HAL
open science

Le rôle de la fiction dans la construction d'objet quantique : de l'ornithorynque au tigre quantique

Jean-Loup Heraud, Philippe Lautesse, Fabrice Ferlin, Adrien Vila-Valls

To cite this version:

Jean-Loup Heraud, Philippe Lautesse, Fabrice Ferlin, Adrien Vila-Valls. Le rôle de la fiction dans la construction d'objet quantique : de l'ornithorynque au tigre quantique. Sameh Hrairi, Recueil de Textes“ Pratiques et Formations dans les Educations A… ”, Mai 2025, Hammamet, Polytech-Centrale, Tunis, p. 241-250, 2016. hal-01663745

HAL Id: hal-01663745

https://hal.science/hal-01663745

Submitted on 14 Dec 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.

Le rôle de la fiction dans la construction d'objet quantique : de l'ornithorynque au tigre quantique

J.L. Héraud, P. Lautesse, F. Ferlin, A. Vila Valls
EA 4148 S2HEP, Université Claude Bernard Lyon1 - ENS de Lyon, France

> « …l'esprit scientifique est essentiellement une rectification du savoir, un élargissement des cadres de la connaissance.(…). L'essence même de la réflexion, c'est de comprendre qu'on n'avait pas compris » Bachelard, *Le nouvel esprit scientifique (1934).*

I. Introduction : de l'ornithorynque à la dualité onde-corpuscule

Pour le biologiste, l'ornithorynque est une espèce nouvelle tout à fait étrange, puisqu'il est un mammifère qui allaite ses petits, mais qui pond des oeufs, qui a un bec et des poils…. Mais pour les premiers explorateurs qui ont aperçu l'animal, l'ornithorynque a été perçu comme étant soit un canard, soit une taupe : d'où le terme de « duckmole », c'est-à-dire canard-taupe. Dans les années 1920, avec la physique quantique, les physiciens ont été confrontés à un problème analogue avec la matière et la lumière, les objets microscopiques semblant avoir une double nature, à la fois ondulatoire et corpusculaire. D'où le caractère de « dualité onde-corpuscule » qu'on leur a attribué. C'est ainsi que J.M. Lévy-Leblond décrit cette situation paradoxale, qui consiste pour les photons –les constituants de la lumière- à réunir des propriétés qui sont incompatibles dans la physique classique :

> « En tout cas, le physicien voit bien que la lumière, dans les appareils où il la manipule, dans les équations où il la décrit, n'est en fait *ni* onde *ni* particule –et non pas à la fois l'une et l'autre et pas davantage tantôt l'une tantôt l'autre comme on le dit encore trop souvent. Ses constituants, les photons, sont des entités d'un type nouveau, caractéristiques du monde quantique –les « quantons »-, puisqu'aussi bien ce néologisme s'impose. Même s'il est vrai qu'en certaines circonstances, particulières, le quanton ressemble à une onde, ou, à d'autres circonstances, exclusives des premières, à une particule, (comme un ornithorynque qui ne montrerait que le bout de son bec et pourrait passer pour un canard, ou seulement son arrière-train et pourrait être confondu avec un lapin), c'est son originalité et sa différence par rapport à ces objets classiques qui fait son intérêt ». (Lévy-Leblond, 1997, p. 33-34).

Pour l'auteur, on ne peut plus penser ces objets nouveaux en continuité des objets de la physique classique, en utilisant les concepts de celle-ci. Comme le souligne M. Paty : « A partir d'une certaine frontière, les objets ne sont plus une simple réduction des objets auxquels nous sommes habitués. Cette frontière, c'est le seuil du quantum, pour lequel il nous faut un sésame, un passeport » (Hoffman & Paty, 1981). Ce qu'on appelle « la dualité onde-corpuscule » est un obstacle pour l'enseignement puisqu'un objet classique ne peut être simultanément une onde et un corpuscule. Il y a une rupture épistémologique à opérer pour acquérir une connaissance nouvelle. La question posée est donc la suivante : faut-il abandonner totalement l'usage des deux concepts, comme le veut Lévy-Leblond, ou faut-il les réformer profondément comme le veut, nous allons le montrer, Bachelard ? Le bénéfice didactique de cette seconde posture serait que les élèves puisse appréhender sur le plan du « Nouvel esprit scientifique », la mutation de signification de ces deux notions, sur le plan épistémologique –du concept- et ontologique-de l'objet- ?

II. Contexte, objectif, plan de notre étude

Notre groupe travaille sur les difficultés épistémologiques et ontologiques rencontrées dans le cadre de l'enseignement de la physique quantique en classe de Terminale Scientifique (TS) en France (Lautesse et al, 2015). Ces difficultés, telle que la dualité onde-corpuscule, sont liées au caractère contre-intuitif de la théorie quantique. Une piste que nous explorons pour sur-

monter ces obstacles consiste à utiliser des récits de fictions dans lesquels sont présentés des mondes contre-intuitifs possibles régis par lois de la physique quantique.
Dans un premier temps, nous marquerons avec Bachelard la difficulté à décrire les phénomènes de la physique quantique à l'aide des concepts légués par la physique classique et de l'image de notre monde empirique. Il convoque pour cela ce que nous proposons d'appeler un nouvel imaginaire épistémologique qui ouvre un nouvel espace de configuration d'un réel possible.
Dans un second temps, partant d'activités proposées dans des manuels destinés aux élèves, nous élargirons cette capacité de représentation d'un autre réel physique à la littérature de l'imaginaire à travers les rêves de Monsieur Tompkins.
Nous conclurons sur les perspectives d'une éducation culturelle sur les enjeux des nouvelles sciences.

III. **La dialectique interne onde-corpuscule dans le *Nouvel esprit scientifique* chez Bachelard**

Dans le *Nouvel esprit scientifique* (1934), Bachelard pose la question suivante : comment éduquer la pensée à la nouvelle science –relativité et physique quantique- qui vient contester l'ancienne avec laquelle elle consacre une rupture ? La nouvelle physique dit philosophiquement « non » à l'ancienne : c'est ainsi que la mécanique quantique ne peut pas se penser par et à l'intérieur de la physique classique, mais sur un autre terrain. Voilà pourquoi il faut éduquer la pensée à ce changement de paradigme.

Vers le Nouvel esprit scientifique

L'esprit scientifique des théories de la physique classique repose sur une homologie implicite entre l'activité de la raison, et la structure du réel. Bachelard montre que cette concordance miraculeuse repose sur la mathématique dominante qu'est la géométrie euclidienne à trois dimensions, confortée par l'expérience limitée de notre espace physique. Elle constitue un obstacle épistémologique, car elle empêche l'esprit scientifique de s'interroger précisément sur les écarts qui vont aller grandissant entre les théories scientifiques et le réel de notre expérience. Car c'est sur l'acceptation de ce désaccord que doit se construire le nouvel esprit scientifique. La science n'est plus de plain-pied avec le réel intuitif de notre expérience, elle vient au contraire le contredire C'est ainsi que Bachelard marque quelques unes des caractéristiques du Nouvel esprit scientifique de la façon suivante :
a/ la raison n'est pas une faculté qui produit de la science, c'est l'inverse, la raison est formée par la science et dans la science, elle est un effet et une conséquence de la science ;
b/ il n'y a pas par conséquent de réel avant la science, le réel est donné après coup par la science elle-même. Il y a donc une disjonction entre le réel empirique et le réel de la science ;
c/ mais pourquoi le réel de la science diffère et diverge même du réel immédiat dans lequel nous vivons ? C'est la mathématique qui structure et modifie la figuration du réel, car elle le modélise dans des relations de grandeurs, selon des variables mesurables et calculables. Dans la science classique, la géométrie euclidienne fournissait le socle d'où résultait une correspondance approchée entre l'espace physique et celui de notre intuition. C'est, pour Bachelard, la mathématique choisie qui vient configurer le réel possible à partir de ses axiomes propres : la physique d'Einstein s'appuiera sur la géométrie non intuitive de Riemann. A fortiori, l'électron n'est pas observé directement : c'est un objet théorique qui suscite ou suggère un nouveau réel, plus abstrait, qui n'est pas réductible à son formalisme pour autant. Le fait scientifique combine en effet une structure mathématique et un montage technique. Dès lors,

les théories définissent un champ de possibles, elles constituent un ensemble de possibilités pour penser le réel, mais un réel non conforme à nos intuitions habituelles.

Une reconstruction mutuelle des notions d'onde et de corpuscule

Que va faire le Nouvel esprit scientifique devant les comportements d'onde et de corpuscule présentés par les phénomènes ou les objets de la microphysique ? Pour Bachelard, l'objectif est clair : il ne faut attribuer à ces notions ni la valeur ontologique, ni la signification épistémologique qu'elles ont dans la physique classique. Là sont les obstacles : Bachelard refuse de transférer les concepts de la physique classique dans la nouvelle physique, il préconise au contraire une reconstruction radicale de ces deux concepts l'un par le moyen de l'autre.
Bachelard prend comme point de départ les « intuitions géniales » de L. de Broglie. Mais ce qui l'intéresse n'est pas de faire de l'histoire de la science, ni d'interpréter la théorie quantique pour interroger la nature de son objet, mais plutôt la dialectique de l'esprit scientifique à l'œuvre dans l'activité scientifique. S'il fait par exemple l'éloge de la démarche de Heisenberg, c'est pour souligner que celui-ci critique les notions physiques de la théorie corpusculaire en s'appuyant sur les notions physiques de la théorie ondulatoire et qu'il procède de façon inverse ensuite, critiquant les notions physiques de la théorie ondulatoire « en s'appuyant sur des notions physiques de la théorie corpusculaire prises cette fois comme valables » (p.89). S'agit-il là d'un cercle vicieux ? Non répond Bachelard, c'est un moyen nécessaire pour s'installer dans et décrire le mouvement de la science d'un point de vue phénoméniste :
a/ il ne s'agit nullement de se prononcer d'emblée sur la nature de l'objet quantique, mais prioritairement de corriger l'une par l'autre les notions univoques d'onde et de corpuscule : loin d'être exclusives, elles sont inclusives ;
b/ on ne peut donc accéder au réel physique considéré que dans l'expérimentation technique elle-même : il n'y a pas de réel indépendant ou externe à la théorie ;
c/ il convient enfin d'associer la représentation microphysique à des images analogiques – approchées et problématiques.
La difficulté épistémologique vient en effet de ce qu'il s'agit d'utiliser des concepts de théories déjà existantes pour leur conférer une autre valeur opératoire dans le nouveau contexte des phénomènes quantiques : les notions de vitesse, corpuscule, énergie, position ne sont plus des « notions simples, immédiates, claires, distinctes. », mais ce « sont des notions à expliquer, à construire », à reconstruire. Le danger viendrait d'un usage unilatéral et univoque, associé à la charge ontologique et intuitive en résultant. En effet, la notion de position s'interprète en mécanique quantique, du point de vue ondulatoire, comme une fonction d'onde~~s~~ définissant les amplitudes de probabilité de trouver la particule à telle ou telle position! Du coup, le corpuscule est considéré comme un *paquet d'ondes*, ce qui est paradoxal, car le corpuscule perd sa réalité de substance matérielle, permanent, substrat de propriétés distinctes, pour se déplacer de façon continue, sans localité

> « On ne conçoit plus le point matériel comme une entité statique n'intéressant qu'une partie de l'espace, mais comme le centre d'un phénomène périodique répandu tout autour de lui » citation de L. de Broglie « p. 86)« Autant dire que l'existence du corpuscule a une racine dans tout l'espace », ajoute Bachelard .

On voit se dessiner les objectifs de Bachelard :
a/ contester le réalisme des deux théories, ondulatoire et corpusculaire, car l'objet microscopique n'est ni une onde, ni un corpuscule au sens traditionnel de la physique classique ;
b/ redéfinir conceptuellement chacune des deux notions en la modifiant par son contraire ;
c/ risquer une nouvelle forme de réalisme en rupture avec celui de l'expérience usuelle, qui vienne prolonger et compléter du point de vue des intuitions physiques le formalisme mathématique ;

d/ analyser la valeur épistémologique de ces images dans le processus de conceptualisation : insister par là sur leur valeur éducative, car elles sont polémiques. Penser quelque chose par son opposé est bénéfique, ce n'est pas penser à l'envers, ce n'est pas irrationnel, bien au contraire :

> « Du point de vue psychologique, ... les nouvelles doctrines nous apprennent à désapprendre, elles nous demandent, si l'on peut dire, de désintuitionner une intuition par une autre » (p. 86)

Pour exemple, on ne peut pas plus considérer le corpuscule comme une petite sphère avec un volume défini :

> «. ..l'intérieur de l'électron est une sorte de domaine interdit... C'est au contraire rompre avec les principes de la mesure continue. » (p. 87)

L'interprétation ondulatoire permet, comme on l'a vue, par le biais des mathématiques non-euclidiennes, de ne plus concevoir l'électron, élément de matière, comme une substance, mais comme ensemble de relations non locales. De même, le photon, élément de lumière, ne peut donc se ramener à l'intuition corpusculaire ; car les images en jeu doivent être ramenées non aux concepts des théories classiques, mais à leur source mathématique : « leur association doit être mathématique ; on doit les comprendre comme des moments différents de la mathématisation de l'expérience » ; enfin, « L'onde se présente alors nettement comme une expression mathématique s'étendant normalement à des *espaces de configuration* dont le nombre dépasse trois, caractéristique de l'espace intuitif ». (p. 95).
Mais la pensée dialectique poursuit son œuvre dynamique et critique, refusant tout arrêt dogmatique sur une définition ou une image définitive ! Il s'agit dans un second temps de déconstruire la notion d'onde par celle de corpuscule, pour arriver à la « construction des ondes à partir de points matériels ». Mais considérer l'électron comme un corpuscule matériel reviendra à se poser la question de savoir comment le localiser : c'est dans ce contexte qu'intervient alors l'expérience de la mesure, avec la loi de probabilité de la présence du corpuscule en un endroit donné. Ce qui est une rupture avec le déterminisme rigide de l'ancienne physique…

« Un réalisme de seconde position »

Lorsque Bachelard parle d'un « réalisme de seconde position », de quoi s'agit-il ? Il signe d'abord une rupture avec une conception positiviste qui voudrait se contenter de mathématiser les relations entre les phénomènes observables ; car la nouvelle science ne procède pas de la réalité –d'une réalité qui serait préexistante- pour en tirer la théorie physique, mais l'inverse : elle procède de la théorie mathématique pour en tirer la réalité physique correspondante « En effet, il s'agit d'un réalisme de seconde position, d'un réalisme en réaction contre la réalité usuelle, en polémique contre l'immédiat, d'un réalisme fait de raison réalisée, de raison expérimentée. ». Mais pour autant, « Le réel qui lui correspond n'est pas rejeté dans le domaine de la chose en soi inconnaissable. Il a une toute autre richesse nouménale » (p. 5). Il s'agit donc d'un réel en opposition avec le réalisme naïf, mais bien d'un réel physique qui se trouve ainsi projeté et exploré à partir de la théorie mathématique : il correspond à « … la réalisation du mathématique » (p.4), ce que nous appellerions aujourd'hui le formalisme mathématique. Celui-ci se double en quelque sorte, selon une nécessité psychologique, d'une contrepartie ontologique.

Vers un imaginaire épistémologique

L'épistémologie décrit un processus de connaissance scientifique qui ne va pas de soi, puisque celle-ci n'est préfigurée ni dans la raison ni dans le réel. Il faudra en tirer les enseignements en didactique des sciences. La nouvelle connaissance scientifique véhicule des concepts (masse, vitesse, onde et corpuscule etc…) marqués par de nouveaux usages séman-

tiques, et elle est amenée à projeter d'autre part des images qui prolongent et complètent les modèles mathématiques abstraits. Car il n'y a pas pour Bachelard de science pure sans relation avec des images. Si les images ne sont jamais une représentation adéquate des concepts, car toujours problématiques, elles fournissent cependant une contrepartie intuitive au formalisme mathématique, incomplet sans sa dimension de réalisation ou d'objectivation physique. L'image bonne a donc une double fonction : pédagogique (comprendre et faire comprendre) et poétique (anticiper, suggérer..). Il y a un aspect positif de l'image, qui libère au lieu d'asservir : à condition là encore que chaque image unilatérale viennent se limiter et se corriger mutuellement. D'où l'on comprend cette conclusion :

> « Ainsi, les deux images corpuscules et ondes n'arrivent pas vraiment à se rejoindre. Elles ne sont claires que si elles sont isolées. Elles doivent en somme rester l'une et l'autre des images et ne pas prétendre représenter des réalités profondes. Ces images seront cependant instructives si nous savons les prendre comme deux sources d'analogies, si nous nous exerçons à penser l'une par l'autre aussi bien qu'à limiter l'une par l'autre ». p. 91

Il y a donc une place pour l'imaginaire dans l'activité scientifique : les mathématiques non euclidiennes employées par la nouvelle physique (espace à n dimensions par exemple), entrainent une libération à l'égard de l'intuition sensible et une projection vers d'autres formes du réel. On peut considérer que Bachelard inaugure une épistémologie de l'imaginaire au sens où c'est l'image qui vient donner une consistance, une direction au concept théorique : un concept est une image rationalisée. L'imaginaire est l'envers positif de la figure négative de l'obstacle épistémologique. Puisqu'on ne peut pas s'en débarrasser, il faut éduquer l'imaginaire, cela à partir de la pratique et l'activité scientifique. On est donc en droit de militer, à la suite de Bachelard, pour une éducation épistémologique de l'imaginaire pour former par conséquent à l'esprit de la science. Tout se passe comme si on ne pouvait combattre l'imagination que par de l'imaginaire.

Une question reste ouverte : ne peut-il pas y avoir d'autres sources pour l'imaginaire épistémologique des phénomènes quantiques afin d'explorer de tels espaces de configuration ? En particulier au moyen de sources culturelles de l'ordre des expériences de pensée ou des œuvres de fiction ?

IV. De l'imaginaire mathématique à l'imaginaire de la fiction littéraire. La jungle quantique : représenter les concepts quantiques dans une fiction ?

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 de la physique contemporaine. Du point de vue institutionnelle le Bulletin Officiel de l'Education Nationale (BOEN) stipule :

> « La dualite onde-corpuscule est une formulation qui s'applique aux manifestations du photon, qui se comporte soit comme une onde, soit comme une particule, selon le contexte expérimental considéré. Mais elle ne doit pas décrire la nature intrinsèque du photon lui-même, qui n'est ni une onde, ni une particule, mais l'archétype d'un objet quantique, appelé parfois « quanton » par les scientifiques. »

Par ailleurs, concernant les programmes et commentaires pour la partie dualité onde-particule, l'annexe 1 précise :

> « 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. »

Ainsi, la dualité onde-corpuscule est un obstacle pour l'enseignement puisqu'un objet classique ne peut être simultanément une onde et un corpuscule.
Le récit de fiction peut permettre de décrire des mondes contre-intuitifs possibles, cohérents avec les principes fondamentaux de la physique quantique. L'intérêt de cette approche est de pouvoir créer une interaction entre les enseignements de physique et de philosophie en TS et de permettre aux élèves de développer une culture réflexive au plus proche des problèmes posés par la science.

Dans le cadre du cours de Physique, l'utilisation d'un récit de fiction issu de : M. Tompkins au pays des merveilles, de G. Gamow (1965)

Ce livre (Gamow, 1965), dont des récits sont utilisés 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 »
Dans les rêves que fait Mr Tompkins, les phénomènes habituellement inaccessibles à nos sens (en l'occurrence les phénomènes relativistes et/ou quantiques) sont si fortement exagérés qu'ils deviennent aussi facilement observables que des faits de la vie courante. Dans le livre de Gamow, six rêves sont décrits. Le quatrième rêve, que nous allons étudier, permet de discuter de phénomènes quantiques en lien avec la « dualité onde-corpuscule ».

« 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 de physique qui accompagne tous les rêves de Mr Tompkins.
La caractéristique physique de la jungle quantique est sa « très grande constante quantique » (constante de Planck). Les objets macroscopiques de cette jungle (en dehors des personnages qui sont étrangers à cette jungle) sont alors soumis aux lois de la physique quantique.
En voulant chasser le tigre, les personnages voient apparaitre une multitude de tigres agressifs. Le chasseur en vise un entre les deux yeux et malgré son adresse, ne le touche pas. C'est en tirant un grand nombre de fois et sans viser juste, sur les conseils du professeur, que le chasseur finit par faire mouche. La multitude de tigres se réduit alors en un tigre unique, mort.
Ensuite le groupe observe une multitude de gazelles se précipitant à travers un rideau d'arbres percé de deux fentes. Des groupes de lionnes « alignés parallèlement au rideau d'arbres » et « régulièrement espacés » attendent alors les gazelles derrière le rideau d'arbres.
Ce récit se retrouve partiellement dans deux des cinq manuels de physique français de TS (programme 2012) : celui des éditions Belin et celui des éditions Bordas.
La chasse au « tigre quantique » est décrite dans le manuel Belin (Editions Belin, document 1, p. 253) suivi d'une série de « questions » reliées à ce récit :

« 1. Ce tigre quantique avait-il plutôt le comportement d'une onde ou d'une particule :
a. quand il se comportait comme une « grande meute de tigres » ?
b. quand le tigre, touché, « tout à coup était devenu unique » ?
2.a. Quelle caractéristique du comportement des objets quantiques l'auteur essaie-t-il de faire comprendre, lorsque le professeur crie de ne pas chercher à viser juste ?
b. Calculer la longueur d'onde de De Broglie associée à un tigre de masse 200 kg et de vitesse 50 km/h.

c. Donner la longueur d'onde associée au tigre d'après le document 1. En déduire un ordre de grandeur de la valeur de la constante de Planck dans le monde imaginé par G. Gamow. »

La chasse aux gazelles par les lionnes est quant à elle décrite dans le manuel Bordas (Editions Bordas, Exercice 17, p. 430), Une question suit ce texte : « Pourquoi les lionnes, qui sont des prédateurs pour les gazelles, se sont-elles rassemblées en petits groupes au lieu de s'éparpiller de façon uniforme sur toute la longueur ? »

Ce récit permet de discuter la dualité « onde-particule » dans un monde où la constante de Planck passe de sa valeur théorique de 6.62 10-34 J.s à une valeur beaucoup plus grande. Dans ce cas, les effets de « diffraction » et « d'interférences » se produisent sur des objets macroscopiques, les phénomènes ondulatoires n'étant plus négligeables contrairement à ce qui se passe dans notre monde empirique où la constante de Planck est extrêmement petite et donc les effets quantiques sont indétectables à notre échelle. Il n'en est pas de même dans le quatrième rêve du livre de Gamow.

Ainsi, dans la première partie du récit, la multitude de tigres représente un phénomène ondulatoire et la probabilité de présence est distribuée sur un large espace. En revanche, le tigre mort représente un phénomène corpusculaire à la suite de ce que l'on appelle la « réduction du paquet d'ondes ». Le tigre mort est alors localisé en un endroit précis de l'espace.

Dans la seconde partie du récit, les « corpuscules » gazelles « diffractent » à travers un rideau d'arbres percé de deux fentes et constituent donc une figure d'interférences (caractéristique d'un phénomène ondulatoire) avec des interférences constructives (endroits où arrivent les gazelles) et destructives (absence de gazelles). Les lionnes se positionnent donc aux endroits où les gazelles ont la plus forte probabilité de présence. La grande valeur de la constante de Planck permet donc aux phénomènes de diffraction de se manifester à des échelles macroscopiques, la longueur d'onde des gazelles étant du même ordre de grandeur que la taille des fentes entre les rideaux d'arbres.

On retrouve ainsi à travers les deux parties de ce récit, la dialectique interne des concepts d'onde et de corpuscule exposée chez Bachelard, à savoir la transformation réciproque de l'onde en corpuscule (première partie avec le tigre) et du corpuscule en onde (seconde partie avec les gazelles) caractéristique de l'objet quantique pour cet auteur.

On retrouve ainsi la dénomination « ni onde ni corpuscule » préconisée dans le BOEN et que l'on peut lire dans quatre des cinq manuels de TS français (Editions Belin, 2012, Editions Bordas, 2012, Edition Hachette, 2012, Edition Nathan, 2012).

D'autre part, l'apport de la philosophie des sciences à travers le « Nouvel Esprit Scientifique » de Bachelard, et le détour par le récit de fiction sur les notions problématiques d'onde et de corpuscule, se répondent et se renforcent mutuellement comme nous venons de la voir. Cette double perpective (philosophie des sciences et fiction) nous semble être un préalable pertinent pour la culture réflexive des élèves, futurs citoyens, et leur compréhension des questions de physique contemporaine.

Conclusion et perspectives

Bachelard marque fortement les enjeux didactiques *« …*cette doctrine des quanta étend positivement notre conception du réel et elle est une conquête de la raison nouvelle sur l'irrationalisme. Cette crise est donc une crise de croissance normale. Il faut préparer l'esprit et recevoir l'idée quantique, ce qui ne peut se faire qu'en organisant systématiquement l'élargissement de l'esprit scientifique. ». C'est cet enjeu épistémologique d'ordre culturel qui doit s'inscrire consciemment dans le cadre didactique défini par l'enseignant ; celui-ci est certes responsable de l'apprentissage de savoirs, il est aussi partie prenante de la formation chez les élèves d'un esprit scientifique critique de lui-même ; critique de sa démarche, de ses objets, mais aussi de ses applications technologiques et sociales.

L'on peut envisager dans ce cadre les prolongements ci-après. Dans le cadre du cours de Philosophie, on pourrait utiliser le récit de fiction issu de M. Tompkins au pays des merveilles, avec les objectifs suivants :

- Utiliser les fonctions du récit pour comprendre des concepts scientifiques contre-intuitifs
- Organiser une réflexion sur le savoir (réalité ou croyance), sur la science (son statut dans la société, quelles applications techniques peuvent en résulter) et les obstacles épistémologiques.

Un prolongement pourrait aborder ensuite avec les apprenants, en tant qu'élèves et citoyens d'aujourd'hui et de demain, des questions qui prennent de plus en plus d'importance dans la société (interprétation de la physique quantique avec la téléportation, les ordinateurs quantiques…).

R**éf**erences

Bachelard, G. (1934). Le Nouvel Esprit Scientifique. PUF.

Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011, Annexe Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie. Classe Terminale de la série scientifique.

Editions Belin, (2012). Physique Term S Spécifique, Manuel élève (grand format), Collection : Physique – Chimie, Editeur : Belin.

Editions Bordas, (2012). E.S.P.A.C.E. Tle S, Manuel de l'élève Physique – Chimie Grand Format, Collection E.S.P.A.C.E. Lycée, Editeur : Bordas.

Editions Hachette, (2012). Physique-Chimie T S spécifique - Livre élève Format compact - Edition 2012, Collection Dulaurans Durupthy, Editeur : Hachette.

Editions Hatier, (2012). Micromega Physique-Chimie Tle S enseignement spécifique éd. 2012 - Manuel de l'élève format compact, Collection Microméga, Editeur : Hatier.

Editions Nathan, (2012). Physique-Chimie Term S spécifique - Livre de l'élève, Collection Sirius, Editeur : Nathan.

Gamow, G., (1965). M. Tompkins au pays des merveilles. Dunod.

Hoffman, B., Paty M., (1981). L'étrange histoire des quanta. Seuil.

Lautesse, P., Vila Valls, A., Ferlin, F., Héraud, J.L., Chabot, H. (2015). Teaching Quantum Physics in Upper Secondary School in France. Science & Education, DOI 10.1007/s11191-015-9755-9

Levy-Leblond, J.M. (1997). Aux contraires, L'exercice de la pensée et la pratique de la science. Gallimard.