

Salon quantique

Version du Grib de M.-S. Detoef (21/12/89) relu par Y. Roussel  
1/1/90

Premier-né du salon de Mme du Deffand, ce groupe est né du questionnement de quelques esprits curieux, mais sans culture scientifique, sur le vaste thème de la réalité.

Ils découvrent \*(note inchangée) que le monde de l'atome révèle une réalité déconcertante, "folle", qui bouscule toutes les conceptions scientifiques antérieures. L'ordre qui règne dans l'Univers est plus subtil qu'on ne le pensait. Les objets de l'infiniment petit sont doués d'ubiquité; aux mesures précises, aux prévisions certaines, succèdent les probabilités; le hasard intervient : Dieu jouerait-il aux dés ?

Cette réalité déroutante, les physiciens ont su la maîtriser en inventant un langage mathématique de grande complexité, la mécanique quantique. Elle est, disent-ils, un outil formidablement efficace, à l'origine de multiples découvertes modernes, du transistor au super-ordinateur, des fondements de la chimie à l'énergie nucléaire.

Elle introduit aussi, nous dit-on, à une vision révolutionnaire de la réalité, aux conséquences encore insoupçonnées. Mais, aux questions du salon : "Qu'en est-il de la réalité ?", les physiciens, pour la plupart, refusent aujourd'hui de répondre. Ils s'en tiennent à l'outil performant qu'ils ont créé, et récusent toute interprétation de leur découverte, toute extrapolation vers ce qui, pour eux, relève de la philosophie.

Que disent alors les philosophes de la réalité ? Prennent-ils en compte les acquis de la science ? Celui qui n'est expert ni en science, ni en philosophie, ne sait quelle parole écouter, quel lieu choisir où mener le débat.

Les habitués du salon, assistés d'un jeune lettré scientifique, mettent peu à peu le doigt sur un aspect de notre univers technique, aux savoirs cloisonnés : A chacun son savoir. Entre science et philosophie, autrefois soeurs, la faille aujourd'hui est profonde. Pourront-ils glaner quelques lumières sur l'insaisissable mécanique quantique ? Elargissant leur regard, parviendront-ils à mieux cerner le champ d'action et les limites de la science, tout en s'émerveillant de la complexité et la splendeur multiple du réel ?

Que faire de notre travail sur la MQ ?

J'avoue être embarrassée pour répondre à cette question. La solution facile serait de dire : une exposition dans laquelle le visiteur pourrait regarder une vidéo et en sortant, acheterait un livre sur la MQ Mais qu'est-ce-que cela signifie ? Bien sûr, au travers de nos "grib", nous avons essayé d'écrire ce que nous avons tenté d'apercevoir de l'univers de l'infiniment petit mais je ressens une frustration.

Je l'ai souvent dit, j'aimerais glisser dans ce monde telle Alice mais outre la difficulté d'y pénétrer, je me sens personnellement peu disponible. Vie professionnelle, familiale, sociale ne me laissent pas suffisamment de temps pour travailler sérieusement un domaine qu'intuitivement je sens passionnant Je voulais repasser la main ou plutôt le crayon au physicien et lui servir de "garde-fou"chaque fois que son propos deviendrait trop difficile pour le néophyte. Je voulais entendre le philosophe répondre aux questions métaphysiques que la MQ pose et me situer dans ce discours. Mais mes "compagnons de route" de DDHTMQ m'ont vite mis en garde : nous aurions un nouveau livre de vulgarisation qui ne serait pas le reflet de notre cheminement et... c'est vrai ! Alors, continuer ce travail, sûrement... mais quel en sera l'aboutissement, je ne suis pas en mesure de le dire maintenant. J'ai des bribes de notions. Je sais également que j'aimerais m'inspirer du travail du GLACS sur la réalité .

\* \* \*

La recherche des physiciens me rend admirative et songeuse. Admirative : Le déploiement d'intelligence de l'homme pour comprendre est fascinant. Songeuse car j'ai parfois l'impression d'une partie de "bras de fer" entre l'homme qui arrache peu à peu à la nature son mystère et cette même nature qui se révèle toujours plus étrange, plus complexe

Il y avait un Interdit entre le Ciel et la Terre, il y a un In-compréhensible dans le mode d'être de l'infiniment petit.

Je me suis dit "émerveillée" par les quelques lueurs sur la MQ que ces derniers mois m'ont apportée : c'est le côté "humain" de la matière qui m'intéresse, sa dualité, son indéterminisme, les interactions entre ses composants.

Le cercle "vicieux" de la Mécanique Quantique

ou les étranges poupées russes.

Quand j'essaie de formuler ce que je pense avoir retenu des caractéristiques de la M.Q., il me vient à l'esprit l'image de ces poupées russes qui s'emboîtent : chaque propriété en entraîne une autre qui à son tour... Mais il faudrait aussi admettre que toutes les poupées aient la même dimension! En effet, pour un esprit humain normalement constitué et qui a tendance à classer et organiser ce qu'il sait, la M.Q. est particulièrement frustrante. On va de paradoxe en paradoxe, on a l'impression d'un cercle où chaque bizarrerie à la fois entraîne et découle d'une autre bizarrerie. Tout se tient, tout est lié et pour celui qui essaie de comprendre et de se représenter ces caractéristiques, le sentiment d'étrangeté frise la folie: "elles (les particules) sont toutes dingues" Feynman.

Au risque d'y perdre l'esprit, entrons dans la ronde des propriétés et essayons de passer de l'une à l'autre.

L'objet quantique est à la fois onde et corpuscule, ce qui fait qu'on ne peut ni localiser les corpuscules, ni suivre leur trajectoire, donc les objets quantiques sont localisés d'une façon floue : il y a probabilité de présence. Il faut donc admettre, dans des limites restreintes certes, une certaine indétermination, un principe d'incertitude. L'introduction de ce principe d'incer-

titude (un électron peut être ici ou là, peut passer par 2 trous à la fois..) marque la fin du déterminisme : on ne peut plus prévoir d'une façon certaine l'évolution d'un système à partir de données initiales. Le certain est remplacé par le probable. "Il faut nous habituer aux ombres" Bohr. En effet dans le monde de l'infiniment petit on ne peut savoir où se trouve un électron que si on l'observe. Il faut l'observer pour qu'il se localise. Cependant tous les électrons étant rigoureusement identiques, on ne sait jamais avec certitude lequel on observe, il y a perte "d'identité" (on pourrait parler de comportement collectif). A cela s'ajoute une autre propriété encore plus mystérieuse, la "corrélacion des particules entre elles" : deux particules émises par un même noyau auront le même comportement à distance : si on modifie l'une, l'autre se modifie. Quelle explication y-a-t-il à cela ? Y-a-t-il une caractéristique inconnue ? transmission de pensée ? (→ voir "vieux couples..).

Encore plus étonnant est la caractéristique suivante : nous avons vu que pour localiser un électron il faut l'observer. Mais le fait d'observer modifie la réalité que l'on observe.

Dans le cadre de la physique classique on distingue l'objet observé et l'observateur. Le scientifique observe le monde, le décrit, donc s'en distingue. En physique quantique tout se passe différemment. En effet "à jamais inséparable de la chose qui voit est la chose vue". La mesure perturbe l'objet observé et on ne peut savoir ce qu'il est en dehors de l'observation. D'autre part la manière dont on l'observe, la "question posée" influence le résultat. Il y a donc interaction entre l'objet observé, le moyen utilisé et l'observateur. Pour connaître la position d'un électron on le bombarde de photons qui ont à peu près la même taille et donc agissent sur lui (c'est comme si on projette une boule de billard sur d'autres boules, elle les déplace donc modifie leurs positions, donc on ne peut pas connaître à la fois la vitesse et la position. Si on connaît la position, l'électron a été projeté et on ignore sa vitesse... La particule en soi est inaccessible, elle n'est que ce que nous observons d'elle (la réalité garde une part de mystère). On étudie seulement l'ensemble des relations entre l'observateur, l'objet observé et l'outil de mesure. Entre ces trois agents, il y a une mutuelle dépendance. On a pu dire que l'objet quantique est un "événement".

Synthèse des interviews réalisées avec Michel Crozon (revue avec lui) :

## **La mécanique quantique**

*par Maité Genoble, Dominique Polad*

### **Nos objectifs et notre démarche**

Bien que nous ne possédions aucune connaissance scientifique, nous avons essayé d'assimiler, dans la mesure du possible, ce qu'est la mécanique quantique. Nous avons cherché à l'intégrer à notre bagage culturel afin de pouvoir, dans un deuxième temps, en parler avec nos mots, de façon simple et rigoureuse, en essayant d'en dégager les principes

Pour nous aider, nous avons demandé à un physicien, Michel Crozon, de bien vouloir répondre à nos questions. Après trois interviews, nous tentons de mettre par écrit quelques points sur la mécanique quantique. Ce texte constitue une première ébauche et reste complètement ouvert à la critique.

Aux termes de ces premiers travaux, il nous faut toutefois accepter que :

- la physique quantique (1) oblige à un mode de pensée différent du nôtre, mode de pensée qui s'appuie sur des paradoxes (nous essaierons d'en dégager quelques-uns), il faut rentrer dans une autre logique ;
- elle semble être un outil d'explication de la réalité, ayant permis une rupture dans le champ des connaissances, (en particulier dans des domaines scientifiques comme la biologie, la chimie, la physique, l'astrophysique...) ainsi que des progrès technologiques importants tels que transistors, ordinateurs, lasers, ....

Lorsqu'on parle de mécanique quantique, ou à la lecture d'ouvrages de vulgarisation sur le sujet, on s'aperçoit que ce fut une découverte tout à fait capitale pour l'histoire des sciences, qu'elle a transformé le mode de pensée des physiciens et des chercheurs.

Selon eux, "c'est un outil formidablement opérationnel" qui permet de rendre compte de la réalité; sans cette théorie, le monde actuel serait incompréhensible.

**Nous nous sommes donc posées la question de savoir en quoi la mécanique quantique permet de rendre compte de la réalité.**

### **Les difficultés**

Lorsque nous avons commencé à travailler sur le sujet, nous nous sommes heurtées à un premier barrage en provenance des physiciens : ceux-ci nous ont expliqué que nous n'allions rien comprendre car nous avons besoin du formalisme mathématique.

(1) Les expressions physique quantique et mécanique quantique sont employées dans ce texte dans un sens équivalent.

Passant outre, sans aucun doute trop rapidement, nous nous sommes jetées à l'eau avec naïveté et bonne volonté.

Là, nous nous sommes trouvées confrontées à un deuxième barrage : on lit, on écoute, on a l'impression de comprendre et puis, ça file entre les doigts. En effet, indubitablement, il s'agit d'une forme de pensée inhabituelle et qui ne correspond pas à notre logique. Il faut accepter de passer dans un autre monde, dans un autre niveau de réalité, de passer au travers du miroir, telle Alice.

On ne pense pas ainsi naturellement, cette théorie nous oblige à aller contre l'évidence de nos sens, contre nos intuitions.

C'est une théorie qui ne se dit pas avec des mots. C'est pourquoi les physiciens utilisent le langage mathématique qui leur permet d'émettre et de vérifier leurs hypothèses, de décrire la réalité qu'ils appréhendent.

### **Un petit peu d'histoire**

La théorie de la mécanique quantique a été le fruit de grands débats qui ont commencé au début du 20ème siècle et qui se sont clos sur un consensus -au moins provisoire- dans les années 1980, autour des expériences d'Aspect.

Il n'est pas dans notre propos de retracer la succession des polémiques, ni de rendre compte, dans le détail, des débats et des expériences menées par les physiciens pendant plus de 50 ans. Nous rappellerons simplement quelques points qui ont marqué les débuts de la théorie.

Jusqu'à la fin du 19ème siècle, le monde s'expliquait sur le modèle des théories de Newton. Ce dernier, à la fin du 17ème siècle, découvrit grâce à la gravitation les lois du mouvement. Prenant appui sur ces découvertes, une nouvelle philosophie vit le jour que l'on appela le déterminisme : l'Univers était une sorte de grande horloge, où rien n'est laissé au hasard. Tout comme dans le mouvement d'une horloge, l'avenir est intégralement déterminé par le passé. L'univers existe indépendamment des désirs et des finalités humaines. Une cause produit un effet qui est déjà prédéterminé par la grande horloge de l'univers, rien, ni personne, ne peut le changer.

Cette vision rassurante de l'Univers s'est trouvée confrontée à un problème que la science ne savait pas résoudre :

" La matière au niveau atomique se comportait d'une façon imprévue, incontrôlable, dont la physique déterministe, newtonienne était incapable de rendre compte" (1).

(1) "L'univers quantique, Des quarks aux étoiles". Heinz Pagels  
InterEditions p. 17

Les phénomènes macroscopiques pouvaient être expliqués par la physique classique mais l'univers du tout petit devenait incompréhensible et semblait obéir à d'autres lois.

**L'analyse de l'infiniment petit a permis de remettre en cause tous les postulats précédemment acceptés. C'est une certaine vision du monde qui va s'écrouler.**

Ainsi à partir du regard sur le monde de l'infiniment petit, la physique va remettre en cause les lois du monde macroscopique. Elle sera obligée de contester les règles du déterminisme et l'idée d'une réalité objective, indépendante de l'observation.

### **Les débuts**

En 1900, Max Planck jette les bases de la théorie quantique. (C'est l'année où Einstein obtenait son diplôme à l'université). Le terme de quantique vient du mot quantum qui signifie, petite quantité d'énergie (pour mémoire, on commence à parler de quanta à partir des dimensions des molécules, mais pour la simplicité de l'exposé, nous resterons dans le domaine de l'atome).

Avant Planck, la plupart des physiciens voyaient le monde et l'univers sous forme de continuum (1), pour eux les différentes formes de la matière se mêlaient les unes aux autres sans à coup, en toute harmonie.

L'hypothèse de Planck vise à substituer à la vision continue d'un objet, celle d'une vision discontinue, discrète. De façon analogue, lorsque l'on observe un tas de blé, vu de loin, il forme un tout lisse et uni, si l'on se rapproche, on perçoit une infinité de grains nettement distincts ou discrets. Une autre image : celle de la photo constituée d'une infinité de points (la trame).

A la suite des travaux de Planck, Einstein se penche sur l'analyse de la lumière et sur la composition de la matière. Dans ses articles, en 1905, il émet l'hypothèse que la lumière se comporte à la fois comme une onde et comme une particule.

Jusqu'à cette époque, les physiciens pensaient que la lumière était un phénomène purement ondulatoire. La physique séparait les ondes lumineuses d'un côté et de l'autre les corpuscules. Les lois qui s'appliquaient à l'étude des ondes et des corpuscules étaient profondément différentes. Einstein réunit les lois de la lumière et celle de la matière. A partir de ses travaux, il arrive à la conclusion que la lumière est à la fois particule et onde.

(1) Pour les physiciens, un continuum signifie matière qui peut être divisible à l'infini.

## **Ces découvertes vont faire naître une nouvelle théorie qui va modifier la pensée scientifique : la théorie quantique**

Bien que cette théorie existe depuis 50 ans, qu'elle ait suscité des polémiques célèbres parmi les scientifiques, curieusement, ces débats ont eu peu d'impact public et n'ont pas laissé beaucoup de traces, du moins en France. Elle reste mal connue car elle est étrange et repose sur une succession de paradoxes, difficilement communicables.

### **Les paradoxes de la physique quantique**

L'émergence de chacun des paradoxes de la physique quantique en fait naître un autre et on ne sait jamais ce qui découle de quoi. Lorsque l'on doit s'exprimer autrement qu'avec des mathématiques, on doit donc abandonner l'idée d'un enchaînement logique des propriétés. On se trouve en face de poupées russes qui s'emboîtent les unes dans les autres mais qui curieusement auraient la même taille : ou petites ou grandes ou les deux en même temps.

### **Ondes et corpuscules**

Dans la physique classique, on distinguait les corpuscules des ondes :

- un corpuscule est défini par une masse, une position, une vitesse et une direction, telle une boule de billard se déplaçant sur son tapis.
- une onde est un mouvement qui se propage dans la matière, telle une vague dans la mer.

L'objet quantique, quant à lui, est à la fois onde et corpuscule. C'est à la fois, le bateau et la vague, la balle qu'on lance et la corde qui vibre.

Ainsi, il a les propriétés des deux éléments de base qui le constituent. L'électron, par exemple, a une masse et un impact comme la boule de billard et pourtant, lorsqu'il se déplace, il se comporte comme une onde.

A la différence d'une boule de billard dont on pourrait déterminer la trajectoire, le caractère ondulatoire de l'électron empêche de connaître exactement sa trajectoire.

### **Délocalisation, Indétermination**

Obéissant à cette réalité paradoxale, on ne peut ni localiser les corpuscules, ni suivre leur trajectoire.

On dira donc que les objets quantiques sont localisés de façon floue : chaque électron est un peu ici et un peu ailleurs. Un électron peut se trouver en plusieurs endroits à la fois. Par exemple, si on place un électron dans le fond d'une tasse, donc a priori dans un endroit isolé, on peut le retrouver à l'extérieur de cette barrière. Ou encore, si l'on imagine une mitrailleuse quantique qui projetterait des électrons sur une plaque percée de deux trous, on ne pourra jamais savoir par quel trou passent les électrons.

Comme le rappelle R. Feymann: "La nature, elle-même, ne sait pas par quel trou va passer l'électron". (1)

En fait, il faut admettre que chaque électron passe par les deux trous à la fois. L'objet quantique à la différence de ce que dit la chanson, n'est pas un furet, il peut passer par ici et par là, en même temps, être ici et/ou là, jusqu'au moment où il sera observé. A ce moment là seulement, on le trouvera en un point précis.

**Perte de l'individualité et effets corrélés**

La notion d'individualité en mécanique quantique n'a plus de signification. En effet, on ne peut jamais savoir quel est l'électron que l'on observe car ils sont tous rigoureusement identiques. Les électrons sont indiscernables les uns des autres. Lorsque l'on observe un électron projeté sur d'autres, on ne pourra jamais savoir lequel est lequel. Ils se confondent tous.

A cette "perte d'identité" ou "perte d'individualité", s'ajoute une propriété étonnante : la corrélation des particules entre elles.

Par exemple, si l'on prend deux photons émis par un même noyau, que ceux-ci s'éloignent l'un de l'autre dans des directions opposés; chaque photon sera isolé et pourtant les deux séparés constituent un ensemble unique. "Chacun vit son destin mais leurs destins restent liés". (2)

En d'autres mots, si l'on "touche" à l'un, l'autre, sans qu'il y ait eu échange de message, sera aussitôt "modifié".

**Principe d'incertitude**

En physique classique ou déterministe, une cause donnée produit un effet.

En physique quantique, cette règle ne s'applique plus, on la remplacera par : une cause produit une classe d'effets ou un ensemble d'effets possible. L'objet quantique introduit l'idée de la probabilité des conséquences. Cette propriété remettrait donc en cause les idées de causalité et du déterminisme.

En fait, la causalité semble toujours exister, mais elle est modulée. Contrairement à l'idéal de Laplace qui pensait que si l'on connaissait toutes les variables, on pourrait calculer le déroulement passé et futur de l'Univers, la mécanique quantique montre que la réalité va choisir à chaque instant et donc qu'elle n'est pas prédéterminée à l'avance.

Néanmoins, si la localisation ou la trajectoire de l'électron pour reprendre notre exemple précédent, n'est pas entièrement prévisible, on peut cependant calculer la répartition " des possibilités de présence".

Les objets quantiques, en l'occurrence, l'électron, n'obéissent pas de façon absolue aux lois du hasard. Entre une répartition aléatoire et une trajectoire linéaire, on les trouvera dans un champ de probabilités aux contours définis.

(1) La nature de la physique, Richard Feymann p. 174 Ed. Le Seuil : collection Science ouverte, Point

(2) Michel Crozon, Interview du 22-2-88

On dira alors que l'électron est décrit à l'aide d'une onde de probabilités. Cette situation d'indétermination relative se complique d'une autre particularité :

- lorsque l'on observe une particule, on ne pourra jamais savoir, en même temps, avec une extrême précision, quelle est sa position et sa direction. Si l'on mesure sa direction, on ne peut connaître sa position et inversement. Cette propriété constitue une des lois structurelles de l'univers. "C'est une propriété de fond, elle est inexplicable, mais c'est un fait qui a été mille fois corroboré, c'est un fait de base. Plus on est précis dans la détermination de l'une de ses grandeurs, plus on sera imprécis sur l'autre." (ibidem, Michel Crozon)

Ce paradoxe constitue une autre facette de la mécanique quantique. Nous aurions pu, aussi bien, commencer notre exposé par l'énoncé de cette propriété.

### **L'observation modifie la réalité**

En physique classique, on pensait que la réalité existait indépendamment de l'observation. A partir de ce postulat, le scientifique était un observateur impartial qui allait voir ce qui se passait dans la réalité.

"La réalité est quelque chose, de bien plus mystérieux que ce que nous avons toujours pensé et (que ce ) qu'on a appelé pendant tout le 19ème siècle, le postulat de l'objectivité absolue". Hubert Reeves (1)

La physique quantique a remis en cause ce postulat, en démontrant qu'il était partiellement faux.

En effet, lorsque l'on observe des particules, cette observation va modifier leur comportement car pour observer un objet quantique, il va falloir lui envoyer de la lumière (c'est à dire, le bombarder de photons). L'émission de ces photons va perturber le comportement de l'objet observé. Le physicien ne connaît de la réalité que ce qu'il en observe.

En outre, la nature de l'observation (ou en d'autres termes, la façon dont il pose la question) modifie cette réalité. La réponse qu'il obtient est donc induite, en partie, par la manière dont il pose la question.

L'objet quantique ne se manifeste qu'observé, il n'a pas de réalité intrinsèque, indépendante de l'observation. On ne sait pas comment se comporte la réalité quand on ne l'observe pas. Et d'ailleurs, on pourrait se demander quelle est la réalité de l'objet quand on ne l'observe pas ?

L'idée que la réalité interagit avec l'observateur reste sans doute celle qui est la plus difficile à admettre et la plus riche, à notre sens, de conséquences, au plan philosophique :

Grand débat qui dépasse largement les physiciens et qui n'a pas la place qu'il devrait avoir. Pourquoi ?

(1) Océaniques: FR 3, 14 septembre 1987