

Laura disparaît ! Appréhender le monde quantique à travers le roman *Isolation* de G. Egan.

Juliette, Tuillon-Combes
Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, France
S2HEP EA 4148, La Pagode, 43 Bd du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne, France
juliette.tuillon@univ-lyon1.fr

Philippe, Loutesse
Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, France
S2HEP EA 4148, La Pagode, 43 Bd du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne, France
philippe.loutesse@univ-lyon1.fr

Jean-Loup, Héraud
Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, France
S2HEP EA 4148, La Pagode, 43 Bd du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne, France
jean-loup.heraud@univ-lyon1.fr

Fabrice, Ferlin
Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, France
S2HEP EA 4148, La Pagode, 43 Bd du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne, France
fabrice.ferlin@univ-lyon1.fr

Lionel, Chaussard
Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, France
S2HEP EA 4148, La Pagode, 43 Bd du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne, France
lionel.chaussard@univ-lyon1.fr

Résumé

*Les concepts de la Mécanique Quantique (MQ) restent difficiles à appréhender par les étudiants de licence. Les notions mathématiques nécessaires à une compréhension approfondie de la MQ sont abordées à partir de la 3ème année de licence. En 2ème année, les aspects conceptuels sont privilégiés. Pour les discuter et pour susciter une réflexion approfondie, nous proposons une approche dans laquelle la science est mise en récit. Nous allons utiliser pour cela le roman de G. Egan, *Isolation*. Des extraits de ce roman vont nous permettre d'aborder progressivement les notions fondamentales de la MQ que sont la fonction d'onde, les états de superposition, la réduction du paquet d'ondes, etc. Pour cela nous allons revenir sur l'inexplicable disparition de Laura, une des héroïnes du roman, qui ne pourra être comprise que lorsque des notions de MQ auront été introduites au fil de l'intrigue, et assimilées par le lecteur étudiant. L'intérêt de *Isolation*, dans un cadre d'enseignement, est que la MQ nourrit l'intrigue tout au long du récit.*

Mots-clés : récit, mondes possibles, mécanique quantique, enseignement supérieur, épistémologie

Abstract

*Concepts of Quantum Mechanics (QM) are difficult for students to understand. Mathematical knowledge that is necessary for a thorough understanding of QM is introduced in the 3rd year of a bachelor's degree. In 2nd year, conceptual aspects are privileged. In order to discuss them and to stimulate a deeply thought, we propose an approach in which science is told as a narrative. For this aim, we use the G. Egan's novel *Quarantine*. Excerpts from this novel will allow us to progressively reach the fundamental notions of QM such as wave function, superposition of states, wave packet collapse, and*

so on. Hence, we will focus on the unintelligible disappearance of Laura, one of the novel's characters. This disappearance can be understood only when QM concepts have been introduced along the plot, and understood by the reader. The interest of Quarantine, in a teaching context, is that QM sustains the plot throughout the story.

Keywords : narrative, possible worlds, quantum mechanics, higher education, epistemology

Contexte de l'enseignement de la MQ en licence à l'UCBL

L'Université Claude Bernard Lyon 1 (UCBL) offre la possibilité aux étudiants de deuxième année de licence de physique et de physique/chimie (appelée L2 dans la suite du texte) de suivre un cours d'introduction à la mécanique quantique. Cet enseignement leur permet d'appréhender cette matière de façon plus conceptuelle avant de l'aborder de manière plus formelle en troisième année de licence. L'objectif de cet enseignement de L2 est d'une part de retravailler la compréhension des phénomènes souvent contre-intuitifs telle que la dualité onde/particule (introduite depuis 2012 dans les programmes de Terminale Scientifique (TS)), et d'autre part d'introduire des concepts tels que la fonction d'onde pour caractériser tout objet quantique, ou encore de discuter le problème du rôle de l'observateur lors de la mesure de ces objets.

L'enseignement de MQ en L2

Il a été décidé de construire un enseignement d'introduction à la MQ en L2 en n'utilisant que très peu les fondements mathématiques mais en s'efforçant de faire réfléchir les étudiants sur des phénomènes quantiques. Les enseignants privilégient une approche historique pour introduire les expériences fondatrices de la MQ. Deux de ces expériences sont particulièrement détaillées en cours : l'expérience de pensée du chat de Schrödinger, et l'expérience des doubles fentes de Young (introduite en TS).

Problématique

Un groupe du laboratoire S2HEP de l'UCBL travaille depuis plusieurs années sur l'enseignement de la MQ en classe de TS (Lautesse et al., 2015) et en particulier sur l'utilisation de récits de fiction pour cet enseignement (Héraud et al., 2017).

En prolongement de ces travaux, nous cherchons à analyser la capacité de récits de fiction à interroger le caractère contre-intuitif des concepts de la MQ, afin que les enseignants puissent utiliser ces situations épistémologiques en L2. D'un point de vue didactique l'objectif final est d'amener les étudiants à interroger ces ruptures conceptuelles. Dans le roman de G. Egan (1992), *Isolation*, que nous utiliserons comme corpus, de nombreux thèmes abordés en classe nourrissent l'intrigue, comme par exemple la superposition des états quantiques, la réduction du paquet d'ondes, les probabilités ou encore les interprétations de la MQ, ainsi que les aspects ontologiques liés à la nature même de l'objet quantique.

Pertinence et analyse épistémologique du roman *Isolation* pour l'enseignement de la MQ

On rappellera d'abord le cadre théorique utilisé recourant à la théorie des mondes possibles (Lewis, 1978) pour fixer les enjeux épistémologiques de ce roman. On analysera ensuite quelques extraits pour en montrer la pertinence, dans un contexte d'enseignement en L2, afin de formuler quelques perspectives didactiques.

Le cadre théorique des mondes possibles de Lewis

Nous rappelons trois principes de notre cadre théorique (Héraud et al., 2017) :

- le principe de contrefactualité : il est fondateur des mondes possibles et s'énonce dans une proposition qui, pour un fait (ou une loi), faux dans notre monde quotidien, établit une conséquence vraie dans un autre monde, appelé monde possible,
- le principe de similarité comparative : il implique une modification a minima du monde actuel,
- le principe de reconstruction : il impose de pouvoir reconstruire les lois du monde actuel par confrontation avec les faits du monde possible.

Enjeux épistémologiques du roman : la disparition de Laura et le développement d'un « mod »

Précisons les enjeux épistémologiques de *Isolation* : Nick, un détective, doit retrouver la trace de Laura, femme handicapée mentale qui a disparu de façon inexplicable de l'institut où elle était enfermée. Les investigations de Nick s'organisent alors autour d'énigmes qui vont se rejoindre sur un même registre d'explications :

- si le cerveau de Laura souffre de détérioration neurologique, elle semble posséder des pouvoirs encore inconnus qui s'avèreront être d'origine quantique.
- une physicienne, Chung Po-kwaï tente de reproduire ces pouvoirs,
- le nœud narratif du roman se situe alors autour de la recherche d'un outil révolutionnaire appelé « mod » qui permet à la conscience de « manipuler » les probabilités quantiques (et donc l'état qui résultera de la réduction du paquet d'ondes).

Appliquons notre cadre théorique pour préciser ces enjeux. Le principe de contrefactualité pose la question de savoir ce que serait un monde dans lequel l'observation ne réduirait pas les états quantiques à un seul. Le principe de similarité précise les conséquences de cette observation non réductrice au plus près de notre monde quotidien. Le principe de reconstruction consiste à réinterroger le rôle de l'observation dans la réduction des états quantiques dans le cas de situations physiques enseignées en L2 (expérience des doubles fentes de Young, du chat de Schrödinger, signification des probabilités).

Analyse épistémologique du roman de Egan

La base de l'intrigue repose sur le principe même de « réduction du paquet d'ondes », qui, non seulement nous interdit d'observer directement l'ensemble des états quantiques, mais les détruit à l'échelle de notre monde quotidien :

« En termes de fonction d'onde, le fait d'effectuer la mesure a – d'une certaine manière – transformé un mélange de deux ondes, représentant les deux possibilités, en une onde « pure » – qu'on appelle un état propre – qui n'en représente qu'une. C'est ce qu'on appelle la « réduction du paquet d'ondes. » (p. 175)

Le roman de Egan permet de discuter une question cruciale de la physique quantique, celle de la mesure qui rompt avec l'évolution linéaire de la fonction d'ondes : Il semble qu'il suffise d'identifier l'élément du processus de mesure qui détermine la réduction : l'instrument ou l'observateur.

« A quel moment le paquet d'ondes est-il réduit ? Est-ce quand le détecteur de particules se déclenche ? Quand la bouteille se casse ? Quand le chat meurt ? Ou bien quand quelqu'un regarde dans la boîte ?... Peut-être n'y a-t-il pas de réponse ; peut-être que tout cela n'est que du pinaillage métaphysique... » (p. 176-177)

Du registre de l'instrument de mesure (l'impossibilité d'enregistrer l'ensemble des états quantiques d'un système), à celui de l'acte de l'observateur lui-même en tant que cause possible de la réduction, c'est le même échec. En effet : « pourquoi voyons-nous toujours le chat dans un état pur, mort ou vivant ? » (p. 175)

Le problème lié au statut de la mesure provient d'une difficulté ontologique, qui aboutira à l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde validée par l'école de Copenhague (ou interprétation standard), et qui est actuellement largement partagée par la communauté scientifique et enseignante :

« Certains haussent les épaules et se contentent de dire : la mécanique quantique prévoit correctement les probabilités des résultats finals, visibles – que demander de plus ? [...] la théorie est satisfaisante. » (p. 176)

La physique quantique est-elle alors une théorie sans ontologie ? Ou existe-t-il une alternative ? Le cerveau peut-il être à l'origine de la réduction ? Nick écarte les solutions spiritualistes au bénéfice d'une réponse en termes physicalistes qui étend au cerveau biologique et à la sphère du psychique les lois de la physique quantique : « D'une certaine manière, vous avez montré que la réduction du paquet d'ondes se passe dans le cerveau ? – Oui... » (p. 178)

L'enjeu ontologique du roman est alors le suivant : comment réintroduire cette vision quantique des choses et pour cela neutraliser l'acte de réduction ?

Perspectives didactiques

Comment la problématisation des enjeux épistémologiques développée dans le roman de fiction peut-elle se reporter dans des activités didactiques amenant les étudiants à produire leur propre questionnement ?

Au travers du récit, le roman de Egan peut permettre une double réflexion de la part des étudiants :

- tout d'abord ces interrogations peuvent concerner la réduction elle-même, dans le cadre de la théorie standard. Dans le roman, le cerveau permet de « manipuler » les probabilités quantiques, ce qui permet de nous questionner, non pas sur la manipulation des états de superposition dans le monde possible du roman de Egan, mais sur l'ontologie de la réduction elle-même. Quand se produit-elle et qui peut la produire ? Si l'on revient alors à l'équation de Schrödinger, on peut légitimement s'interroger sur l'ontologie de la fonction d'onde. Est-ce uniquement un outil mathématique ? A-t-elle un sens physique ? Et qu'en est-il du cerveau ?
- dans un deuxième temps, les étudiants pourront se questionner sur l'existence de théories ou d'interprétations dans lesquelles la réduction n'existe pas, et plus généralement sur les théories alternatives à la théorie standard enseignée. Cette étude pourrait être menée par différents groupes d'étudiants, chacun présentant une théorie ou interprétation en remontant à l'histoire conceptuelle de cette théorie ou interprétation.

Les étudiants pourraient ainsi exercer leur sens critique sur ce qui leur est enseigné, et constater que bien que le formalisme, maintenant presque centenaire, n'ait encore jamais été mis en défaut, les interprétations quant à elles, restent sujettes à discussions.

Conclusion

Le roman de Egan, *Isolation*, permet de questionner les concepts et les interprétations, dans l'enseignement, de la physique quantique, en deuxième année de Licence. Au travers d'un monde possible, contrefactuel à notre monde quotidien du fait de la non réduction du paquet d'ondes et de la manipulation des probabilités quantiques grâce à un « outil » implanté dans le cerveau, les étudiants disposent de pistes pour s'interroger sur l'enseignement « standard » qui leur est proposé ainsi que sur l'ontologie de la fonction d'onde dans l'équation de Schrödinger. Notre étude peut être un préalable à une ingénierie didactique qui peut être développée dans le cadre de l'enseignement de la physique quantique au niveau Licence.

Bibliographie

Egan, G. (1992, trad.2000). *Isolation*. Paris : Livre de Poche.

Héraud, J. L., Lautesse, P., Ferlin, F. et Chabot, H. (2003). Representing the quantum object through fiction in teaching : ontological contribution of Gamow's narrative as part of an introduction to quantum physics. *Science & Education*, 26 (3-4), 299-322.

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

Lewis, D. (1978). Truth in fiction. *American Philosophical Quarterly*, 15, 37-46.