



HAL
open science

La fiction au service de la Physique Quantique en Terminale scientifique : l'exemple du chat de Schrödinger

Jean-Loup Héraud, Philippe Lautesse, Karine Bécu-Robinault, Hugues
Chabot, Fabrice Ferlin, Adrien Vila-Valls

► To cite this version:

Jean-Loup Héraud, Philippe Lautesse, Karine Bécu-Robinault, Hugues Chabot, Fabrice Ferlin, et al.. La fiction au service de la Physique Quantique en Terminale scientifique : l'exemple du chat de Schrödinger . 8^{ème} Rencontres scientifiques de l'ARDIST, ARDIST, Association de Recherche pour la Didactique des Sciences et de la Technologie Mar 2014, Marseille France. pp.277-286. hal-01446662

HAL Id: hal-01446662

<https://hal.science/hal-01446662v1>

Submitted on 26 Jan 2017

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.

La fiction au service de la Physique Quantique en Terminale scientifique : l'exemple du chat de Schrödinger

Jean-Loup Héraud¹, Philippe Loutesse², Karine Bécu-Robinault³, Hugues Chabot⁴, Fabrice Ferlin⁵, Adrien Vila-Valls⁶.

¹ S2HEP - EA 4148 (Université Lyon 1, ENS de Lyon)
jean-loup.heraud@univ-lyon1.fr

² S2HEP - EA 4148 (Université Lyon 1, ENS de Lyon)
philippe.loutesse@univ-lyon1.fr

³ S2HEP - EA 4148 (Université Lyon 1, ENS de Lyon – IFE)
Karine.Robinault@ens-lyon.fr

⁴ S2HEP - EA 4148 (Université Lyon 1, ENS de Lyon)
hugues.chabot@univ-lyon1.fr

⁵ S2HEP - EA 4148 (Université Lyon 1, ENS de Lyon)
ferlin@math.univ-lyon1.fr

⁶ S2HEP - EA 4148 (Université Lyon 1, ENS de Lyon)
adrien.vila-valls@univ-lyon1.fr

Résumé

La physique quantique est de nouveau enseignée en classe de Terminale scientifique depuis 2012 en France. L'objet quantique présente des propriétés incompatibles avec celles de la physique classique, dont la fiction du chat de Schrödinger formule le caractère paradoxal. De nombreux récits littéraires et de science-fiction mettent en scène cette fiction pour en faire le moteur de leur intrigue. A travers deux textes choisis, on montrera comment ils projettent et amplifient la structure problématique de l'objet quantique sous la forme d'un monde quantique à part entière. Nous proposons un guide de lecture et d'analyse formulant un questionnement épistémologique autour des rapports entre monde quantique et monde empirique. Cette analyse est un préalable à un travail didactique coopératif entre enseignants de différentes disciplines.

Mots clés

Epistémologie – Physique quantique – Fiction – Récit – Mondes possibles – Chat de Schrödinger

Abstract

Starting in 2012, quantum physics is once again being taught in secondary schools in France. Quantum objects have properties incompatible with those of classical physics as illustrated by the famous thought experiment of Schrödinger's cat. Literary fiction, including science fiction, can be a pertinent didactic tool for bringing about the required shift in epistemological registers. The fictional stories presented in this paper use a narrative to pose and amplify the problematic structure of the quantum object in the form of a quantum world as a world apart. We propose a guide to analyzing these narratives, formulating an epistemological interrogation around the relationship between the quantum world and the empirical world. This analysis is a prerequisite for any cooperative work between teachers from different disciplines.

Key words

Epistemology - Quantum physics - Fiction - Narrative - Possible worlds - Schrödinger's cat

« ...depuis « la première fois », l'apparition de ce chat dans le jardin m'avait évoqué la très célèbre mais assez obscure expérience de pensée de Schrödinger, m'entraînant dans une sorte de délire spéculatif... », P. Forest, p. 164

Contexte et objet de recherche

Cette proposition est le second volet d'un projet de recherche pluridisciplinaire dans notre laboratoire (histoire, philosophie des sciences et didactique) initié à la suite de l'introduction dans les programmes de 2012 de Terminale scientifique d'éléments relatifs aux concepts de physique quantique : la proposition principale porte sur une analyse épistémologique des manuels scolaires et les enjeux d'enseignements qui en résultent¹ ; cette seconde proposition se situe dans le prolongement de travaux antérieurs conduits dans le cadre de l'école primaire dans lesquels nous avons utilisé des fictions littéraires (en l'occurrence des albums de jeunesse) comme moyen d'engager un questionnement épistémologique sur la structure du monde d'arrière-plan mis en scène pour les besoins de l'intrigue et sur les éléments de connaissance – biologiques et physiques – nécessaires à sa compréhension. Nous voulons rechercher dans cet autre contexte scolaire si un questionnement initié à partir de fictions littéraires – romanesque et de science-fiction – peut mettre l'élève (et préalablement l'enseignant) en position d'interroger l'objet quantique dans ses propriétés singulières, et ouvrir ainsi une voie d'accès à des connaissances scientifiques proprement dites.

L'objectif de la recherche est de sensibiliser les élèves (et re-sensibiliser les enseignants) aux principes étranges ou révolutionnaires de la physique quantique qui contreviennent aux principes de la physique classique. Comment accéder à cette structure conceptuelle singulière qui est au cœur même de l'objet quantique ?

Un tel changement de posture épistémologique demande de problématiser l'objet quantique comme une condition indispensable de son enseignement comme de son apprentissage par les élèves. Cette problématisation est d'autant plus nécessaire que l'objet même de la PQ est lui-même problématique, étant une science encore aujourd'hui en mouvement et traversée par des controverses concernant son statut et sa structure².

Notre question de recherche est la suivante : dans quelle mesure les fictions littéraires peuvent fournir une introduction, tant pour les enseignants que pour les élèves, au bouleversement conceptuel provoqué par la PQ ? La lecture épistémologique d'un corpus de fictions littéraires choisi selon des critères pertinents peut contribuer à engager une telle problématisation sur l'objet quantique et ses concepts propres. C'est en s'appuyant sur cette analyse épistémologique préalable de quelques textes fictionnels pertinents autour de la fiction du Chat de Schrödinger (CS) que l'on pourra dans un second temps concevoir de façon collaborative avec les enseignants des dispositifs didactiques appropriés.

Les enjeux épistémologiques autour de la fiction du chat de Schrödinger

Cadre théorique : de la fiction à la connaissance du réel

En cohérence avec nos travaux antérieurs, nous partirons de la thèse de Lewis (1978) selon laquelle se trouve mobilisé dans l'intrigue d'un récit de fiction un monde d'arrière-plan cohérent qui présente un rapport de similitude avec le monde actuel du point de vue des lois naturelles qui le gouvernent. L'intérêt présenté dans cette thèse épistémologique sur les rapports entre fiction et réel est qu'elle nous a permis du point de vue de la didactique des sciences d'utiliser des albums de fiction sélectionnés à cet effet pour interroger la

¹ Voir notre autre contribution, « Enseigner la physique quantique en Terminale scientifique en France. L'objet quantique, une référence problématique »

² Le formalisme quantique et son interprétation opératoire sont des connaissances stabilisées depuis la fin des années 1920. En revanche, l'ontologie quantique reste une question philosophiquement discutée.

La fiction au service de la Physique Quantique en Terminale scientifique : l'exemple du chat de Schrödinger

causalité du monde physique et biologique et reconstruire la connaissance sur les lois du monde physique et/ou biologique (Bruguière, 2012 ; Soudani, 2012). En effet pour Lewis la fiction décrit un monde possible construit contrefactuellement en conservant les bases du monde réel, comme condition de son accessibilité cognitive. C'est par conséquent sur la base du monde réel que les lois d'un monde possible peuvent être reconstruites et validées. Mais la question se pose différemment en ce qui concerne les mondes de science-fiction qui sont des mondes imaginaires qui entretiennent avec le monde actuel non pas un rapport de proximité ou de similitude maximum, mais au contraire un rapport lointain qui les rend incompréhensibles si l'on projette les lois de notre monde tel que nous en avons l'expérience ou la connaissance. Le modèle de Lewis doit être révisé sur deux points : d'une part, c'est le monde quantique lui-même qui va se trouver non à l'arrière-plan et de façon implicite, mais installé au premier plan du récit de fiction car étant son objet principal, l'intrigue étant alors plus ou moins subordonnée à son service ; d'autre part, la structure des mondes quantiques n'entretiennent pas un rapport de proximité, mais au contraire un rapport d'éloignement avec le monde de notre expérience ou de notre connaissance. Cette situation amènera à poser explicitement le conflit entre la structure contradictoire du monde quantique et celle du monde empirique.

La fiction du Chat de Schrödinger et les principes contre-intuitifs de la physique classique

C'est un tel paradoxe que veut marquer la fiction inventée par le physicien autrichien Schrödinger en 1935 dans un article intitulé « La situation actuelle de la mécanique quantique », à la suite d'une correspondance avec Einstein pour mettre en évidence les difficultés d'interprétation de cette nouvelle science. Rappelons le texte avant d'en décrire les enjeux :

« Un chat est enfermé dans un enceinte d'acier avec le dispositif infernal suivant (qu'il faut soigneusement protéger de tout contact avec le chat) : un compteur Geiger est placé à proximité d'un minuscule échantillon de substance radioactive, si petite que, durant une heure, il *se peut* qu'un seul des atomes se désintègre ; en cas de désintégration, le compteur crépite et actionne, par l'intermédiaire d'un relais, un marteau qui brise une ampoule contenant de l'acide cyanhydrique. Si on abandonne ce dispositif à lui-même durant une heure, on pourra prédire que le chat est vivant *à condition que*, pendant ce temps, aucune désintégration ne soit produite. La fonction ψ (psi) de l'ensemble exprimerait cela de la façon suivante : en elle, le chat vivant et le chat mort sont (si j'ose dire) mélangés ou brouillés en proportions égales. » (Schrödinger, 1935, p. 106).

Retenons les points suivants : cette fiction décrit un scénario qui rend manifeste sur le plan macroscopique une prédiction que la mécanique quantique réalise à l'échelle microscopique : la fonction ψ représente mathématiquement l'état du système quantique, à savoir la superposition de deux états différents d'une même particule. Cette particule est en l'occurrence un atome de substance radioactive ayant une égalité de probabilité pendant une heure de se désintégrer ou non, et par suite de provoquer ou non la mort du chat. Le chat va se retrouver, selon les lois quantiques, dans un état de superposition, décrit par la somme de l'état « chat mort » et de l'état « chat vivant ». Par contre, si on ouvre la boîte, le chat sera vivant ou mort, mais non les deux à la fois. Cela met en évidence une propriété tout à fait spécifique, au sens classique des probabilités, des systèmes quantiques incompatibles avec le monde de la physique classique.

Ce scénario imaginaire concentre par conséquent des implications/postulats épistémologiques qui vont demander d'opérer un basculement de perspective lors du processus de conceptualisation de l'objet quantique. Ce changement de perspective peut se caractériser selon deux couples d'opposés :

a/ Localisation en physique classique vs non localisation en PQ

En physique classique, y compris dans les théories de la relativité, chaque objet physique est précisément localisé dans un point de l'espace, en fonction de la valeur de ses propriétés physiques, position, vitesse, masse. Au contraire, les systèmes quantiques ne sont pas localisés univoquement en des points ou instants de l'espace-temps. Pourquoi cette indétermination ? L'état d'un objet quantique est représenté par la fonction d'onde définie sur un espace mathématique, il n'a donc pas une seule valeur, mais un spectre de

La fiction au service de la Physique Quantique en Terminale scientifique : l'exemple du chat de Schrödinger

valeurs. L'objet ne peut donc être représenté que par une *superposition d'états* qui définit toutes les valeurs possibles d'une propriété à un instant t .

Quelles conséquences sur l'opération de mesure ? On ne peut pas obtenir plusieurs valeurs différentes simultanément il n'y a que des probabilités de valeurs numériques : « Si l'on fait une mesure, l'interaction avec l'appareil de mesure a pour conséquence que le système quantique acquiert une valeur numérique définie pour la propriété mesurée. On peut seulement prédire des probabilités de mesure. (Esfeld, 2006 p. 140) ». On ne peut donc voir que le chat vivant ou mort. La mesure - ou l'ouverture de la boîte - provoque une réduction du spectre de valeurs à une seule, dans la limite de la précision de la mesure effectuée.

b/ Principe de séparabilité en physique classique et de non séparabilité en PQ.

Dans la physique classique, tout objet ou système physique a des propriétés indépendantes qui lui sont propres (masse, position, vitesse). Le mouvement d'un corps est donc exactement et complètement descriptible à un instant quelconque du temps. Dans la PQ, ce principe de séparabilité est violé du fait qu'il n'y a pas de propriétés intrinsèques appartenant en propre à chaque système pris isolément. Aucun de ces systèmes ne peut se voir doter d'un vecteur d'état individuel. Seul le système total (c'est à dire la somme des sous-systèmes) comporte cette caractéristique. Il y a une dépendance mutuelle des propriétés de deux ou plusieurs objets ou systèmes quantiques : il y a donc une corrélation des valeurs des propriétés des objets en question.

Ces postulats épistémologiques sont des thèmes polémiques à l'égard de la représentation classique du monde physique. Le propre de la fiction du CS est de croiser ces différentes thématiques et donc de pouvoir discuter de leur signification pour la physique quantique. Prises en charge dans l'imaginaire de la SF, elles reprennent les partis-pris qui se sont développées autour de l'expérience de pensée du CS et elles sont une manière de faire état de ces discussions.

Méthodologie du corpus et analyse épistémologique de quelques textes de littérature fictionnelle

On présentera les raisons d'introduire un questionnement épistémologique dans une fiction littéraire mettant elle-même en scène la fiction du CS : 1/Née à la suite d'une correspondance entre Einstein et Schrödinger, sa fonction critique était de mettre en évidence les paradoxes insolubles liés à l'interprétation orthodoxe de Bohr, Born et Heisenberg dite de Copenhague³ : ce scénario présente en sus de la dimension heuristique proprement scientifique une dimension dramatique liée au sort du chat qui a valu à cette histoire sans fin effective un avenir universel²/ Du fait de ces dimensions heuristique et dramatique, cette fiction ouvre à l'imagination littéraire un espace offrant, dans la diversité des intrigues, une multiplicité de transcriptions possibles des principes contrefactuels de la PQ. Ces récits s'appuient sur les propriétés paradoxales de l'objet quantique pour les projeter et les décrire en mondes quantiques cohérents et complets sur le registre de l'imaginaire ;

³ . Voir le texte « Enseigner la physique quantique en Terminale scientifique en France. L'objet quantique, une référence problématique »,

La fiction au service de la Physique Quantique en Terminale scientifique : l'exemple du chat de Schrödinger

3/ A travers cette contextualisation en mondes quantiques fictionnels, le récit littéraire est l'occasion de porter en retour un regard épistémologique et philosophique sur ces propriétés paradoxales de la PQ : dans le but par exemple d'expliciter et confronter les différentes interprétations auxquelles elle a donné lieu ;

4/ Ces fictions insolubles (à la manière des conjectures non résolues en mathématiques) ont joué un rôle moteur décisif dans l'histoire ultérieure de la PQ, puisqu'elles ont été transposées sous forme d'expérimentations pour en tester la validité (Haroche, 1997, sur la question de la décohérence) ;

5/ Le détour par la fiction se révèle par conséquent un moteur pour le raisonnement scientifique indépendamment de la référence à une situation d'expérimentation. Aujourd'hui la philosophie des sciences thématise le rôle des expériences de pensées dans la construction des expériences scientifiques. En témoigne par exemple *Le nouvel esprit scientifique* (Bachelard, 1934), Bachelard, auteur classique dans le programme de philosophie dans les classes de Terminale⁴,

Le corpus principal comporte un ensemble de huit textes, centrés sur la problématique du chat de Schrödinger et donc de la superposition d'états, dont nous avons extrait un corpus secondaire composé de deux textes volontairement hétérogènes (du point de vue du genre, des registres d'écriture, de la longueur). Nous voulons en effet tester sur un plus long terme l'hypothèse selon laquelle ces variations littéraires (pour les huit textes) représentent différentes manières de figurer des mondes quantiques à part entière décrits sur le mode fictionnel, selon des caractéristiques inconnues de la physique classique. Parmi celles-ci, nous retiendrons plus particulièrement :

- les états de superposition incompatibles, expliqués par la fonction d'onde de Schrödinger
- la réduction de la fonction d'onde lors de la mesure,
- la structure de l'objet quantique, à savoir sa dualité problématique et contradictoire en physique classique entre onde *et* particule (contradiction que Bohr pensait résoudre avec son principe de complémentarité),
- l'indétermination des grandeurs et de leurs relations (entre position et quantité de mouvement par exemple), les probabilités d'observation qui en résultent.
- les phénomènes d'intrication dans le cas d'interaction entre plusieurs particules.

Ces concepts propres à la physique quantique, car contredisant ceux de la physique classique, peuvent à leur tour être rassemblés autour de trois thématiques interrogeant respectivement :

- 1) le formalisme, mathématique quantique, autour de la notion de vecteur d'état. Il ne sera pas abordé, ne faisant pas partie du nouveau programme (un seul manuel de Terminale donne l'équation de la fonction d'onde)
- 2) les principes et concepts physiques de la théorie quantique qui concernent la description des propriétés de l'objet quantique à travers les expérimentations : vecteurs d'états, superposition d'états, décohérence...
- 3) les interprétations de la PQ en termes de représentation de la réalité physique. Elles se distribuent depuis une conception instrumentale en termes de prédiction des phénomènes jusqu'aux différentes formes de réalisme : du « réel voilé » de d'Espagnat (1994) jusqu'aux mondes multiples postulés à la suite des travaux d'Everett (1956).

Ces thématiques qui traversent les mondes quantiques imaginés sur la base du scénario du chat de Schrödinger interrogent les propriétés paradoxales des objets quantiques. Ces thématiques joueront un rôle méthodologique pour la lecture épistémologique des fictions littéraires.

⁴ . Précisons que le programme de philosophie actuel (bulletin officiel de 2003) en Terminale scientifique aborde comme « notions la raison et le réel ».

La fiction au service de la Physique Quantique en Terminale scientifique : l'exemple du chat de Schrödinger

Le corpus analysé est volontairement restreint à deux textes appartenant à deux genres littéraires distincts, et de longueur bien différente : le roman biographique de P. Forest *Le chat de Schrödinger* (331 pages) paru en début d'année 2013 et une nouvelle courte de science fiction de S. Baxter, *Le diagramme du vide* (14 pages) paru en 1999. Ce choix contrasté réside dans le fait que le premier texte long intègre dans le mouvement même du récit l'histoire conceptuelle de la PQ et la centre sur le moment critique de l'œuvre de Schrödinger, alors que le second texte nous fait pénétrer en quelques pages dans la boîte du chat : fiction qui provoque la brusque plongée que représenterait la visualisation du monde quantique de l'intérieur, expérience évidemment interdite dans le monde ordinaire. Le premier texte opte par ailleurs pour une interprétation de la fiction du CS qui sera popularisée en termes de mondes multiples à la suite des travaux d'Everett, (Everett, 1956) en cohérence avec le récit biographique (la fille décédée de l'auteur ne vit-elle pas dans une branche du monde ramifié où elle ne serait pas morte ?), le second texte est un exemple de texte introduisant de façon dynamique et directe dans un monde fictionnel quantique construit selon des principes ou concepts de la PQ.

Par ailleurs, un tel choix dissymétrique obligera à concevoir des usages didactiques différents dans les séquences de TS, ou dans un contexte de formation d'enseignants.

Le monde quantique dans mon jardin : P. Forest, Le chat de Schrödinger

L'introduction de la fiction du CS dans le champ de la fiction romanesque se trouve contextualisée dans le monde personnel du narrateur, sous la forme de l'arrivée imprévue d'un chat une nuit au fond du jardin. La fiction scientifique intervenant dans le roman aura pour rôle de structurer et modéliser le monde actuel du narrateur autour de cet événement marqué par la structure duale apparition/disparition du chat, événement qui va se diffuser plus largement dans les thèmes plus larges de présence/absence, vie/mort etc. Il faut noter les deux points forts :

a/ le CS s'introduit dans notre monde sous forme insignifiante et imprévue, contingente donc : mais c'est par lui que va s'établir une continuité entre les deux mondes, sans scission entre eux

b/ la figure du chat va conférer une nouvelle intelligibilité du monde global autour de cette dualité du chat en l'interrogeant sur son identité (est-il ou n'est-il pas, existe-t-il ou n'existe-t-il pas, est-il de notre monde ou de quel monde vient-il et y retourne-t-il à l'aube ? etc.). Le motif du roman est bien la reconstruction du monde fictionnel vécu par le narrateur sous l'effet de la fiction du CS : le chat qui va et vient est-il le signe d'un autre monde qui vient se superposer au monde actuel du narrateur, mondes qui coexistent simultanément ?

Une intersection entre monde quantique et monde empirique

La figure du chat fait donc le lien dans le roman entre l'intrigue propre à celui-ci (l'histoire d'un chat qui apparaît et disparaît au fond du jardin) et le récit de la fiction du CS dans l'histoire de la physique quantique. L'histoire du chat va donc se décliner sur ces deux registres : l'histoire singulière de ce chat qui va recouper l'histoire singulière du narrateur (métaphore évocatrice de la mort de sa fille), mais aussi l'histoire du chat de Schrödinger. Du coup, et c'est là l'intéressant pour notre étude, il y a un double récit romanesque (à savoir des récits de vie personnels) : celle du narrateur, mais aussi celle de Schrödinger lui-même, du personnage singulier qu'il a été, à savoir les circonstances dans lesquelles et pour lesquelles le chat de Schrödinger a pu être un chat véritable qui a joué un rôle dans sa vie. Et cela avant de jouer le rôle métaphorique qui sera le sien dans la métaphore fictionnelle elle-même.

Il y a donc au total une intersection entre l'histoire romanesque du chat dans le jardin et l'histoire conceptuelle de l'expérience du CS. Deux histoires de vie interfèrent mais se soutiennent et se nourrissent l'une par l'autre. L'interrogation sur l'existence du chat improbable nécessitant d'éclaircir l'existence énigmatique du CS et d'ouvrir pour cela le dossier historique. Récit fictionnel scientifique et récit fictionnel romanesque s'impliquent mutuellement.

La fiction au service de la Physique Quantique en Terminale scientifique : l'exemple du chat de Schrödinger

Une histoire biographique de la théorie quantique

Mais le roman va intégrer en son sein le récit historique et biographique des sources et du devenir de la fiction du CS : il en résulte l'insertion dans le roman d'une histoire scientifique de la PQ qui sera revisitée à partir des destins personnels et les travaux scientifiques de Schrödinger et de Everett, à l'aide d'une enquête documentée. Aspect existentiel et dimension scientifique sont ainsi réunis.

Discussion épistémologique : une interprétation de la fiction du CS

Un aspect épistémologique passionnant du roman de P. Forest réside dans le devenir ultérieur de cette fiction dans la mesure où la question de cette dualité d'états incompatibles a donné lieu à trois types d'interprétations : pour l'une, la résolution de cette contradiction (mort et vivant à la fois) s'opère par une réduction à l'un des possibles (ce qui est le problème de la mesure : réduction du paquet d'ondes dit-on dans l'interprétation de Copenhague). Pour sa part, Einstein voulait réduire l'indéterminisme par la recherche de variables cachées encore non découverte. Une autre branche veut au contraire préserver la coexistence des deux possibles, celle qui maintient coûte que coûte la coexistence d'états contraires, certes inexistant dans notre monde ordinaire mais que l'on ne peut pas vouloir supprimer par un coup de force : car pourquoi vouloir réduire l'existence du chat au seul monde ou nous l'observons ? L'auteur-narrateur opte délibérément pour l'option d'Everett, en cohérence avec la prise de parti de la fiction romanesque qui veut que sa fille ne soit jamais définitivement morte et qu'elle continue à survivre et à exister par elle-même dans un monde qui ne soit pas que le monde mental du souvenir ou de la mémoire.

Au total, c'est dans l'histoire conceptuelle de la mécanique quantique et ses différentes interprétations en termes de rapport à la réalité (école de Copenhague vs mondes multiples) que le roman recèle ses véritables richesses : par un approfondissement au service même de l'intrigue.

Une perception quantique ? S. Baxter, Diagrammes du vide

L'introduction du monde quantique dans le récit

Les auteurs de SF qu'ils en soient conscients ou non jouent un rôle didactique. Par exemple, l'enjeu épistémologique dans la nouvelle S. Baxter réside dans la question de savoir si et comment on peut voir le monde quantique de l'intérieur. Si la fiction du CS n'est pas ici mentionnée dans ce texte, elle introduit directement à la question de savoir comment voir dans la boîte du chat les phénomènes quantiques invisibles du dehors.

Dans cette perspective, la nouvelle met en scène Paul, utilisé par deux protagonistes de l'histoire pour son étrange faculté de voir ce que ces derniers ne peuvent pas voir, étant donnée la limitation de leurs sens perceptifs. Paul possède en effet une « ...étrange faculté de perception qui utilise la mécanique quantique » (Baxter, 1999, p. 3), ce qui a comme conséquence que : « A l'inverse, au-delà des approximations et des impostures, Paul pourra descendre au niveau fondamental des fonctions d'onde quantiques » (p. 3).

Un accès au monde quantique par les concepts de la PQ

La nouvelle précise que voir le monde quantique, c'est voir ce que décrit l'équation de Schrödinger incompatible avec notre expérience perceptive : à savoir les variables d'états décrites par la fonction d'onde. C'est donc un voir conceptuel et théorique qui est en jeu, et non pas un voir perceptif spontané : l'obstacle n'est pas seulement perceptif, il est aussi cognitif, car une perception quantique requiert la médiation des concepts adéquats. Raison pour laquelle un cours de physique est proposé à Paul : « Green lui avait donné le langage nécessaire pour saisir ce qu'il percevait : le niveau fondamental de la réalité, le grain des fonctions d'onde de la probabilité quantique. » (p. 6). Cette éducation qui amène à voir donc ce que la théorie dit de la réalité : « Un tel événement, c'était un caillou jeté dans une mare ; les fonctions de probabilités, les ondulations du possible, s'étendaient dans le temps et l'espace. » (p. 8)

Paul a donc la capacité de pénétrer dans l'univers quantique, dans le monde des probabilités proprement dit, où il entre en communication avec les particules vivantes, cette entrée directe et de plain-pied dans le monde quantique n'étant évidemment pas possible pour les autres hommes : « J'ai une perception délocalisée. Je suis libéré de l'ici-maintenant, comme une fonction d'onde quantique. Au niveau spatio-temporel, je perçois les événements séparés de ... ». C'est ainsi que l'auteur nous propose, selon ses termes, « une petite balade quantique »(p. 10)

Discussion épistémologique

Cette nouvelle marque la difficulté d'accès à la structure du monde quantique sur un triple registre : conceptuel, théorique et ontologique.

-Registre conceptuel : l'infirmité de nos sens et l'impuissance de notre système conceptuel seraient à la source de notre impossibilité à voir le monde quantique. D'où l'on peut tirer deux conséquences majeures : l'emploi d'appareils de détection et de mesure vient compenser la déficience de nos sens, et d'autre part le langage contre intuitif de la PQ interroge l'obstacle que peut représenter le langage des objets ordinaires.

-Registre théorique ensuite : Lévy-Leblond (1999) a insisté sur l'obstacle que jouent les termes empruntés aux sciences classiques pour penser la nouveauté de phénomènes tout à fait étrangers au monde physique classique. Cette connaissance suppose qu'on soit libéré de tels cadres conceptuels antérieurs et étrangers⁵.

-Registre ontologique enfin : il pose la question du rapport entre le monde empirique et le monde quantique. Ce qui est sous-jacent dans l'ensemble de la nouvelle est la question théorique de la disparition des phénomènes quantiques dans leur observation au sein du monde macroscopique. Ce qui renvoie à la question de la réduction de la superposition d'états lorsqu'on procède à une opération de mesure. Mais la fiction peut contribuer à projeter imaginativement dans un monde extériorisé ce qui est le monde invisible des phénomènes quantiques.

Perspectives didactiques

Les perspectives didactiques ci-dessous s'inscrivent dans un processus didactique global qui veut conduire les élèves à une interrogation épistémologique de l'objet quantique sur deux registres, celui de l'expérience fictionnelle/imaginaire et celui de l'expérience physique proprement dite : associant dans des démarches d'enseignement complémentaire des enseignants de physique et de philosophie (ou de littérature). On relèvera les invariants que les situations didactiques pourront mettre en œuvre de manière variée :

1/ La contribution des mêmes auteurs sur l'analyse des manuels en Terminale scientifique débouche sur un choix didactique autour de l'expérience des fentes de Young, du fait qu'il s'agit d'une expérience paradigmatique en PQ, et qu'elle est à ce titre présente dans tous les manuels. Or, il y a une correspondance entre la fiction du CS et l'expérience des fentes de Young : la situation homologuée dans les deux cas tient au phénomène de la superposition d'états : à la situation chat mort - chat vivant correspond la situation du passage simultané d'un seul photon -ou électron- à travers les deux fentes d'un écran, alors qu'on n'observera qu'une seule particule au moment de l'impact, traduisant ainsi une propriété d'objet classique⁶. Des activités utilisant les textes fictionnels peuvent préparer et accompagner la mise en œuvre expérimentale des fentes de Young. Pour exemple la question de l'observation des propriétés physiques

⁵ . Cette question est l'objet d'une recherche didactique dans notre groupe de recherche, s'appuyant sur l'analyse des manuels de physique de terminale.

⁶ . On retrouve en effet la figure d'interférences -aspect ondulatoire- à grand nombre de photons, mais à petit nombre de photons, on obtient une répartition aléatoire des impacts sur l'écran -aspect corpusculaire-, ces deux aspects étant incompatibles simultanément en physique classique.

paradoxaux est explicitement posée dans la nouvelle de Baxter. Que le fait scientifique soit une construction théorique et conceptuelle et non l'objet d'une observation directe intéresse la philosophie des sciences en Terminale. Plus globalement le texte original de la fiction du CS commun aux classes de physique et de philosophie peut être mis en regard avec les textes de fiction présentés ici. Pour la classe de physique, la question scientifique des propriétés de l'objet quantique et pour la classe de philosophie, les questions épistémologiques telles que les notions de causalité, de déterminisme et de matière.

2/ On peut insister sur la fonction heuristique que la fiction du CS a eu dans le processus même du développement de la PQ : Haroche (1997), prix Nobel 2012 revendique explicitement sa filiation aux problèmes ouverts par cette fiction, posant le problème de la transition des mondes quantiques au monde empirique des objets classiques. Des activités complémentaires (vidéo, documents etc) peuvent être conçues en ce sens qui montrent par ailleurs le rôle de la fiction dans la construction des théories physiques aujourd'hui. Mais aussi le rôle de la fiction scientifique en retour sur les fictions artistiques en général...

3/ La discussion peut porter enfin sur la diversité des interprétations qui ont jalonné l'histoire scientifique et philosophique de la PQ pour interroger la « réalité » de l'objet quantique : variables cachées, décohérence et mondes multiples. On peut par exemple rechercher comment la contrainte biographique du roman de P. Forest l'amène à faire légitimement le choix des mondes multiples, parmi les autres versions, sans négliger d'ailleurs la dimension métaphysique de ce choix.

Pour terminer, on notera le caractère indispensable d'une analyse a priori collective de ces textes, en conformité avec les prises de parti didactiques constantes dans l'usage de textes fictionnels dans un contexte d'apprentissage scientifique, afin d'éviter les deux écueils qui consisteraient à les prendre comme distraction, illustration ou vulgarisation. Mais pour contribuer au contraire à pénétrer dans lui-même dans l'objet lui-même, ce qui est la leçon didactique implicite de la nouvelle de Baxter.

Conclusion

Quelques remarques sont indispensables pour marquer l'intérêt et la limite de la démarche :

S'il y a de la fiction dans la science, la science n'est pas la fiction et c'est la raison pour laquelle on ne doit pas confondre fiction littéraire et fiction scientifique. En effet le questionnement épistémologique à travers la fonction littéraire n'est pas la conceptualisation scientifique.

On notera ensuite que les fictions ajoutent à la notion d'objet quantique *celle* de monde quantique : la première appartient à la science, la seconde à la fiction qui projette sur un monde complet où les propriétés des objets quantiques se trouveraient réalisées en « grandeur nature », à la manière d'un chat quantique. Et c'est donc par le biais de ce que peut être un monde quantique que les propriétés de l'objet quantique peuvent être interrogées.

On ne sera pas dupe non plus de l'usage toxique que la dimension magique des mots de la PQ peut contribuer à susciter pour contribuer paradoxalement à légitimer un univers irrationnel (on parle ainsi de "thérapie quantique", de « vision quantique » !), par des extrapolations douteuses hors du champ scientifique (Monvoisin, 2011). De ce point de vue, le lien avec les autres enseignements peut être envisagé, s'agissant ici de développer l'attitude de doute et la posture critique à l'égard des charlatans de la physique quantique.

C'est ici un des aspects que nous voulons développer : initier des stratégies et activités didactiques dans une perspective pluridisciplinaire prenant appui sur les questions suscitées par les mondes quantiques autour des thématiques identifiées précédemment.

Textes de fiction

Baxter, S. (1999). *Diagrammes du vide*, trad. in *Bifrost* N°70.

Collins R. (2010). *Picasso's cat and other stories*, Merry Blackmish Press.

Effinger, G. (1990). *Le chat de Schrödinger*, in *Univers* 1990, j'ai lu.

Forest, P. (2012). *Le chat de Schrödinger*, Gallimard.

La fiction au service de la Physique Quantique en Terminale scientifique : l'exemple du chat de Schrödinger

Le Guin, U. (1994). Le chat de Schrödinger, in *Les quatre vents du désir*, Presses Pocket.

Heinlein, R.A. (1987). *Le chat passe-muraille*, J'ai lu.

Willis, C. (1993). Au Rialto, in *Aux confins de l'étrange*, J'ai lu.

Pohl, F. (1986). *L'avènement des chats quantiques*, Denoël.

Références bibliographiques

Bruguière, C. & Triquet, E. (2012). Des albums de fiction réaliste pour problématiser le monde vivant. *Repères* n°45. Lyon : INRP.

D'Espagnat, B. (1994). *Le réel voilé*. Paris : Fayard.

Esfeld M. (2006). *Philosophie des sciences, une introduction*. Lausanne : Presses techniques et universitaires romandes.

Everett, H. (1957). "Relative state" Formulation of Quantum Mechanics, in *Review of Modern Physics*, vol 29, Juillet 1957, p.225-244.

Gribin, J. (2012). *Erwin Schrödinger and the quantum revolution*. U.K. : Bantam Press.

Haroche, S., Raymond, J.M. & Brune. M. (1997). Le chat de Schrödinger enfin apprivoisé. Paris : *La Recherche*, n° 301.

Héraud, J-L. (à paraître, 2014). To be and not to be, Comment la science justifie les mondes impossibles de la fiction. Nice : *Alliage, science, culture, société*, n°74.

Lévy-Leblond. J.-M., (1999). Mots & maux de la physique quantique - Critique épistémologique et problèmes terminologiques, in Paris : *Bulletin de l'Union des Physiciens*, juillet-août-septembre 1999, vol. 93, n° 816, p. 1129-1147.

Lewis, D. (1978). Truth in fiction, in *Philosophical Papers, Vol 1*, N.Y., Oxford : Oxford University Press.

Montvoisin, R.. (2011). Quantox : l'art d'accueillir le mot quantique à toutes les sauces. Paris : *Bulletin de l'Union des Physiciens*, juin 2011, vol. 105, n° 935, p. 679-700.

Schrödinger, E. (1935, trad. 1992). La situation actuelle en mécanique quantique, in *Physique quantique et représentation du monde*, Paris : Seuil.

Soudani, M., & Héraud J-L. (2012). De la modélisation fictionnelle à la modélisation scientifique à travers la lecture problématisée de l'album *Plouf!* *Repères* n°45, Lyon : INRP p.225-244.