

4 - L'ÉCOLE DE COPENHAGUE

Alice pénétra dans le bois et suivit un chemin qui serpentait au milieu des arbres. Elle arriva à un embranchement, marqué par un poteau indicateur. Son utilité ne parut toutefois pas très grande à Alice, car une flèche vers la droite indiquait "A", sans rien d'autre, et une flèche vers la gauche n'indiquait que "B". "Je le déclare haut et fort," s'exclama Alice, "je n'ai jamais vu de panneau indicateur plus inutile." Elle regardait autour d'elle pour voir si elle pouvait trouver quelque indice des destinations auxquelles pouvaient mener ces chemins, quand elle sursauta : le chat de Schrödinger se tenait sur une branche basse à quelques mètres d'elle.

"Oh, Monsieur le chat," commença-t-elle timidement. "Pourriez-vous m'indiquer la direction que je dois prendre maintenant ?"

"Cela dépend beaucoup de l'endroit où vous voulez aller," répondit le chat.

"Je n'en suis pas très sûre..." commença Alice.

"Alors, la direction n'a aucune importance !" coupa le chat.

"Mais je dois quand même choisir entre les deux chemins," dit Alice.

"Voilà votre tort," philosofa le chat. "Vous n'avez pas à décider, vous pouvez prendre tous les chemins. Vous auriez dû comprendre cela depuis le temps. Moi, je fais souvent neuf choses différentes en même temps. Les chats peuvent rôder un peu partout quand on ne les observe pas. À propos d'observations," dit-il précipitamment, "je crois que je suis sur le point d'être obs..." Le chat s'effaça brusquement.

"Quel chat étrange," pensa Alice, " et quelle suggestion étrange. Il devait faire allusion à cette superposition d'états dont parlait le Mécanicien Quantique. Je pense qu'il doit s'agir de quelque chose d'analogue à ce que j'ai rencontré en quittant la Banque.

Cette fois là, j'ai pris — je ne sais comment — plusieurs directions en même temps, aussi je présume que je n'ai qu'à essayer de recommencer."

État : Alice (A1)

Alice tourna à droite du poteau indicateur et continua le chemin sinueux en regardant les arbres à côté desquels elle passait. Elle n'était pas allée très loin quand elle rencontra une nouvelle bifurcation. Le panneau indicateur marquait cette fois "1" d'un côté et "2" de l'autre. Alice tourna encore à droite et continua son chemin.

Peu à peu les arbres se clairsemèrent et elle se retrouva sur un sentier raide et caillouteux, de plus en plus abrupt, jusqu'à ce qu'elle finisse par escalader le flanc d'une montagne isolée. Le sentier s'accrochait au bord d'un précipice vertigineux, puis finit par aboutir à un balcon herbeux entouré de falaises verticales. Une caverne dans la falaise lui faisait face et un passage s'ouvrait vers le bas.

Le passage était très sombre, mais Alice le descendit en rampant, à sa grande surprise. Le sol et les parois étaient lisses et il descendait en pente douce vers une faible lueur visible dans le lointain. La lumière devenait de plus en plus brillante, et de plus en plus rouge, et le tunnel de plus en plus chaud. Des volutes de vapeur flottaient autour d'elle, et elle entendait une sorte de ronflement comme si un gros animal dormait en bas.

Au bout du tunnel, Alice émergea dans une grande salle dont les vastes dimensions ne pouvaient qu'être faiblement devinées. À ses pieds, l'éclat venait d'un énorme dragon rouge et or profondément endormi enroulé dans sa longue queue. Il était couché sur un amoncellement d'or et d'argent, de bijoux et de pièces d'orfèvrerie, tous éclairés par la lumière rougeoyante.

État : Alice (A2)

Alice tourna à droite du poteau indicateur et continua le chemin sinueux en regardant les arbres à côté desquels elle passait. Elle n'était pas allée très loin quand elle rencontra une nouvelle bifurcation. Le panneau indicateur marquait cette fois "1" d'un côté et "2" de l'autre. Alice tourna cette fois à gauche et continua son chemin.

En avançant, elle remarqua que le chemin n'était plus un sentier forestier mais une route étroite pavée de briques jaunes. Elle la suivit à travers les arbres jusqu'à ce qu'elle débouche dans une vaste prairie. Celle-ci s'étendait à perte de vue de chaque côté et l'herbe était parsemée de coquelicots éclatants. La route de briques jaunes traversait la prairie et menait aux portes d'une ville dans le lointain. D'où elle se tenait, Alice voyait que les hauts murs de la cité étaient d'un vert brillant et que les portes étaient incrustées d'émeraudes.

État : Alice (B1)

Alice tourna à gauche du poteau indicateur et continua le chemin sinueux. Il n'y avait rien de très remarquable à regarder. Après un tournant, elle arriva à une nouvelle bifurcation. Le panneau indicateur marquait cette fois "1" d'un côté et "2" de l'autre. Alice tourna cette fois à droite et continua son chemin.

Le sous-bois devint plus épais entre les arbres et il était difficile de distinguer quelque chose à plus de quelques pas du chemin. Le sentier lui-même restait clairement tracé et serpentait entre les taillis. Au détour du chemin, Alice déboucha dans une clairière au centre de laquelle se dressait un modeste bâtiment aux toits très pentus, flanqué d'un petit beffroi. Une inscription était profondément gravée sur le linteau de la porte : "École de Copenhague".

"Ce doit être l'endroit où l'on m'a conseillé d'aller," se dit Alice. "Je n'ai pourtant pas très envie d'aller à l'école ! J'ai déjà passé bien assez de temps en classe ! Mais peut-

être les écoles ici sont-elles très différentes de celles que je connais. Allons voir !" Elle entra sans frapper.

État : Alice (B2)

Alice tourna à gauche du poteau indicateur et continua le chemin sinueux. Il n'y avait rien de très remarquable à regarder. Après un tournant, elle arriva à une nouvelle bifurcation. Le panneau indicateur marquait cette fois "1" d'un côté et "2" de l'autre. Alice tourna à gauche et continua son chemin.

Un peu plus loin, le sentier se mit à grimper sur le flanc d'une colline. Alice le gravit et, arrivée au sommet de la colline, resta quelques minutes à observer le paysage qui s'étendait autour d'elle. C'était une contrée bien étrange. De nombreux ruisseaux la traversaient de part en part, et le terrain entre les ruisseaux était coupé de haies, délimitant des parcelles carrées.

"C'est étonnant, on dirait un immense échiquier," finit par dire Alice.

"Entrez, ma chère" dit une voix douce, et Alice réalisa qu'elle venait d'être observée. Elle franchit la porte et regarda autour d'elle pour examiner la salle de classe. C'était une vaste salle éclairée par de hautes fenêtres de tous côtés. Des rangées de bureaux emplissaient le centre de la pièce, un tableau noir occupait une extrémité et une grande table était placée devant. Le Maître se tenait là.

"Cela ressemble finalement beaucoup à une salle de classe normale," dut admettre Alice en se tournant vers les enfants de la classe. Elle découvrit que ce n'étaient pas des enfants qui occupaient les bancs mais le plus extraordinaire échantillon d'êtres rassemblés sur les premiers rangs. Elle vit une sirène aux longs cheveux ondulés et à la queue écaillée, un soldat en uniforme qui, en y regardant à deux fois, semblait fait de fer

blanc, une petite fille en haillons avec un éventaire plein de boîtes d'allumettes, un très vilain petit canard et un homme au regard hautain et d'une dignité toute impériale qui, pour quelque raison obscure, ne portait que des sous-vêtements.

L'était-il vraiment ? Alice se le demandait car, en regardant de plus près, il lui sembla apercevoir par instants un costume d'épais velours pourpre recouvert d'un riche manteau brodé. Mais en regardant de nouveau, elle ne voyait plus qu'un homme replet en sous-vêtements.

"Eh bien ma chère," dit le Maître qui ressemblait à un bon grand-père aux épais sourcils, "Etes-vous venue vous joindre à notre discussion ?"

"J'ai bien peur de ne pas savoir comment je suis parvenue ici," dit Alice. "Il me semblait me trouver en bien des endroits différents, il y a juste un instant, et je ne suis pas très sûre de savoir comment je suis arrivée en ce lieu plutôt que dans l'un des autres."

"C'est assurément parce que nous vous avons observée ici. Vous vous trouviez dans une superposition d'états quantiques, mais dès que vous avez été observée ici, eh bien vous étiez ici, naturellement. De toute évidence, vous n'avez été observée dans aucun autre endroit."

"Mais que se serait-il passé si je l'avais été ?" demanda Alice avec curiosité.

"Eh bien, votre superposition d'états aurait été réduite à cette autre position. Vous ne seriez pas ici, mais vous seriez à l'endroit où vous auriez été observée, bien entendu."

"Je ne vois pas comment cela serait possible," répliqua Alice qui se sentait de nouveau complètement perdue. "Quelle différence cela fait-il que je sois ou non observée ? Je dois nécessairement être quelque part, quelle que soit la personne qui me regarde."

"Pas du tout ! Après tout, vous ne pouvez pas dire ce qui arrive dans n'importe quel système si vous ne le regardez pas. Il peut s'y passer une foule de choses, et vous

pouvez donner les probabilités de chacune de ces choses, aussi longtemps que vous ne regardez pas ce qui s'y passe. Le système se trouve en pratique dans un mélange d'états correspondant à chacune des actions qui peuvent se passer, et cette situation dure jusqu'à ce que vous regardiez ce qui se passe. À cet instant, une seule possibilité est sélectionnée — bien entendu — et le système se trouve ensuite dans cette situation exacte."

"Et qu'arrive-t-il à toutes les autres situations possibles ?" demanda Alice. "Elles s'évanouissent tout simplement ?"

"C'est exactement cela," dit le Maître en la regardant intensément, "Vous avez mis le doigt dessus. Tous les autres états s'évanouissent purement et simplement. Le pays de ce qui pourrait être devient le pays de ce qui n'a jamais été. À cet instant, tous les autres états cessent d'avoir une quelconque réalité. Ils deviennent, si vous voulez, des rêves ou des fantaisies et l'état observé devient le seul réel. Nous appelons cela la réduction des états quantiques. Vous serez bientôt familiarisée avec elle."

"Cela veut-il dire que vous pouvez choisir ce que vous allez voir quand vous regardez quelque chose ?" demanda Alice prise d'un doute intérieur.

"Oh non, vous n'avez aucune liberté de choix. Ce que vous pouvez voir est déterminé par les probabilités des différents états quantiques. Ce que vous voyez effectivement est une pure question de chance. Vous n'avez nullement le choix de ce qui arrive, les probabilités quantiques ne donnent que les probabilités des différents résultats possibles mais ne commandent pas ce qui arrive en fait. C'est le hasard seul qui intervient, et ce qui advient n'est fixé que lorsqu'une observation est accomplie." Le Maître parlait d'un ton très grave, mais si doucement qu'Alice devait tendre l'oreille pour saisir tout ce qu'il disait.

L'interprétation "orthodoxe" de la mécanique quantique est appelée *interprétation de Copenhague* (ainsi nommée en l'honneur du physicien danois Niels Bohr, et non d'après Hans Christian Andersen). Quand plusieurs destins différents sont possibles pour un système physique, une amplitude existe pour

chacun d'eux et l'état total du système est décrit par la somme, ou superposition, de ces amplitudes. Quand une observation est effectuée, elle trouve une valeur correspondant à l'une de ces amplitudes, et les autres amplitudes s'effacent, processus que l'on appelle la *réduction des amplitudes*.

"Effectuer une observation me paraît donc une action particulièrement décisive," analysa Alice. "Mais qui donc effectue ces observations ? De toute évidence, les électrons ne sont pas capables de s'observer eux-mêmes quand ils traversent les fentes d'une expérience d'interférences, puisqu'ils paraissent passer par les deux fentes à la fois. Je devrais plutôt dire que les amplitudes pour les deux fentes sont présentes," corrigea-t-elle en imitant les tournures de langage qu'elle avait si souvent entendues ces derniers temps. "Apparemment, je ne me suis pas observée moi-même quand je me trouvais, il y a peu, dans une superposition d'états."

"En fait," avança soudain Alice qu'une idée soudaine venait de frapper, "si la mécanique quantique affirme que vous devez faire toutes les actions possibles, vous devez nécessairement observer *tous* les résultats possibles à l'issue de toute mesure que vous effectuez. Si votre principe de superposition a un sens dans toutes les situations, alors il est impossible d'effectuer la moindre mesure ! Toute mesure que vous effectuez peut avoir plusieurs résultats. Selon vos règles, vous pouvez observer n'importe lequel de ces résultats, mais, toujours selon vos règles, vous devez alors les observer tous. Tous les résultats possibles de votre mesure doivent être présents dans une nouvelle version de cette superposition d'états dont vous parlez. Vous ne pouvez jamais rien observer, ou plus exactement, *il ne peut rien y avoir que vous n'observiez pas !*"

Alice reprit son souffle, totalement enflammée par cette idée neuve, et elle s'aperçut que tout le monde dans la classe la regardait intensément. Quand elle se tut, tous s'agitèrent mal à l'aise.

"Oui, vous avez soulevé là un point très important," lui dit gentiment le Maître. "Nous appelons cela le *problème de la mesure*, et c'est précisément le sujet dont nous débattions à l'instant."

Voir la Note 1

Le Maître poursuivit : "Il est important de garder en mémoire qu'il s'agit d'un vrai problème. La superposition d'amplitudes que nous décrivons pour des systèmes à un ou deux électrons existe forcément puisque les amplitudes interfèrent, comme dans l'expérience que vous avez vue. C'est très différent d'une situation où l'électron serait bien dans un état précis, mais un état que nous, nous ignorerions. Une pareille situation ne pourrait conduire à une interférence, aussi sommes-nous forcés de conclure que l'électron se trouve bien dans tous les états à la fois, dans un certain sens du moins. Je pense que demander ce que fait en réalité l'électron n'est pas une bonne question parce qu'il est fondamentalement impossible de savoir cela. Si vous tentez de le faire, vous altérez le système et vous examinez en fait quelque chose de différent."

"Mais, comme vous le soulignez, nous nous heurtons à une difficulté. Les atomes et les systèmes contenant un petit nombre de particules font toujours tout ce qu'il leur est possible de faire et ne prennent jamais de décisions. Nous, par contre, nous faisons toujours une chose ou une autre, et nous n'observons jamais plus d'un seul résultat de toute action. Chacun des élèves a préparé un bref exposé sur le problème de la mesure. Chacun va discuter du moment, s'il existe, où le comportement quantique où tous les états sont présents cesse d'exister et où les observations donnent un résultat unique. Vous pourriez vous asseoir et écouter leurs communications, si cela vous intéresse." Cela parut à Alice une bonne occasion, et elle s'installa sur un banc et se pencha en avant pleine d'espoir.

La voix calme du Maître apaisa le bourdonnement qui montait des élèves. "La première intervention," annonça-t-il, "sera faite par l'Empereur." Le notable replet en

sous-vêtements raffinés qu'Alice avait remarqué en entrant dans la classe se leva et alla se placer en face des élèves.

Voir la Note 2

La théorie de l'Empereur : l'esprit domine la matière

"Notre hypothèse," commença-t-il en portant un regard hautain autour de lui, "est que tout se passe dans l'esprit."

"Les lois auxquelles obéissent les systèmes quantiques," continua-t-il, "la description des états physiques par des amplitudes et la superposition de ces amplitudes quand il existe plus d'une possibilité, toutes ces lois s'appliquent à tous les systèmes matériels de l'univers. Nous disons bien à tous les systèmes matériels," insista-t-il, "car Notre thèse est que cette superposition n'est pas ressentie par l'esprit conscient. Le comportement quantique gouverne le monde physique à tous les niveaux, et tout système purement matériel, qu'il soit grand ou petit, se trouvera toujours dans une combinaison d'états comportant une amplitude pour toute possibilité qui peut exister ou avoir existé. C'est uniquement lorsque la situation parvient à l'attention de la volonté souveraine d'un esprit conscient qu'un choix est effectué."

"Car l'esprit est chose étrangère aux lois du monde quantique et, dans Notre cas, les domine. Nous ne sommes nullement tenu de réaliser tout ce qui est réalisable mais, bien au contraire, Nous avons la liberté de choisir. C'est quand Nous observons une chose que cette chose alors est observée, qu'elle sait que Nous l'avons observée, que l'univers sait que Nous l'avons observée, et qu'elle demeure immuablement par la suite dans la condition où Nous l'avons observée. C'est Notre acte même d'observation qui impose à l'univers sa forme unique et définitive. Nous n'avons peut-être pas le choix de décider ce que Nous voyons, mais quel que soit ce que Nous observions, cela à cet instant devient l'unique réalité."

Il fit une pause, et son regard impérieux parcourut à nouveau la salle. Alice se trouva étrangement intimidée par son exposé autoritaire, en dépit de son singulier costume. "Par exemple, quand Nous contemplons Notre somptueuse tenue impériale, Nous observons que Nous sommes exquisément vêtu comme il se doit." Il se pencha pour s'admirer, et il fut instantanément vêtu de riches vêtements de la tête aux pieds. Sa veste et son gilet étaient noyés sous les broderies les plus fines et son manteau de velours était bordé d'hermine. "Il pourrait se concevoir que, lorsque Notre attention était détournée de Nos vêtements, ceux-ci se fussent révélés moins réels et tangibles qu'ils ne le sont maintenant. Mais s'il en avait été ainsi, maintenant que Nous les avons observés, ils apparaissent à tous de la meilleure coupe et c'est ainsi qu'ils sont en réalité."

L'Empereur releva à nouveau la tête et regarda la classe. Alice fut étonnée de voir que, si son acte d'observation avait totalement établi la riche apparence de ses vêtements, dès qu'il regardait ailleurs ceux-ci reprenaient leur aspect flou et indistinct et ses sous-vêtements au monogramme artistique réapparaissaient.

"Telle est Notre thèse. Le monde matériel dans son ensemble est véritablement gouverné par les lois de la mécanique quantique, mais l'esprit humain est étranger au monde matériel et ne souffre pas des mêmes restrictions. Nous avons la capacité de voir les choses d'une unique façon. Nous ne pouvons choisir ce que Nous allons voir, mais ce que Nous voyons devient la réalité du monde, au moins pendant la durée de Notre observation. Quand Nous avons achevé Nos observations, le monde peut bien sûr retomber dans le mélange d'états qui lui est habituel."

Il s'interrompit et regarda autour de lui d'un air satisfait. "Nous vous remercions de cet intéressant exposé," dit le Maître. "C'était réellement passionnant. Quelqu'un a-t-il une question ?"

Alice se rendit compte qu'elle en avait une, sans doute l'atmosphère de l'école l'influçait-elle. Elle leva la main. "Oui," dit le Maître en la désignant, "quelle question souhaitez-vous poser ?"

"Il y a un point que je ne comprends pas," dit Alice. Ce n'était pas la stricte vérité car il y avait beaucoup de points qu'elle ne comprenait pas et leur nombre augmentait à un rythme alarmant, mais il y avait un point précis qu'elle voulait soulever.

"Vous dites que le monde se trouve habituellement dans cette étrange superposition d'états différents, mais qu'il se réduit à un seul quand vous, en tant qu'esprit conscient, vous le regardez. Je présume que toute personne a la faculté de rendre le monde réel de cette manière, aussi que se passe-t-il avec les esprits des *autres* personnes ?"

"Nous n'avons pas l'heur de comprendre ce que vous voulez dire," répliqua l'Empereur d'un ton écrasant, mais le Maître intervint.

"Peut-être pourrais-je élargir la question de cette jeune demoiselle. Nous parlions tout à l'heure des électrons traversant les deux fentes. Supposons que je prenne une photo montrant un électron traversant l'une des fentes. Si je vous ai bien compris, vous soutiendriez que, la photo pouvant montrer quelle fente a traversé l'électron, elle devrait le montrer traversant les deux. En effet, la photo — ne possédant pas de conscience — est incapable de réduire la fonction d'onde et doit montrer une superposition des deux images. Supposons maintenant que j'effectue plusieurs tirages de cette photo, sans bien sûr les regarder. Diriez-vous que chaque tirage montrerait aussi une superposition des deux images, chaque image montrant l'électron traversant l'une des deux fentes ?"

"Oui," répondit prudemment l'Empereur, "Nous pensons que telle serait la situation."

"S'il en est ainsi et que les tirages sont envoyés à des personnes différentes, la première à ouvrir son enveloppe et à regarder son tirage imposerait donc à l'une des deux images de devenir réelle et à l'autre de disparaître ?" L'Empereur acquiesça de nouveau, timidement. "Mais en ce cas, les tirages reçus par les autres personnes devraient — eux aussi — se réduire à la même image, même s'ils se trouvent dans des villes distantes. Nous savons en effet par expérience que les différents tirages du même cliché montrent la même image que l'original. Si la première personne à regarder une copie entraînait de ce

fait une des possibilités à devenir réelle, il faudrait que cet acte affecte toutes les autres copies pour qu'elles s'accordent ensuite avec la première. Et donc la personne qui regarderait une copie dans une ville entraînerait toutes les autres copies partout dans le monde à changer pour montrer la même image. Ce serait une course étonnante : la première personne à ouvrir son enveloppe déterminerait les images de tous les tirages reçus par les autres personnes, avant même qu'elles n'ouvrent leurs enveloppes. Je pense que c'est ce que voulait dire la jeune demoiselle," conclut-il.

"Naturellement, cette considération ne présente aucun problème dans Notre cas," répondit l'Empereur, "puisque personne n'aurait l'audace de regarder une telle photo avant que Nous l'ayions d'abord examinée. Néanmoins, Nous voyons comment une telle situation pourrait se présenter aux représentants des ordres inférieurs, et en ce cas la conjoncture serait bien telle que vous la décrivez."

Alice fut tellement surprise de voir accepter cet argument en apparence ridicule qu'elle ne remarqua pas que l'Empereur était retourné à son banc et que la Petite Sirène s'était avancée. N'ayant pas de jambes, elle ne pouvait se tenir debout devant la classe, aussi s'assit-elle sur le bureau du Maître, ramenant sa queue devant elle. L'attention d'Alice revint aux exposés quand elle prit la parole.

La théorie de la Petite Sirène : les mondes multiples

"Comme vous le savez," commença-t-elle d'une voix fluide et musicale, "je suis une créature de deux mondes. Je vis dans la mer et suis également chez moi sur terre. Mais ceci n'est rien en comparaison du nombre de mondes que nous habitons tous, car nous sommes tous citoyens de beaucoup de mondes — beaucoup, beaucoup de mondes."

"L'orateur précédent nous a dit que les règles quantiques s'appliquaient au monde entier à l'exception des esprits des gens qui y vivent. Je soutiens qu'elles s'appliquent au monde entier, intégralement. Il n'existe aucune limite à l'idée de la superposition des états. Quand un observateur perçoit une superposition d'états quantiques, il faut

s'attendre à ce qu'il constate tous les effets liés aux états présents, et c'est effectivement ce qui se passe. L'observateur perçoit tous les résultats possibles, ou, plus exactement, l'observateur se retrouve lui-même dans une superposition d'états différents, états dans chacun desquels il a détecté le résultat correspondant à l'un des états possibles du système observé. Chacun de ces états initiaux est alors étendu pour y intégrer l'état de l'observateur en train de détecter cet état particulier du système."

"Nous ne ressentons pas les choses de cette façon tout simplement parce que les différents états de l'observateur n'ont pas mutuellement conscience de leur existence. Quand un électron traverse un écran percé de deux fentes, il peut passer par l'une ou par l'autre. Vous observez l'une ou l'autre situation de manière purement aléatoire. Vous avez peut-être vu passer l'électron par la gauche, mais il existe un autre vous-même qui l'a vu passer par la droite. À l'instant où vous observez l'électron, vos deux versions se séparent, une pour chaque résultat. Si ces deux versions ne se réunissent plus, aucune n'a conscience de l'existence de l'autre. Le monde s'est séparé en deux mondes, chacun contenant une version légèrement différente de vous. Bien entendu, dans chacun de ces mondes, vous allez raconter votre version des faits à d'autres personnes, et vous allez ainsi induire des versions différentes de ces personnes. L'univers entier est ainsi dupliqué. Deux versions de l'univers sont produites par cette observation simple, mais des observations plus complexes peuvent engendrer un nombre de versions beaucoup plus élevé."

"Mais cela devrait arriver très souvent," ne put s'empêcher d'intervenir Alice en coupant le flot du discours de la Petite Sirène.

"Cela arrive constamment," répondit tranquillement la Petite Sirène. "Chaque fois qu'une mesure peut conduire à des résultats différents, toutes ces possibilités sont effectivement observées et le monde se sépare en un nombre approprié de versions. Les mondes ainsi séparés restent en général distincts et divergent sans jamais avoir mutuellement notion de leur existence réciproque, mais il arrive parfois qu'ils se rejoignent et donnent alors lieu à des effets d'interférence. C'est la présence de ces effets

d'interférence entre états différents qui montrent qu'ils peuvent coexister, et qu'ils coexistent vraiment."

La Petite Sirène se tut et se mit à peigner les innombrables mèches de ses longs cheveux en les laissant retomber, côte à côte mais séparées, sur ses épaules.

"Mais cela impliquerait un nombre effarant d'univers, aussi nombreux que les grains de sable sur toutes les plages de la terre," protesta Alice.

"Oh, il y en a beaucoup plus que cela, infiniment plus !" rétorqua la Petite Sirène d'un ton sans réplique. "Bien plus, bien plus..." continua-t-elle rêveuse, "bien..."

"Cette théorie," coupa le Maître, "possède l'avantage d'être très économique quant à ses hypothèses de départ, mais d'être particulièrement prodigue quant au nombre d'univers !" Il appela ensuite l'orateur suivant. C'était le Vilain Petit Canard, qui dut grimper sur le bureau du maître pour être visible de tous.

La théorie du Vilain Petit Canard (c'est trop compliqué)

Le Vilain Petit Canard commença son discours, et Alice remarqua que non seulement il était fort laid mais qu'il avait aussi très mauvais caractère. Son homélie était à ce point émaillée de couacs et de @#%\$\$ qu'il était bien difficile de comprendre ce qu'il disait. Dans la mesure où elle saisissait le sens de ses paroles, Alice crut comprendre qu'il soutenait qu'une superposition d'états n'était possible que pour des systèmes de petite taille ne contenant que quelques électrons ou atomes. Il disait qu'il n'était nécessaire de parler de superposition d'états qu'en raison de l'existence d'interférences, attendu qu'un état unique n'aurait rien avec quoi interférer.

Il soutenait ensuite que personne n'avait jamais décelé d'interférence dans un système complexe formé de nombreuses particules. Mais comme les interférences sont détectées dans des systèmes simples de quelques particules et que la superposition d'états y est donc possible, les gens imaginent qu'il doit en être de même pour les systèmes

complexes, un canard par exemple. Qu'il soit @#%\$\$ déshonoré s'il croyait pareille ineptie.

Un canard contient un grand nombre de @#%\$\$ d'atomes, poursuivit-il et avant que des états superposés interfèrent, tous les atomes dans chacun de leurs états possibles devraient se combiner avec les atomes appropriés dans l'état correspondant. Il y a tant d'atomes que c'est @#%\$\$ hautement improbable. Les effets se compenseraient en moyenne et aucun résultat net n'émergerait. Dans ces conditions, demandait-il, comment pouvait-on être @#%\$\$ sûr que les canards soient dans une superposition d'états ? Répondez à cela, si vous êtes si @#%\$\$ intelligent. Toute cette histoire de superposition d'états est sans doute @#%\$\$ belle et bonne pour quelques particules à la fois, mais elle se tarit bien avant d'en arriver aux canards.

Il continua en disant qu'il savait fort bien quand il voyait une @#%\$\$ chose et quand il ne la @#%\$\$ voyait pas. Il savait bien, lui, qu'il ne se trouvait pas dans une @#%\$\$ superposition d'états, il ne se trouvait que dans une seule, pas de chance. Ergo, quand il changeait, continua-t-il avec obstination, il passait tout bonnement d'un état bien défini à un autre. Le changement était irréversible, et il n'était pas question de revenir en arrière et de se combiner avec d'autres états. Rien ne pourrait jamais @#%\$\$ interférer avec lui, conclut-il. À ce point, les couacs et les bredouillis devinrent si précipités qu'Alice ne fut guère surprise de voir sa colère monter au point qu'il finit par tomber de la table et disparaître à sa vue.

Il y eut une pause marquée par un moment de silence. Puis un long cou gracile émergea suivi d'un corps d'un blanc immaculé. C'était un cygne.

"Comme vous êtes beau," s'exclama Alice, "puis-je vous caresser ?"

Le cygne siffla furieusement dans sa direction et battit des ailes, menaçant. Alice conclut que le changement avait peut-être été irréversible, mais que son caractère ne s'était pas amélioré.

Il y eut alors un remue-ménage au fond de la classe, et Alice entendit une voix crier : "Arrêtez ces petits jeux, vous avez tous tort !" Elle regarda dans cette direction et reconnut la haute silhouette qui s'avavançait avec colère entre les bancs. C'était le Mécanicien Classique. Il avait beaucoup de mal à se frayer un chemin à cause du billard électrique qu'il traînait derrière lui, un modèle ressemblant à ceux qu'Alice avait déjà vu dans des cafés (sans doute y en a-t-il plus encore dans les bars, mais Alice était trop jeune pour fréquenter ces lieux).

Le Mécanicien Classique (des rouages dans les rouages)

Le Mécanicien Classique vint installer sa machine sur le bureau du maître. Elle portait une plaque gravée "Electron Interceptor", et elle se composait d'un plateau incliné avec deux fentes en haut à travers lesquelles on pouvait envoyer des particules et une rangée de poches alignées en bas et marquées alternativement "Gagné" et "Perdu". La surface du plateau était décorée de façon extravagante, mais ne présentait aucun des obstacles ou flippers qu'Alice avait vu sur d'autres billards électriques.

"Vous vous leurrez tous," commença le Mécanicien Classique avec une grande assurance. "J'ai examiné ce dispositif avec la plus grande attention. Il s'agit essentiellement d'une expérience ordinaire d'interférence à deux fentes, et je pense avoir compris ce qui se passe en réalité."

Alice constata que, hormis sa décoration délirante, il s'agissait effectivement d'une version miniature de l'expérience à laquelle elle avait assisté dans le *Salon de pensée* des Mécaniciens. Le Mécanicien Classique en fit rapidement la démonstration en lançant un flot d'électrons à travers les deux fentes. Du moins Alice supposa-t-elle qu'ils étaient passés par les fentes puisque c'était le seul passage, mais elle ne pouvait voir clairement les électrons avant leur arrivée au bas du plateau. Comme elle en avait désormais pris l'habitude, elle vit les électrons se regrouper en piles séparées par des intervalles où très peu d'électrons étaient détectés. Alice remarqua que les piles correspondaient étroitement aux poches marquées "Gagné".

"Vous pouvez constater la présence de l'interférence, et vous allez soutenir que cela prouve que les électrons sont d'une certaine façon passés par les deux fentes à la fois, de sorte que la combinaison des amplitudes correspondant à chaque fente produise la figure d'interférence que nous voyons. Je vous affirme maintenant que chaque électron est en fait passé par une seule fente, de manière parfaitement rationnelle. L'interférence est due à des *variables cachées*."

Alice eut un peu de mal à suivre exactement ce qui se passa alors. Il lui sembla que le Mécanicien Classique retirait du plateau une sorte de housse qu'elle n'avait pas remarquée jusque-là. Quoi qu'il en soit, il vit que le plateau était maintenant creusé de profonds sillons s'écartant des deux fentes. "Et voilà ! Les variables cachées !" s'exclama le Mécanicien.

"Elles ne sont guère cachées !" nota Alice, critique, en regardant la surface complexe maintenant révélée.

"Ma thèse," commença le Mécanicien en ignorant ostensiblement l'interruption d'Alice, "est que les électrons, tout comme les autres particules, se comportent de manière absolument rationnelle, et même parfaitement classique, comme les particules dont j'ai l'habitude dans le Monde classique. La seule différence ici est que les particules ne sont pas seulement soumises aux forces habituelles mais également à une force quantique particulière, que j'appellerai *l'onde pilote*. C'est elle qui cause les étranges effets que vous attribuez à une interférence. Lors de ma démonstration, chaque électron ne passe en réalité que par l'une des deux fentes puis se déplace sur le tableau d'une manière respectable et prévisible. Le caractère aléatoire ne vient que des directions et des vitesses que possèdent au départ les électrons. Quand ils rencontrent les sillons que vous voyez là, ce potentiel quantique les défléchit comme une roue de bicyclette prise dans un rail de tramway, et la majorité des électrons termine dans l'une des piles. Voilà l'origine de votre prétendu effet d'interférence."

"Eh bien," dit le Maître, "votre théorie me paraît très intéressante, extrêmement intéressante dirais-je même. Cependant, si je puis me permettre, il me semble que vous avez résolu les difficultés que vous causait le comportement des électrons au prix d'un comportement des plus bizarres de votre *onde pilote*."

"Pour que votre onde pilote provoque les effets que nous attribuons à des interférences, elle doit en effet être affectée par des événements qui ont lieu en des lieux très divers. Si une troisième fente s'ouvrait dans votre dispositif, l'onde pilote sur les particules devrait changer bien qu'aucune particule ne soit passée par cette fente. Cela est indispensable puisque la figure d'interférence est différente pour trois fentes au lieu de deux, et que votre force doit reproduire cet effet. De plus, votre onde pilote, ou votre réseau de forces quantiques, doit être très complexe. Dans votre théorie, il n'existe rien d'analogue à la réduction de la fonction d'onde décrite par la théorie quantique habituelle, et votre onde pilote doit par conséquent être influencée par tous les événements qui auraient pu se produire dans le passé. Cela évoque la théorie des mondes multiples que nous a présenté la Petite Sirène. Dans votre théorie, vous dites que ce qui est observé dépend de la manière dont se déplacent les particules quand elles sont affectées par l'onde pilote qui conserve l'information de tous les événements possibles, sans exception. Cette onde pilote est donc extrêmement complexe, analogue à la somme de tous les mondes dans la théorie des mondes multiples, même elle n'influe pratiquement pas sur les particules la plupart du temps."

Il existe de nombreuses "réponses" à la question de la mesure en mécanique quantique, mais aucune n'est universellement acceptée. En pratique, la mécanique quantique est généralement utilisée pour calculer les amplitudes et les différentes probabilités pour un système physique, dont on se sert ensuite pour prévoir le comportement d'un grand nombre de systèmes atomiques simples, sans trop se préoccuper de ce qui se passe pour un système unique. Les prédictions moyennes pour cet ensemble de systèmes sont comparées aux résultats, sans trop se préoccuper non plus de la façon dont les mesures

ont été exécutées. La réponse concrète au problème de la mesure est "Ferme les yeux et calcule". L'interprétation de la mécanique quantique est sans doute délicate, mais on ne saurait nier qu'elle est très efficace.

"L'onde pilote de votre théorie gouverne le comportement des particules, mais le mouvement concret de ces particules n'a aucune influence sur elle : elle dépend uniquement des mouvements qu'elles *auraient pu* accomplir. Aucune symétrie d'action et de réaction n'existe donc entre les particules et l'onde pilote. Cela devrait inquiéter un Mécanicien Classique tel que vous. Vous ne voulez pas contrevenir à la loi de Newton qui stipule l'égalité de l'action et de la réaction, n'est-ce pas ?"

À ce moment, le Mécanicien Quantique, qui avait suivi son collègue mais était tranquillement resté au fond de la classe, s'approcha et prit son acolyte par le bras. "Venez !" dit-il. "Vous ne souhaitez certainement pas vous retrouver accusé d'Hérésie Classique pour avoir renié les Lois de Newton. Tout ce débat rhétorique sur ce que l'électron fait ou non en réalité ne nous concerne pas. Nous sommes Mécaniciens. Et en tant que Mécanicien, ma responsabilité première est que les Lois Quantiques fonctionnent, et fonctionnent bien. Quand je calcule l'amplitude d'un certain processus, elles me disent ce qui peut arriver, elles me donnent les probabilités des différents résultats possibles, et le font de manière précise et fiable. Je ne me soucie guère de ce font les électrons quand je ne les regarde pas, du moment que je peux prédire ce qu'ils vont probablement faire si je les regarde. C'est pour cela que je suis payé."

Il entraîna doucement son collègue résigné vers le côté de la classe et, se tournant vers Alice, lui demanda : "Avez-vous appris tout ce que vous souhaitiez sur les observateurs et les mesures ?"

"À vrai dire," répondit Alice, "j'ai les idées encore plus confuses que lorsque je suis arrivée ici."

"C'est normal !" coupa le Mécanicien Quantique d'un ton pontifiant. "Je m'y attendais. Vous avez appris tout ce que vous pouvez apprendre. Venez maintenant avec moi voir les *résultats* de la théorie quantique. Laissez-moi vous guider au Pays des Quanta."

Notes

1. Le "problème de la mesure" vient de ce que la sélection d'une possibilité parmi plusieurs et la réduction de toutes les autres amplitudes est un comportement très différent des autres comportements quantiques, et la façon dont elle se passe est loin d'être évidente. La manière la plus simple de poser le problème est la suivante : comment est-il possible de mesurer quelque chose ? L'interprétation la plus courante de la mécanique quantique est que, si plusieurs possibilités sont ouvertes, une amplitude existe pour chacune d'elles et que l'amplitude d'ensemble du système est leur somme, ou superposition. Si, par exemple, une particule peut traverser plusieurs fentes, l'amplitude d'ensemble contient une composante pour chacune des fentes, et ces composantes peuvent interférer. Si le système est abandonné à lui-même, les amplitudes évoluent d'une façon régulière et prévisible. Quand une mesure est effectuée sur un système dont l'amplitude contient des composantes correspondant aux différentes valeurs possibles de la quantité mesurée, la théorie garantit qu'une seule valeur est observée, avec une certaine probabilité. Immédiatement après la mesure, cette valeur est une quantité connue et la somme des composantes se réduit à l'unique composante correspondant au résultat observé.
2. La description orthodoxe de la mesure en mécanique quantique présente l'inconvénient que le processus de mesure lui-même semble incompatible

avec le reste de la théorie quantique. Si cette théorie est une description correcte des atomes, comme cela semble le cas, et si le monde est entièrement composé d'atomes, la théorie devrait s'appliquer au monde entier et à tout ce qu'il contient. Cela inclut les instruments de mesure. Quand un système quantique peut donner plusieurs résultats, son amplitude est une somme d'états correspondant à chacun des résultats. Si le système de mesure est lui-même un système quantique et qu'il *peut* mesurer plusieurs valeurs différentes, il ne peut sélectionner tout simplement l'une d'entre elles. Il doit se trouver dans un état qui soit la somme de tous les résultats possibles qu'il pourrait observer, et par conséquent aucune observation unique ne peut être faite. De cela, il semble que vous ne puissiez conclure que :

- soit il est impossible de jamais rien observer ;
- soit la théorie quantique n'a aucun sens.

Aucune des deux possibilités n'est réellement défendable (même si la seconde vous paraît tentante). Nous *savons* fort bien que nous observons des événements, mais nous ne pouvons pas non plus nier que la théorie quantique a un palmarès impressionnant de succès dans sa description des observations, sans le moindre échec, et qu'il n'existe aucune théorie de remplacement. Nous ne pouvons pas l'abandonner d'un cœur léger.