

Eduquer à la science et à l'esprit critique dans le cadre d'un accès à la culture scientifique pour tpus : le cas de la mécanique quantique

P. Lautyresse, Jean-Loup Heraud, F Ferlin, L. Chaussard, J. Tuallion

► To cite this version:

P. Lautyresse, Jean-Loup Heraud, F Ferlin, L. Chaussard, J. Tuallion. Eduquer à la science et à l'esprit critique dans le cadre d'un accès à la culture scientifique pour tpus : le cas de la mécanique quantique. Une éducation à la pensée scientifique pour une société plus juste. Education, citoyenneté, pensée scientifique, O. Perru, P. Lautyresse, F. Charles (sous la dir. de), 2018. halshs-02505859

HAL Id: halshs-02505859

<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02505859>

Submitted on 11 Mar 2020

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.

P. Lautesse, Jean-loup Héraud, F. Ferlin, L. Chaussard, J. Tuallion

Eduquer à la science et à l'esprit critique dans le cadre d'un accès à une culture scientifique pour tous : le cas de la mécanique quantique

1 - Introduction.

L'éducation à l'esprit scientifique et critique est une des missions de l'enseignement dans le cadre formel de celui de l'école ou de l'université et peut être un objectif de la médiation ou la vulgarisation des sciences dans le cadre non formel de celui du musée ou de conférences grand publique par exemple.

Dans cette optique, la physique quantique, par son formalisme maintenant éprouvé depuis presque 100 ans mais par ses interprétations encore ouvertes, nous semble offrir un angle pertinent pour aborder le développement de l'esprit critique (non seulement dans ce domaine de la physique, mais sur la science elle-même), ceci d'autant plus que la physique quantique est largement sujette à des surinterprétations et des dévoiements (voir Quantox, Monvoisin, 2011).

Dans le cadre formel, nous analysons, au travers des manuels de physique, l'enseignement de physique quantique proposé aux lycéens de Terminale Scientifique (TS) en France en plaçant le débat sur l'aspect conceptuel, en discutant l'épistémologie de cette matière, voire son ontologie, intensivement abordée principalement par les philosophes des sciences. Ce travail d'analyse épistémologique réalisé avec les 5 manuels français de TS a été publié (voir P. Lautesse et al., 2015) ainsi qu'un travail sur l'ontologie (voir Héraud et al., 2017). Ce dernier travail aborde l'ontologie de la physique quantique au travers de récits de fictions, qualifiés de réalistes, dans le cadre de la théorie des mondes possibles de Lewis (Lewis, 1975) et en prenant pour illustration le récit de Gamow (Mr Tompkins in Wonderland, 1936) dont un extrait est cité dans un des manuels de TS.

2 – La dualité onde-corpuscule dans l’enseignement secondaire en France.

La physique quantique a été de nouveau introduite dans les programmes français de Terminale Scientifique (TS) en 2012 et la dualité onde-corpuscule est un aspect important de cet enseignement puisqu’on le retrouve dans le Bulletin Officiel de l’Education Nationale (BOEN) et donc dans l’ensemble des manuels.

« Lorsque les élèves abordent la partie « Dualité onde-particule », ils ont dans ce domaine une vision assez tranchée des objets de la physique classique : il y a les particules et les ondes. Comme nous l’avons vu, ils associent à chaque objet un mode de description, des techniques d’étude, et des propriétés spécifiques.

Ils aborderont ces nouveaux concepts de la physique quantique avec leur culture de physique classique et utiliseront, comme les physiciens l’ont fait avant eux un vocabulaire de cette physique classique qui, comme nous le verrons n’est pas sans soulever certaines difficultés.

Ainsi tout en s’appuyant sur leur connaissance de physique classique, il faudra les convaincre que les concepts de la mécanique quantique nécessitent de nouveaux objets qui ne sont ni des ondes ni des particules et qui obéissent à d’autres lois que celles de la physique classique. »

(Annexe 1 : le programme et les commentaires - Dualité onde-particule)

La dualité onde-corpuscule est un obstacle pour l'enseignement puisqu'un objet classique ne peut être simultanément une onde et un corpuscule : exemple de l'expérience des fentes d'Young. Un photon (ou un électron...) permet d'établir une figure d'interférences (à grandes statistiques). A faible statistique, en revanche, on n'obtient pas une figure d'interférences à plus faible intensité mais des impacts répartis aléatoirement sur un écran. Ce résultat ne peut donc pas s'interpréter par un comportement purement ondulatoire ni par un comportement purement corpusculaire. Le photon (ou l'électron...) est donc un objet quantique (ni onde ni corpuscule).

Mais par où est passé le photon (l'électron...) unique ?

L'idée est de mettre un détecteur derrière une des deux fentes. Si on détecte « l'objet quantique », c'est qu'il est passé par la fente où est placé le détecteur, sinon « l'objet » est passé par l'autre. Le résultat est donc sans équivoque... mais la figure d'interférences disparaît. On ne peut donc pas avoir simultanément la figure d'interférences et la position de « l'objet quantique ».

Interprétations : il « interfère avec lui-même », il « est passé par les deux fentes en même temps ». L'objet quantique est initialement dans un état superposé mais ne l'est plus suite à la mesure (« effondrement de la fonction d'onde » mais les lois quantiques ne prévoient pas directement cet effondrement).

Problème de la mesure quantique (il n'existe pas de définition objective et rigoureuse de ce qu'est une « mesure »)

Quelle est le rôle de l'observateur ?

La porte est ouverte pour des interprétations diverses et variées.

3 -Utilisation de récits de fiction « réalistes » : théorie de Lewis

La théorie de Lewis repose de manière essentielle sur la contrefactualité dont découle le rapport de proximité entre mondes fictif et monde physique existant. L'hypothèse contrefactuelle (contraire au faits de notre monde) doit donc intégrer les concepts de la physique quantique. Par exemple avec le changement d'une constante (celle de Planck pour la physique quantique), toutes choses égales par ailleurs, on peut en déduire les conséquences vraies qui en résultent (le caractère ondulatoire des objets quantiques). Que devient notre monde physique existant s'il est quantique ?

Application aux aventures de M. Tompkins : ce livre, utilisé dans certains manuels de TS, raconte les rêves de M. Tompkins, dans lesquels sont abordés des problèmes liés à la relativité et à la physique quantique et plus généralement au caractère contre-intuitif de la physique contemporaine. Comme écrit dans la préface du livre : « Nous pouvons cependant imaginer d'autres mondes, régis par les mêmes lois physiques que le notre, mais avec des valeurs numériques différentes pour les constantes physiques qui déterminent les limites d'application des anciens concepts »

« Quatrième rêve. Encore plus d'incertitude »

Dans cette histoire, trois personnages partent explorer une contrée étrange, une jungle quantique : un observateur (Mr Tompkins), un chasseur de tigre, et un professeur. La caractéristique physique de la jungle quantique est sa « très grande constante quantique » (constante de Planck). Les objets macroscopiques de cette jungle sont alors soumis aux lois de la physique quantique. En voulant chasser le tigre, le chasseur voit alors une multitude de tigres apparaître. Le chasseur en vise un entre les deux yeux et ne le touche pas. C'est en tirant un grand nombre de fois et sans viser juste que le chasseur fait mouche et la multitude de tigres se réduit alors en un tigre unique, mort. Ensuite le groupe aperçoit une multitude de gazelles qui sortent d'un bosquet par « franges « régulièrement espacées, et correspondent à une figure de « diffraction », caractéristique du « caractère ondulatoire de la matière », comme l'explique le professeur à Mr Tompkins.

4 -Vulgarisation de la physique quantique

Dans le cadre non formel, il s'agit de discuter, dans des cas de vulgarisations (conférences, roman, BD, films...), les différentes interprétations qui font débat aujourd'hui (« de Broglie », « Everett », « GRW »...) ainsi que les dévoiements potentiels (Monvisin, ..., Dubessy-Lecointre,...) tels qu'ils peuvent exister avec des sujets

tels que la téléportation par exemple. Il s'agit donc pour le citoyen d'exercer un esprit critique en distinguant science et non-science et de discuter les idéologies scientifiques que l'on réussit ou non à dé-idéaliser (Canguilhem, Debru). Il convient en effet d'opposer les usages idéologiques frelatés de la science et la part d'idéologie que comporte nécessairement toute théorie scientifique.

BD *Le Mystère du monde quantique* (Burniat – Damour)

Une fiction réaliste (au sens de la théorie de Lewis) qui raconte l'histoire de la théorie quantique en suivant un héros, Bob, et son chien, Rick, qui se promènent dans différents univers et rencontrent des physiciens qui ont élaboré la théorie quantique. Les concepts de la physique quantique sont alors présentés dans une BD à la fois ludique et didactique. D'autres BD (« fiction hard ») sont purement fictives et ne prétendent pas avoir une portée « éducative ».

5 -Dévoiements de la physique quantique

La physique quantique et ses concepts comme prétexte d'une non-science : surinterprétation/détournement (spiritualité, conscience, méditation, thérapie, paranormal...)

L'intervention de la conscience en physique quantique :

Exemple *Le Tao de la Physique* de Fritjof Capra (Paris, Sand, 1975)

p. 145 : « *La théorie quantique a aboli la notion d'objets séparés et introduit la notion de participant pour remplacer celle d'observateur ; il est désormais nécessaire d'inclure la conscience humaine dans sa description du monde.* »

Mais le scientifique ne sait pas travailler avec la conscience (avec ce qui n'est pas matériel, voir Lecointre) : non science.

6 -Fonction éducative des récits de fiction « réalistes » ?

Hypothèse ou principe de contrefactualité : *M. Tompkins in Wonderland* de Gamow, *Isolation* de G. Egan, *Le mystère du monde quantique* de Burniat et Damour. Mise à l'épreuve des concepts et lois quantiques dans notre monde transformé en monde possible, monde toutes choses égales par ailleurs : exercice logique et épistémologique. Principe de reconstruction ou de restauration

d'un mode de compréhension rationnel : les mondes quantiques décrits dans cette catégorie des récits de fiction présentent la capacité suivante : reconstruire à partir du monde fictionnel la connaissance des phénomènes quantiques invisibles dans notre monde physique.

7 –Conclusion

Il s'agit donc pour le citoyen d'exercer un esprit critique en distinguant science et non-science et de discuter les idéologies scientifiques que l'on réussit ou non à dé-idéaliser. Il convient en effet d'opposer les usages idéologiques frelatés de la science et la part d'idéologie que comporte nécessairement toute théorie scientifique.

La physique quantique, que ce soit dans un cadre formel ou non-formel, est un terreau fertile pour éduquer le citoyen (élèves, étudiant, ou tout apprenant potentiel) à la science, à ses limites, et ses dévoilements.

Bibliographie

Canguilhem, G. (1977). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*, Vrin.

Debru, C. (2004). *Canguilhem, science et non-science*, Presses ENS.

Dubessy, J., Lecoindre, G. (2001). *Intrusions spiritualistes et impostures intellectuelles en sciences*, Syllepse.

Gamow, G. (1965). *Mr Tompkins in Paperback*, Cambridge University Press.

Héraud et al., (2017). *Representing the quantum object through fiction in teaching: ontological contribution of Gamow's narrative as part of an introduction to quantum physics*, *Science & Education*, ...

Lautesse, P., Vila Valls, A., Ferlin, F., Héraud, J.L., Chabot, H. (2015). *Teaching Quantum Physics in Upper Secondary School in France*. *Science & Education*, 24 (7), pp. 937-955.

Lewis, D. (1978). "Truth in fiction", *American Philosophical Quarterly*, 15, pp. 37-46. Reprinted in 1983, *Philosophical Papers Vol. 1*, Oxford University Press.

Monvoisin , R. (2013). Quantox : mésusages idéologiques de la mécanique quantique, Book-e-book.