de mouvement des planètes sur des trajectoires elliptiques autour du Soleil, et **Galilée** (1564-1642), qui défend publiquement les idées de Kepler, pour envisager le système **héliocentrique** moderne. **Isaac Newton** (1643-1727) en donnera les lois qui sont les mêmes que celles de la **chute des corps** sur Terre.

Des instruments toujours plus précis permirent d'explorer le système solaire lointain. En 1781, la planète **Uranus** est découverte par **William Herschel** (1738-1822). Plus justement, la précision croissante des observations permit à Herschel de requalifier en **comète** un astre pris jusque là pour une **étoile**, et des calculs toujours plus précis permirent à **Anders Lexell**, **Johann Bode** et **Charles Messier** de la requalifier en **planète** en 1783. La nouvelle planète sera ensuite nommée **Uranus** vers 1850 après de nombreuses autres propositions. Dès 1788, des observations encore plus précises de la future Uranus permirent de déceler des anomalies qui résistèrent aux vérifications jusqu'à ce que vers 1820 on en vienne à postuler l'existence d'une 8^{ème} planète dont la masse perturberait la trajectoire d'Uranus, ou pour certains à suggérer, en vain, que la loi de la gravitation universelle devait être revue.

En 1843, **John Couch Adams** commence les calculs qui permettraient de localiser la planète perturbatrice et en 1845 il transmet ses résultats pour vérification à l'observatoire de Cambridge, qui les ignora. En 1845, **Urbain Le Verrier** se lança indépendamment dans les mêmes calculs et publie ses résultats la même année. Il les transmet au même observatoire qui les ignore aussi, puis en 1846 à l'observatoire de Berlin qui fait immédiatement la vérification et trouve une planète à l'endroit indiqué. Comme pour Uranus, on sait maintenant qu'elle avait déjà été observée, même par Galilée, mais considérée comme une **étoile**. Elle sera nommée **Neptune** presque immédiatement.

Cette approche de la résolution d'anomalies par le calcul de la position d'astres perturbateurs semblait extrêmement féconde et on tenta de l'utiliser une fois de plus pour expliquer des anomalies de la trajectoire de **Mercure**. Le Verrier se mit au travail et postula une nouvelle planète, appelée **Vulcain**, qui n'a jamais pu être observée. En fait, cette fois-ci c'était la **mécanique de Newton** qui était en défaut, et il a fallu attendre la théorie de la **relativité générale** de **Einstein** pour expliquer la trajectoire de Mercure. Cependant, la méthode des perturbations est toujours utilisée pour détecter des exo-planètes.

2. Le procès de l'Act 590 de l'Arkansas

Le procès de l'Act 590 de l'Arkansas fournit un exemple de ce que essayer de répondre à la question « Qu'est-ce que la science ? » n'est pas que spéculation abstraite. Dans l'exemple qui suit, l'issue d'un procès en dépend.

Le **créationnisme** s'oppose à la **théorie de l'évolution** en s'appuyant sur une **lecture littérale de la Bible**. Le créationnisme affirme que toutes les espèces ont existé depuis la Création, souvent fixée à il y a environ 6000 ans. Aux États-Unis, l'opposition entre le créationnisme et la théorie de l'évolution occupe depuis longtemps le débat public, les uns demandant que le créationnisme soit traité comme une théorie scientifique, en particulier dans l'enseignement, les autres affirmant qu'il ne s'agit que d'une croyance religieuse.

En 1982, le Parlement de l'Arkansas vote une loi, ***l'Act 590***, qui oblige les enseignants de biologie des lycées à enseigner de paire la **théorie de l'évolution** et la **théorie de la création**, comme deux théories également scientifiques. Les opposants à cette loi ont alors intenté un procès à l'État de l'Arkansas en avançant que la **théorie de la création** est une **croyance religieuse**, et que l'enseigner comme une **connaissance scientifique** viole la **Constitution** qui stipule que l'État ne peut avantager une religion par rapport aux autres.

Il restait au juge **William Overton**, chargé de l'affaire, à décider si le créationnisme est une **théorie scientifique** ou une **croyance religieuse**. Il fit appel à l'expertise d'un **épistémologue**, **Michael Ruse**, pour lui demander ce qu'est une théorie scientifique. La réponse fut la suivante : une théorie scientifique

- s'appuie sur des lois générales qui décrivent des phénomènes naturels,
- fournit des explications fondées sur ces lois,
- est testable empiriquement,
- n'est pas un dogme (c-à-d. que même ses défenseurs savent qu'une théorie peut-être amenée à être contredite et à être remplacée par une autre), et
- est **falsifiable** au sens de Popper (c-à-d. qu'il est possible d'imaginer une expérience qui pourrait la contredire).

Le juge observant que la Théorie de la création ne respectait pas ces critères la considéra comme une **croyance religieuse** et son enseignement officiel parmi des théories scientifiques comme une **violation de la Constitution**.

2. Clayton Christensen

Clayton Christensen est un professeur de la **Harvard Business School** qui a consacré sa recherche à l'étude de l'**innovation**. S'intéressant à des domaines très variés, marchands ou non, technologiques ou non, il caractérise l'**innovation** comme une idée nouvelle qui rentre dans l'**usage**, et la **rupture** comme une innovation qui **change les usages**.

Par exemple, pour Christensen l'**automobile** est une **innovation** quand elle rentre dans l'usage (vers 1890), mais n'est pas encore une rupture car elle ne fait que prendre la place des calèches où le cocher deviendrait chauffeur. Pour lui la **rupture** arrive avec la **construction à bas coût** des voitures en **chaîne de montage** (vers 1910) car à ce moment-là seulement des **couches nouvelles** de la population ont pu accéder à un **moyen de transport personnel**.

5. L'informatique est-elle une science ?

Tenter d'analyser l'**informatique** dans les termes de Kuhn demande de répondre d'abord à la question « L'informatique est-elle une science ? », car sinon l'entreprise n'a pas de sens.

Pour certains la réponse est **non**. Ex. **Richard Feynman** s'emploie à démontrer dans ses **Leçons sur l'informatique** (1984-86) que l'informatique n'est que **technologie** et que les seules questions scientifiques qu'elle pose sont des questions de **physique**. C'est excessif, mais malheureusement partagé par de nombreux scientifiques pour qui les sciences ont forcément pour objet la compréhension de la **nature**, ex. la **physique** et la **chimie**, la **biologie**, l'**astronomie**, etc. alors que l'informatique aurait pour objet les **ordinateurs**, qui ne sont pas des objets de la nature. À cette objection, **Edsger Dijkstra** (reprenant une formule de **Fellows** et **Parberry**) répond que « L'informatique n'est pas plus la science des ordinateurs que l'astronomie n'est la science des télescopes ».

Parmi ceux qui disent **oui**, certains défendent que l'informatique est une branche des **mathématiques**. Un point de vue plus moderne défend qu'elle est **la science du calcul**, de ses conditions de **faisabilité**, de ses **moyens**, et de ses **applications**, étant entendu que le calcul n'est **pas que le calcul numérique** : point de vue déjà esquissé par **Ada Lovelace** en 1843 dans sa traduction annotée de l'article de **Luigi Menabrea** sur la machine analytique de **Charles Babbage**.

3. Ce qu'en pensent Boltzmann, Planck, Einstein, de Broglie et Feynman

Ludwig Boltzmann (1844-1906) est un physicien allemand considéré comme le père de la physique statistique : « Peut-être le profane s'imagine-t-il que nous avançons progressivement dans la découverte de la nature par **ajouts successifs de nouveaux résultats**… Mais cette idée est erronée car la physique théorique progresse toujours par **bonds** ».

Max Planck (1858-1947) est un physicien allemand qui reçut le Prix Nobel en 1918 pour son travail sur la théorie des quantas : « Une **nouvelle vérité** scientifique ne triomphe pas en convaincant ses opposants et en leur faisant voir la lumière, mais plutôt parce que les opposants finissent par mourir, et qu'une nouvelle génération grandit, **familiarisée avec la nouvelle théorie** » (citée dans SRS).

Albert Einstein (1879-1955) est un physicien allemand qui reçut le Prix Nobel en 1921 pour son travail sur les quantas de lumière : « De la science sans **épistémologie** c'est du primitif et du confus ».

Louis de Broglie (1892-1987) est un physicien français qui reçut le Prix Nobel en 1929 pour son travail sur le comportement ondulatoire de l'électron : « Une doctrine qui parvient à réaliser une vaste synthèse produit sur le théoricien une **impression de beauté** et **l'incline à croire qu'elle renferme une grande part de vérité** ».

Richard Feynman (1918-1988) est un physicien américain qui reçut le Prix Nobel en 1965 pour son travail sur l'électromagnétisme quantique : « Si nous avons **confiance** dans une loi, et si quelque chose semble **aller de travers**, cela peut nous suggérer un **autre phénomène** ».