

Mise en scène par des étudiants de licence de la question de la mesure en mécanique quantique

Résumé

Suite à une analyse portant sur les enjeux épistémologiques des concepts de Mécanique Quantique (MQ) mis en œuvre dans le roman de Greg Egan *Isolation*, nous évaluons dans cette contribution son intérêt didactique du point de vue des étudiants. Dans le contexte de travaux demandés en complément du cours, un groupe d'étudiants a choisi de produire une vidéo mettant en scène la question controversée de la mesure en MQ. L'analyse du corpus de cette production s'appuie sur le concept de Lecteur Modèle chez Umberto Eco afin d'identifier quelques repères significatifs dans la construction par les étudiants d'une « compétence encyclopédique » de nature épistémologique. Un premier résultat montre l'aptitude des étudiants à jouer sur différentes interprétations de la notion de mesure.

Mots-clés : Mécanique Quantique ; Enseignement supérieur ; Lecteur Modèle ; Épistémologie ; Didactique.

Abstract

Following an analysis on the epistemological issues of the concepts of Quantum Mechanics (QM) implemented in Greg Egan's novel *Quarantine*, we assess in this contribution its didactic interest from the point of view of the students. In the context of work requested to complement the course, a group of students chose to produce a video featuring the controversial issue of QM measurement. The analysis of the corpus of this production is based on the concept of Model Reader in Umberto Eco in order to identify some significant landmarks in the construction by the students of a "encyclopedic competence" of an epistemological nature. A first result shows the ability of students to play on different interpretations of the notion of measurement.

Key-words : Quantum Mechanics ; Higher education ; Model Reader ; Epistemology ; Didactic.

Contexte de l'étude et enjeux

Nos travaux s'articulent autour d'une réflexion épistémologique sur l'enseignement de la Mécanique Quantique (MQ), du secondaire, en Terminale scientifique (Michelini, 2000), à l'enseignement supérieur, en Licence de physique (Marshman, 2015). La particularité de la MQ est que son formalisme est maintenant bien établi, depuis environ 100 ans, mais que ses interprétations restent toujours en discussion, de même que l'ontologie de l'objet quantique (Laloë, 2011). En deuxième année de Licence (L2) à l'Université Claude Bernard de Lyon, l'enseignement de physique microscopique est principalement conceptuel, l'essentiel du formalisme n'étant introduit qu'au niveau de la troisième année (Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, 2015). Concernant les chapitres de MQ du cours de L2, nous faisons l'hypothèse que les concepts et interprétations discutés en cours peuvent être appréhendés de manière complémentaire grâce à l'utilisation de romans de fiction qualifiée de réaliste, tel qu'*Isolation* de Greg Egan (Egan, 1992). En effet, des analyses antérieures (Tuaillon-Combes et al, 2019, Lautesse et al., 2019, Ferlin et al, 2021) ont montré la pertinence de ces fictions, dans un conte de d'enseignement de la MQ, au travers d'un monde possible, contrefactuel (Lewis, 1973) à notre monde quotidien du fait de la non réduction du paquet d'ondes et de la manipulation des probabilités quantiques. Les enjeux sont que les étudiants puissent questionner ces concepts et interprétations et développer leur sens critique sur ce qui leur est enseigné.

Dans notre étude nous allons nous intéresser à la façon dont les étudiants s'approprient la notion de mesure en MQ grâce à la réalisation en petit groupe d'une vidéo à partir du roman *Isolation* de Greg Egan. L'utilisation de la production d'une vidéo par des petits groupes d'étudiants comme « objet de création à vocation explicative » est analysée par Laduron et Rappe (Laduron et Rappe., 2019). Les travaux de Corten-Gualtieri et al. (Corten-Gualtieri et al., 2011) montrent l'intérêt pédagogique pour l'apprenant de se confronter au groupe et d'e poser ses propres connaissances dans la cadre de la création d'un clip vidéo.

Nous emprunterons pour notre étude le cadre théorique du « lecteur modèle » de Umberto Eco (Eco, 1979), en recourant à « l'encyclopédie épistémologique » de ce lecteur, pour analyser la production d'une vidéo d'un groupe d'étudiants

Présentation de l'enseignement

L'enseignement intitulé « éléments de physique microscopique » dispensé en L2 comporte un chapitre intitulé « Introduction à la mécanique quantique ». Les notions de fonction d'onde ψ , t , et des probabilités associées sont des sauts qualitatifs importants que doivent franchir les étudiants. Comment caractériser, mesurer un objet mathématique abstrait, qui n'a a priori pas d'existence propre ?

Pour aider les étudiants à assimiler ces nouvelles notions, nous leur proposons de réaliser une vidéo d'une dizaine de minutes, par groupe de 5, sur un sujet qu'ils choisissent librement parmi une liste de 12 thèmes, dont celui qui nous intéresse dans ce travail : « Problème de la mesure et de l'observation en mécanique quantique : analyse d'extraits du livre "*Isolation*" de Greg Egan ».

Objectif de l'étude

L'analyse du corpus doit répondre à la question suivante : quelle compétence épistémologique de lecteur-modèle les étudiants ont-ils construite au cours de leur production, et de quelle manière ont-ils problématisé la question de la mesure en MQ en s'appuyant sur la lecture du roman de G. Egan *Isolation* ?

Choix des étudiants et méthodologie d'analyse

Pour construire leur vidéo intitulée « GREN EGAG PRESENTE : DE REALITE ET PERSPECTIVE », les étudiants se sont affranchis du roman de Egan pour imaginer de façon autonome une autre fiction, tout en conservant la trame épistémologique du roman et la mise en œuvre des concepts relatifs au statut de la mesure. Les étudiants ont reproduit, dans un tribunal, l'audience d'un prévenu accusé de vol dans une banque. Un témoin certifie avoir vu l'accusé entrer dans la banque et en sortir avec un magot, l'accusé certifie au contraire être sorti sans rien avoir volé. Il évoque l'existence de mondes quantiques parallèles (multivers). En s'inspirant de la structure épistémologique du roman de Egan, les mêmes concepts de la MQ sont mis au service de l'intrigue et du problème qu'elle doit résoudre.

En cohérence avec notre support théorique du Lecteur Modèle, pour caractériser la capacité interprétative d'ordre épistémologique mise en œuvre par les étudiants dans leur production vidéo, nous distinguerons trois items partant du roman de Egan et de son noyau épistémologique. Nous regarderons les sources de connaissance utilisées et combinées par les étudiants dans la perspective de construire une encyclopédie épistémologique.

Première analyse du corpus : quelques points significatifs

Quelle stratégie interprétative du roman de Egan les étudiants ont-ils mobilisée pour élaborer la fiction théâtrale ?

La conception d'une pièce théâtrale conservant le noyau épistémologique du roman de Egan suppose de la part des étudiants qu'ils aient acquis une compétence de lecteur modèle construite à travers le texte de ce roman. Quels indices en sont la marque dans le contenu de la pièce ?

A l'image du roman de Egan, les étudiants ont choisi de transférer dans un monde macroscopique contrefactuel fictionnel les concepts et lois de la MQ relatifs à la question de la mesure. Leur lecture du roman de Egan leur a permis d'acquérir la capacité de produire des mondes contrefactuels. C'est ainsi que l'accusé dans la fiction théâtrale revendique explicitement d'être soumis à un comportement quantique « Cela est vrai pour un système microscopique simple mais je suis un être humain, un système macroscopique ». En bref, ils reprennent au roman l'idée d'une MQ macroscopique, et aussi l'idée d'un univers sans réduction où les diverses possibilités existent.

Cette posture ontologique est posée dès le début par le narrateur :

« Dans un des nombreux mondes d'Everett, le système judiciaire d'une chaotique efficacité et ses officiers, tout comme les banquiers, aspirent à une compréhension approfondie d'un problème qui reste insoluble, quel que soit l'univers ; l'observation en physique quantique, problème dont aujourd'hui un citoyen est malheureusement victime. »

Un même objet ou individu peut-il être observé paradoxalement dans des états opposés ? Mais alors si une observation peut porter sur deux états différents, elle peut dans un cas confirmer l'accusation, mais innocenter l'accusé dans l'autre cas.

Quelles connaissances ont-ils mobilisées dans la constitution de leur encyclopédie épistémologique ?

Il faut distinguer l'état des connaissances initiales du « lecteur empirique » de l'état des connaissances incorporées pour construire les étapes de l'intrigue, et l'état de connaissance des étudiants tel qu'il se manifeste en fin du procès. On peut distinguer quatre registres issus de la bibliographie des étudiants, jointe à leur travail.

Le premier registre de connaissance est le cours qu'ont suivi les étudiants : c'est ainsi que le juge rappelle les connaissances fondamentales nécessaires pour justifier et confronter les versions de la situation jugée :

« Ben où on en est de la mécanique quantique ? On va rappeler les postulats. Les postulats sont la définition d'un état quantique, le principe de correspondance, [...] »

Le deuxième registre de connaissance est celui procuré par la lecture du roman de Egan complété par la consultation du site Web de Egan sur ce roman.

Le troisième registre de connaissance est constitué par ce que l'on pourrait appeler une « culture commune » liée pour partie à Internet telle que les sites de vulgarisation scientifique.

Le quatrième registre de connaissance est constitué d'autres livres, dont certains de niveau supérieur à celui du L2.

Quels registres d'interprétation les étudiants ont-ils mobilisés pour construire leur scénario ?

Nous nous limiterons à une situation caractéristique : le jeu des preuves avec ses conséquences sur le jugement de l'accusé (innocent et/ou coupable).

Les dialogues ne combinent alors logiquement que deux registres d'interprétation, d'une part le registre d'interprétation épistémologique relatif au comportement des objets quantiques (supposant la connaissance des lois de la MQ appliquée dans un contexte macroscopique) et d'autre part, sa variation dans le registre de son détournement fictionnel (à savoir la manipulation de la réduction des états quantiques par la conscience de la personne, au lieu d'en subir les effets). L'objectif est de comprendre le comportement de l'accusé et du témoin pour statuer sur sa culpabilité, en jouant sur l'articulation de ces deux registres concurrents. L'accusé va revendiquer son innocence contre un témoin qui dit l'avoir vu ressortir de la banque avec de l'or :

« Mais par ma nature quantique il ne s'agit point là d'une vile intention. J'existe normalement en étalement permanent. Bien qu'à l'instant où je prononce ces mots vous m'entendez, voyez et ne jugez qu'une seule des possibilités du système dont je suis l'ultime représentant. Système qui a été réduit par Monsieur le témoin à la banque. »

Si la défense parvient à prouver que l'accusé n'a pu faire autrement que se soumettre aux lois de la MQ, alors que le témoin a au contraire réussi à les manipuler à son bénéfice, l'accusé sera alors innocenté au détriment du témoin dont on aura démontré l'erreur ou la mauvaise foi.

Il y a deux cas. Dans le premier, où il n'y a pas de manipulation des probabilités l'observateur-témoin, par son observation, actualise l'un des deux états possibles d'une façon irréversible. Dans le 2ème cas, au contraire, l'observateur-témoin a très bien pu manipuler la réduction du paquet d'ondes à son avantage, de telle manière à sélectionner l'état quantique dans lequel l'accusé était pris la main dans le sac.

Conclusion et perspectives

Un premier résultat de notre analyse vient conforter notre hypothèse portant sur l'acquisition par les étudiants d'une compétence épistémologique de Lecteur Modèle. Ils ont conçu une mise en scène fictionnelle des concepts de la MQ, dans laquelle ils montrent leur aptitude à instaurer une discussion argumentée sur les différentes options relatives, ici, au statut de la mesure et de l'observation en MQ.

Il reste cependant à étayer cette hypothèse sur trois points afin d'évaluer la pertinence de la démarche d'apprentissage des étudiants au travers d'une telle activité : la part de motivation pour engager leur imagination au service d'une activité réflexive ; la constitution, en complément du cours, de leur propre discours, combinant leurs différents registres de connaissances sur la question discutée (ces deux points nécessitent une enquête auprès des étudiants concernés) ; la généralisation

enfin de quelques résultats en lien avec d'autres stratégies d'étudiants sur le même sujet, tel le jeu sur la variation des registres d'interprétation d'une même notion.

La finalité éducative d'une activité de ce type est de mettre les étudiants en capacité d'interroger et de re-construire de façon critique la signification encore ouverte de concepts centraux de la MQ, afin de développer une culture épistémologique au sein d'un enseignement scientifique.

Bibliographie

- Corten-Gualtieri, P., Fournout, O., Lebrun, M., Plumet, J., Legat, J.-D., Keunings, R., Raucent, B., Beaudouin, V., Ollier, P., Flipo, N., Cojan, I., Thiry, M. & Mehl, C. (2011). Des étudiants réalisent un sketch théâtral ou un clip pour faire évoluer leurs préconceptions, Actes du 6ème colloque Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur (Université d'Angers, 7-10 juin 2011).
- Eco, U. (1979 trad. 1985). *Lector in Fabula. Le rôle du lecteur ou la coopération interprétative dans les textes narratifs*, Paris : Grasset & Fasquelle.
- Egan, G. (1992 trad. 2000). *Isolation*, Paris : Livre de poche. Titre original *Quarantine*.
- Ferlin, F., Lautesse, P., Tuailon, J., Héraud, J. L. et Chaussard, L. (2021) L'enseignement de la mécanique quantique grâce à un récit de fiction, *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*. 37 (3) DOI:10.4000/ripes.3727
- Laduron, C., Rappe, J., (2019) Vers une typologie des usages pédagogiques de la vidéo basée sur l'activité de l'apprenant *Proceeding Education* 4.1.
<https://education4-1.sciencesconf.org/browse/author?authorid=619906>
- Laloë, F., (2011). *Comprenons-nous vraiment la mécanique quantique ?* Paris : EDP Science/CNRS Editions.
- Lautesse, P., Chaussard, L., Tuailon, J., Ferlin, F. et Héraud, J-L. (2019). « A la recherche du réel perdu » ou la pertinence de l'utilisation d'une bande dessinée dans l'enseignement de la mécanique quantique en Licence. *Tréma* 51, 56-80.
- Lewis, D. (1973). *Counterfactuals*. Cambridge : Harvard University Press.
- Marshman, E., et Singh, C. (2015). Framework for understanding the patterns of student difficulties in quantum mechanics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(2), 1-26. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020119>.
- Michellini, M., Ragazzon, R., Santi, L., et Stefanel, A. (2000). Proposal for quantum physics in secondary school. *Physics Education*, 35 (6).
- Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (2015). *Référentiel de compétences des mentions de licence*.
<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid61532/les-referentiels-de-competences-en-licence.html>. Consulté le 4 septembre 2019.
- Tuailon-Combes, J., Lautesse, P., Héraud, J-L., Ferlin, F. et Chaussard, L. (2019). *Laura disparaît ! Appréhender le monde quantique à travers le roman Isolation de G. Egan*, in de Hosson C., Bordenave, L., Décamp, N., Daures, P.L. (Eds) (2020). Actes de la 2e édition du colloque international *Telling Science Drawing Science -TSDS#2*. IREM de Paris : Paris (France) – ISBN : 978-2-86612-392-5, 50-54.