13 REMARQUES SUR DIVERS SUJETS DE PHYSIQUE THÉORIQUE

Par M. Louis de BROGLIE

manuscrit remis le 4 Mai 1976

I - DANGER DES REPRESENTATIONS ABSTRAITES.

La physique théorique utilise depuis longtemps des représentations abstraites. Tels sont l'espace de configuration d'un système, l'extension-en-phase, l'espace de Hilbert, etc. Assurément ce sont là des auxiliaires des raisonnements fort utiles et parfois même presque indispensables. Mais on ne doit jamais oublier que ces représentations abstraites n'ont aucune réalité physique. Seule a une réalité physique le déplacement d'éléments localisés dans l'espace au cours du temps. Pour cette raison, l'emploi de ces représentations n'est pas sans présenter quelques dangers.

Même l'espace-temps, si utile quand on expose la théorie de la relativité, a un caractère un peu fallacieux. En effet, l'espace et le temps sont des réalités qui sont entièrement différentes. D'abord, le temps s'écoule, malheureusement pour nous, toujours dans le même sens, et c'est là son caractère essentiel, tandis que dans l'espace un certain trajet et le trajet inverse sont également possibles. D'ailleurs, notre perception de l'espace et notre perception du temps sont entièrement différentes et, tandis que nous mesurons les distances à l'aide d'un mètre, il nous faut une horloge, appareil bien différent d'un mètre, pour mesurer l'écoulement irréversible du temps.

On voit ainsi à quel point il faut se méfier de représentations abstraites qui nous sont très utiles pour développer les théories de la Physique, mais qui, le plus souvent, sont plus utiles que réelles.

II - OBJECTION CONTRE LA THEORIE ORTHODOXE.

Considérons un train d'ondes lumineuses qui peut avoir une longueur de l'ordre du mètre et qui vient frapper une cellule photoélectrique. Si le train d'ondes ne porte qu'un seul photon et s'il produit un effet photoélectrique, la probabilité de présence du photon dans l'ensemble du train d'ondes devient nulle instantanément, ce qui implique un transfert instantané d'information incompatible avec la théorie de la relativité et certainement inexact.

Pour un électron, le train d'ondes a une longueur de l'ordre de 1μ comme l'ont démontré de nombreuses expériences. Cette longueur est très grande par rapport aux dimensions d'un atome qui sont de l'ordre de 10^{-8} cm. Si un électron produit un effet sur un atome, la probabilité de sa présence dans le reste du train d'ondes doit disparaître instantanément, ce qui implique encore un inacceptable transfert instantané d'information. Il parait y avoir là une objection très simple et forte contre la théorie orthodoxe.

III - REFLEXIONS SUR LES THEORIES STATISTIQUES ET LES THEORIES DESCRIPTIVES.

Mon idée fondamentale sur cette question est que toute théorie statistique, même si elle est parfaitement exacte, n'est jamais une description complète de la réalité physique. Elle n'est qu'une représentation moyenne de la répartition d'éléments microscopiques invisibles pour nous. C'est là ce que nous a appris la théorie cinétique des gaz et ses généralisations. Cette remarque rend extrêmement vraisemblable a priori que les représentations statistiques de la Mécanique quantique actuelle, bien que parfaitement correctes en général, résultent de l'agitation incoordonnée d'éléments invisibles. Et celà me paraît démontrer qu'il y a lieu de regarder ces représentations statistiques comme résultant du mouvement aléatoire de petits éléments cachés.

IV - OPINION D'EINSTEIN SUR LES SYSTEMES CORRELES.

Dans son livre jubilaire, Einstein, dans le chapitre "Reply to criticisms" p. 683-684 a exposé son opinion sur la question des systèmes corrélés. Il résume d'abord le point de vue des "orthodoxes" sous la forme suivante : "soient deux systèmes partiels A et B. Il n'y a pas de raisons pour qu'une existence indépendante, un état réel, soit attribué aux systèmes partiels A et B considérés séparément et cela même si les systèmes partiels sont séparés l'un de l'autre dans l'espace à l'instant considéré". L'affirmation si naturelle que, dans ce dernier cas, la situation réelle de B ne puisse pas être directement influencée par une mesure faite sur A est donc inexacte dans la théorie orthodoxe et celà, les paradoxes signalés par Einstein et par Schrödinger le prouvent, paraît être inadmissible.

Einstein ajoute qu'alors il devient évident que les paradoxes en question nous obligent à abandonner l'une des deux affirmations suivantes :

1°) la description d'un état par la fonction ψ est complète.

2°) Les états réels de deux objets spatialement séparés sont indépendants l'un de l'autre.

Or, dit Einstein, on ne peut admettre 2 que si l'on considère la fonction ψ comme une description statistique d'un ensemble de systèmes et non pas comme une description "complète" d'un cas individuel, mais alors on doit abandonner 1 et cette manière de voir fait s'effondrer complètement la théorie quantique orthodoxe.

Je viens de reproduire le texte d'Einstein, mais je ne suis pas entièrement d'accord avec lui. Naturellement, j'admets l'affirmation 2 dont l'exactitude me paraît évidente. Mais j'admets aussi que, dans ce cas, la fonction ψ, qui, selon moi, doit être "calquée" sur la fonction d'onde réelle v, se trouve, comme celle-ci, composée de deux trains d'ondes séparés dans l'espace. C'est cette séparation des trains d'ondes ψ dans l'espace dont Einstein, suivant en celà la théorie orthodoxe, n'a pas tenu compte, qui lève la difficulté qu'il a signalée.

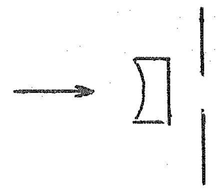
A mon avis, Einstein a commis une erreur sur la manière d'interpréter la probabilité de présence $|\psi|^2 d\tau$ dans l'éléments de volume $d\tau$, de centre M, de l'atome. Pour lui, cette expression ne pouvait avoir de signification que si l'on considérait un très grand nombre N d'atomes identiques, la probabilité de la présence de l'électron dans l'un des éléments homologues $d\tau$ de ces atomes étant $|\psi(\tau)|^2 d\tau$. Or, il me paraît certain que, si l'on considère un seul atome, la probabilité de présence de l'électron en un point M de l'élément de volume $d\tau$ est $|\psi(M)|^2 d\tau$.

Pourquoi Einstein n'admettait-il pas cette interprétation de $|\psi(M)|^2 d\tau$? C'est parce qu'il admettait, sans le dire, qu'un électron occupant un point de l'atome y était immobile de sorte qu'une probabilité de présence ne pouvait intervenir que si l'on considérait un ensemble d'atomes identiques. Mais, pour moi, au contraite, la probabilité $|\psi(M)|^2 d\tau$ est valable même quand on ne considère qu'un seul atome parce que l'électron est animé dans l'atome d'un mouvement brownien : Mais Einstein pensait qu'il était impossible d'attribuer à un électron dans l'atome un mouvement brownien parce qu'il savait qu'un mouvement brownien ne peut intervenir que quand une particule est en contact énergétique avec un milieu jouant le rôle de thermostat. Il est assez étonnant qu'Einstein, auteur de la théorie des mouvements browniens, n'ait pas eu l'idée que l'électron intraatomique pouvait être animé d'un tel mouvement parce qu'il était en réalité en contact avec un thermostat caché.

Cependant, n'avait-il pas, lui-même, écrit dans le livre consacré en 1952 à mon 60° anniversaire et publié par Albin Michel : "La théorie statistique (c'est-à-dire la théorie quantique actuelle) est aussi incapable de fournir une base pour la construction d'une théorie complète que l'aurait été la connaissance du mouvement brownien pour la construction de la Mécanique statistique". Cette remarque me paraît très exacte, mais je pense que mes idées actuelles, en postulant l'existence d'un thermostat caché, ont fourni la base d'une Mécanique statistique rendant compte de l'incessant mouvement brownien des particules.

V - REMARQUES SUR LES EXPERIENCES D'APODISATION.

Considérons une expérience d'apodisation en lumière très faible. Le dispositif d'apodisation est destiné à supprimer le pied étalé gênant des raies spectrales (1). Il consiste à envoyer des trains d'ondes lumineuses sur un écran percé d'un trou sur lequel on a placé une lame absorbante d'épaisseur variable comme l'indique la figure suivante :



Il me paraît certain que cette expérience réussirait même si l'on employait une lumière assez faible pour qu'il n'arrive sur l'écran que des trains d'ondes portant chacun un seul photon. Seuls les photons non absorbés par l'écran apodisant nous intéressent parce que seuls ils peuvent contribuer à donner l'image apodisée.

Les physiciens quantistes "orthodoxes" doivent dire que les photons intervenant dans l'apodisation arrivent un par un portés par leur onde ψ qui est partiellement absorbée par la lame d'épaisseur variable. Les photons qui, après avoir traversé

---

(1) Cours d'Optique de G. Bruhat réédité par A. Kastler, Masson 1954, p. 241.

la lame viennent former l'image apodisée étaient initialement portés par une onde normée à l'unité. Après avoir été partiellement absorbée par la lame apodisante, cette onde est telle que $\int|\psi|^2 d\tau < 1$. Donc le photon qui sort de la lame est porté par une onde ψ qui n'est plus normée à l'unité. Cette conclusion me paraît impossible à admettre en théorie orthodoxe. Elle ne peut fournir aucune représentation acceptable du phénomène observé et c'est là un échec complet pour cette théorie. On ne voit d'ailleurs pas comment un affaiblissement partiel de l'onde ψ pourrait avoir pour effet de modifier le trajet du photon.

Mais la difficulté disparaît si l'on admet que l'onde qui transporte le photon est une onde v réelle, mais très faible, qui guide le photon dans son mouvement et dont l'absorption partielle dans la lame apodisante a pour effet de modifier la trajectoire du photon. Je regrette que l'on n'ait pas vérifié si le dispositif d'apodisation fonctionne en lumière très faible car ce fait me paraîtrait inexplicable en théorie orthodoxe.

Nous ajouterons encore la remarque suivante. Soit une lame semi-transparente sur laquelle tombe normalement un flux de photons qui arrivent un par un. Les "orthodoxes" doivent dire alors : l'écran se manifeste tantôt comme transparent, tantôt comme absorbant dans une proportion qui correspond au pouvoir absorbant de l'écran, et celà est déjà bien étrange. En réalité, chaque photon incident ou bien traverse l'écran ou bien ne le traverse pas parce qu'il est capté par les atomes formant l'écran. Ainsi l'hypothèse admise par les orthodoxes traduit exactement le phénomène statistique, mais elle est tout à fait invraisemblable.

VI - REALITE DES POTENTIELS ET MASSE PROPRE NON NULLE DU PHOTON.

Si l'on admet que les expériences de M. Imbert et d'autres physiciens ont prouvé la réalité physique des potentiels électromagnétiques, peut-on en conclure que la masse propre du photon n'est pas nulle ? Je vais exposer les raisons qui me font penser que la réponse est oui.

En théorie électromagnétique classique, les équations de MAXWELL contiennent les champs, mais pas les potentiels. Ceux-ci n'apparaissent que dans les relations entre champs et potentiels et ces relations ne définissent les potentiels qu'à un gradient près d'une fonction d'espace-temps. Cependant déjà dans cette théorie classique, Lorentz avait été amené à imposer aux potentiels la relation de divergence nulle $\partial_\mu A_\mu = 0$ où $\vec{A}$ est le potentiel vecteur et A_4 le potentiel scalaire V. Cette relation, correcte du point de vue relativiste, était ainsi admise arbitrairement.

Or, des considérations que j'ai développées depuis longtemps m'ont conduit à admettre pour une particule de spin 1 comme le photon et de masse propre non nulle la relation entre champs et potentiels :

$$\partial_\nu F_{\mu\nu} = k_0^2 \, A_\mu$$

où $k_0 = \frac{2\Pi}{h} \mu_0 c$ est proportionnel à la masse propre μ_0 du photon. On en tire aisément la relation $\partial_\mu \partial_\nu F_{\mu\nu} = k_0^2 \, \partial_\mu A_\mu$ et, comme $F_{\mu\nu}$ est antisymétrique, le premier membre est nul et, puisque l'on admet que $k_0 \neq 0$, on en tire $\partial_\mu A_\mu = 0$, c'est-à-dire la relation de Lorentz entre les potentiels qui se trouve ainsi justifiée.

Revenons au cas de la lumière. Si l'on admet que la masse propre μ_0 du photon est nulle, les équations $\partial_\mu F_{\mu\nu} = 0$ ne peuvent pas entrainer la relation de Lorentz $\partial_\mu A_\mu = 0$ de sorte que les potentiels apparaissent comme des grandeurs fictives dont la valeur exacte n'est pas déterminée, comme l'affirme le postulat arbitraire connu sous le nom d'invariance de jauge. Mais, si l'on considère comme démontré par l'expérience que les potentiels ont une valeur réelle, ils doivent être reliés d'une façon stricte aux valeurs des champs; ce qui fait disparaître l'invariance de jauge,et, pour obtenir une relation entre champs et potentiels ayant une bonne variance, on doit écrire :

$$\partial_\mu F_{\mu\nu} = k_0^2 A_\mu$$

où k_0 est proportionnel à la masse propre du photon. Alors le photon, au lieu d'être une particule que la valeur nulle de sa masse propre isolerait des autres particules de spin 1, reste dans le cadre général des particules de spin 1 à masse propre non nulle avec cette seule restriction que sa masse propre μ_0 est extraordinairement petite. Ceci me semble prouver qu'il est impossible de considérer les potentiels comme des grandeurs électromagnétiques réelles sans admettre que le photon possède une masse propre non nulle, bien que certainement extraordinairement petite.

VII - LOI DE PROBABILITE ET FLUCTUATION.

Idée générale : je crois que toute loi de probabilité résulte d'une causalité compliquée et souvent cachée. En particulier il en est ainsi quand la loi de probabilité résulte du comportement d'individus plus ou moins indépendants. Or, c'est là ce que suppose la théorie de la double solution dans son interprétation de la mécanique quantique.

Mais une loi de probabilité permet toujours de définir des "écarts" par rapport aux valeurs moyennes. Ces écarts sont contenus dans la loi de probabilité et calculables par elle. Néanmoins, il faut bien distinguer ces écarts des "fluctuations" qui résultent de mouvements compliqués et souvent cachés dont la loi de probabilité ne donne que le résultat statistique. Contrairement à ce qui se passe pour les écarts, ces fluctuations ne sont pas contenues dans la loi statistique et ne sont pas calculables par elle.

Toutefois, il existe une relation générale entre les fluctuations et la loi de probabilité comme je l'avais rappelé à la fin de l'article que j'avais écrit pour le livre de mon 80° anniversaire (1). Cette relation est la suivante : "si l'on prend la moyenne des fluctuations, on retombe sur la loi de probabilité".

Dans l'article cité, j'ai pris comme exemple un gaz formé de molécules de même masse m et de température T placé dans le champ de la pesanteur. Sa densité à une altitude Z est donnée par la loi de Laplace $\rho = \rho_0 e^{-\frac{mgZ}{kT}}$ où g est l'accélération de la pesanteur et k la constante de Boltzmann. Mais cette loi n'est exacte qu'en moyenne, la moyenne étant prise sur les fluctuations de densité qui dans un gaz sont, on le sait, inobservables.

Pour prendre un autre exemple où la notion de température n'intervient pas, considérons un écran de surface S divisé en petits rectangles dx dy sur lequel tombe une onde lumineuse d'amplitude a(x, y). La théorie ondulatoire, sans localisation de photons, nous dit que le nombre des photons qui tombent sur la surface dx dy pendant un temps dt doit être égal à :

(1) $$\delta n = \frac{1}{h\nu} a^2(x, y) c \, dx \, dy \, dt$$

Mais, si l'on plaçait un compteur de photons sur la surface

(1) Louis de BROGLIE - sa conception du monde physique - Paris-Gauthier-Villars, 1973, p. 356.

dx dy, il indiquerait que le nombre de photons arrivant sur lui dans des intervalles de temps successifs tous égaux à δt fluctue et que le nombre δn de la formule (1) est seulement la valeur moyenne dans le temps $\overline{\delta n}$ des photons dont l'arrivée est enregistrée par les compteurs (1). C'est là un cas particulier de la remarque générale faite plus haut.

Si maintenant on considère l'ensemble de l'écran de surface S, le nombre δN des photons arrivant sur cet écran pendant le temps δt sera d'après la théorie ondulatoire sans localisation de photons :

$$(2) \qquad \delta N = \frac{1}{h\nu} \iint_S a^2(x,y)\, c \; dx\, dy\, \delta t$$

Mais, si les éléments $\delta x\, \delta y$ de l'écran portent des compteurs de photons, le nombre total des photons enregistré dans l'intervalle de temps δt fluctuera autour de la valeur (2) et c'est seulement la valeur moyenne dans le temps $\overline{\delta N}$ de ce nombre qui sera donnée par la formule (2).

VIII - FLUCTUATION DE LUMIERE DANS LE CAS DES LASERS.

Considérons un train d'ondes très long occupant un très grand volume V émis par un laser à gaz et supposons qu'il tombe sur un écran de grande surface S sur lequel se trouve un dispositif de très petite surface s susceptible de compter les photons arrivant sur lui :

V	$\rightarrow$	v	S

Pendant un temps τ très court, ce dispositif comptera les photons contenus dans le petit volume $v = sc\tau \ll V$. Dans ma conception de l'onde arrivant dans V, cette onde porte un grand nombre de photons aléatoirement répartis dans le volume V et le nombre moyen des photons contenus dans v sera évidemment $\overline{n}_v = N \frac{v}{V}$. Mais, dans chaque intervalle de temps τ, le compteur décelera un nombre n_v de photons qui fluctuera autour de la valeur moyenne $\overline{n}_v$. D'après la théorie classique des fluctuations de densité on doit avoir, puisque $v \ll V$:

$$(1) \qquad \overline{(n_v - \overline{n}_v)^2} = \overline{n}_v^2$$

Remarquons que, quand on a affaire à un très grand nombre

(1) Ceci suppose, bien entendu, que le compteur soit assez sensible pour suivre cette variation.

de trains d'ondes qui se superposent et dont les phases varient aléatoirement, on a :

$$(2) \qquad \overline{(n_v - \overline{n}_v)^2} = \overline{n}_v + \alpha \overline{n}_v^2$$

où α est une certaine constante. Ceci est un résultat bien connu depuis le célèbre travail d'Einstein sur les fluctuations dans le rayonnement noir et se retrouve dans la théorie de l'effet Brown et Twiss.

Mais, après la publication du travail d'Einstein, Lorentz avait montré que le terme en $\overline{n}_v^2$ provenait des fluctuations de l'amplitude de l'onde. Et il en est ainsi parce que celles-ci sont dues à la superposition des trains d'onde à phases aléatoirement variables. Mais, dans le cas d'un laser, on a un seul train d'ondes cohérent à phase bien déterminée et le terme en $\overline{n}_v^2$ doit disparaître. L'expérience vérifie bien cette prédiction (1).

IX - SUR LES FORMALISMES DE LA THEORIE ORTHODOXE ET LA THEORIE DE LA DOUBLE SOLUTION.

La différence essentielle qui existe entre la théorie de la double solution et la théorie orthodoxe est que la première localise la particule dans l'onde alors que la seconde la répand statistiquement dans toute l'onde.

Une première conséquence de cette différence est qu'en théorie de la double solution une grandeur attachée à la particule doit être définie uniquement à l'aide des grandeurs qui caractérisent l'onde (l'onde v bien entendu) au point où se trouve la particule. D'où il résulte qu'une grandeur attachée à la particule ne doit aucunement dépendre de la normalisation de l'onde, c'est-à-dire de la fonction statistique ψ usuelle. Une telle grandeur doit donc s'exprimer soit à l'aide de la phase qui est la même pour l'onde v et l'onde ψ (c'est le cas de l'énergie $W = \frac{\partial \phi}{\partial t}$ et de la quantité de mouvement $\vec{p} = - \overrightarrow{\text{grad}}\, \phi$), soit par une fonction de l'amplitude qui soit une fonction homogène de degré zéro de a, c'est-à-dire qui ne varie pas quand on normalise en multipliant a par une constante (c'est le cas du potentiel quantique ou, ce qui revient au même, de la masse propre variable M_0 qui dépend de

(1) Bellisio, Freed et Hans "Applied Physics letters" 4 (1964) p. 5; Armstrong et Smitt, Ibidem, p. 196; Bailley et Sanders, "Physics letters" 10 (1964) p. 245.

$\frac{\Box a}{a}$ ou de $\frac{\Delta a}{a}$). Il n'y a donc pas là un moyen de vérifier si une grandeur a un sens physique en théorie de la double solution.

Une autre conséquence importante résulte de la comparaison des valeurs moyennes dans notre théorie et dans la théorie orthodoxe. Dans notre théorie, on définit, par exemple, p_x par $p_x = -\frac{\partial\phi}{\partial x}$ et la valeur moyenne sera $\overline{p_x} = \int - a^2 \frac{\partial\phi}{\partial x} d\tau$ où a est ici l'amplitude normalisée de l'onde ψ statistique. La théorie orthodoxe introduit l'opérateur $(p_x)_{op} = -\frac{h}{c}\frac{\partial}{\partial x}$ et définit la valeur moyenne de p_x par la formule :

$$\overline{p_x} = \int \psi^*(p_x)_{op}\, \psi\, d\tau = -\int a^2 \frac{\partial\phi}{\partial x} d\tau - \frac{h}{c}\int a \frac{\partial a}{\partial x} d\tau$$

Mais, par suite d'une sorte d'heureux hasard, le second terme de cette expression contenant l'intégrale de $\frac{1}{2}\frac{\partial a^2}{\partial x}$ est nul parce que a est nulle aux limites de l'onde, de sorte que finalement la théorie orthodoxe trouve pour $\overline{p_x}$ la même valeur que la théorie de la double solution. Je crois donc pouvoir dire que la théorie orthodoxe trouve un résultat exact en partant d'une formule en principe inexacte.

Il me semble que l'on peut tirer de ce qui précède l'importante conclusion suivante : une véritable description de la réalité physique doit se faire <u>sans introduire d'opérateurs en employant exclusivement des fonctions bien définies en chaque point de l'espace à chaque instant.</u>

On peut, en effet, contester que la notion d'opérateur ait un sens physique. Si $\phi(x)$ est une fonction de x, l'expression $\frac{\partial\phi}{\partial x}$ a un sens très clair, mais l'opérateur $\frac{\partial}{\partial x}$ n'a en lui-même aucun sens. Et l'on arrive ainsi à la conclusion que <u>les théories physiques ne devraient jamais introduire la notion d'opérateur.</u>

Remarquons encore que l'emploi des composantes $yp_x - xp_y$ ... du moment cinétique se justifie tout naturellement dans une théorie où l'on considère les particules comme constamment localisées dans l'espace ainsi que c'est le cas en Mécanique classique ou relativiste et aussi en théorie de la double solution. Mais partir de ces expressions pour construire des opérateurs $y(p_x)_{op} - x(p_y)_{op}$ dans une théorie où la particule n'est pas localisée dans l'espace est très paradoxal. En le faisant, la Mécanique quantique orthodoxe construit des opérateurs en partant de formules qu'elle considère comme ne pouvant avoir aucune signification physique. Si elle parvient à en tirer certaines conclusions exactes, c'est parce qu'elle se résigne à n'être qu'une théorie statistique qui ne peut donner aucune description complète de la réalité physique. Mais le fait qu'elle doit partir de formules qui, en réalité, impliquent la localisation des particules me semble prouver que, derrière le formalisme statistique de la théorie orthodoxe est dissimulée une localisation cachée des particules.

J'aboutis ainsi à la conclusion suivante : "une véritable représentation physique des particules doit se faire en employant uniquement des fonctions définies en chaque point de l'espace à chaque instant sans jamais introduire d'opérateurs".

X - THERMODYNAMIQUE ET MECANIQUE.

D'après mes conceptions actuelles, toute particule microphysique est animée d'un continuel mouvement brownien par suite de ses échanges continuels d'énergie calorifique avec le thermostat caché. La mécanique ancienne sous sa forme classique ou relativiste ne lui est aucunement applicable. Mais un corps macroscopique est formé d'une infinité de particules élémentaires dont les échanges continuels de chaleur avec le thermostat caché sont entièrement incoordonnés et par suite se composent constamment. C'est là pour moi la raison pour laquelle la Mécanique ancienne, classique ou relativiste, est constamment applicable au mouvement d'un corps formé d'un très grand nombre de particules élémentaires. Je crois pouvoir en tirer la conclusion suivante : "tandis que l'interprétation de la Thermodynamique par la Mécanique statistique conduisait à considérer la Thermodynamique comme une forme compliquée de la Mécanique, mes idées m'amènent, au contraire, à considérer la Mécanique comme une forme dégénérée de la Thermodynamique".

XI - REMARQUES SUR L'ESPACE DE CONFIGURATION.

Dès la publication en 1926 des mémoires de Schrödinger, j'avais remarqué que l'introduction de l'espace de configuration dans une théorie qui ne localise pas les particules était paradoxale puisque, par définition, l'espace de configuration est formé par les coordonnées des particules, coordonnées dont on n'admet pas l'existence. Dans un travail publié en 1929 par C.G. Darwin, travail que j'ai analysé dans mon livre "Etude critique...", p. 77-80, l'auteur avait montré, en analysant un certain problème de choc entre deux particules que ce problème ne pouvait être traité qu'en se servant de l'espace de configuration qui se montre ainsi plus exact que la simple représentation des particules dans l'espace physique par des ondes sans localisation. De plus, si l'on étudie les théories qui ont fait le succès de la Mécanique quantique actuelle telle que celles de la molécule d'hydrogène, de l'ortho et du parahydrogène, de la molécule d'Hélium, etc, on constate qu'elles impliquent toutes l'emploi de l'espace de configuration. Il ne saurait en être autrement puisque l'interaction entre deux ou plusieurs particules s'exprime en fonction des distances mutuelles de ces particules, notion qui a un sens pris dans l'espace de configuration, mais qui n'en a pas dans l'espace physique si les particules n'y sont pas localisées.

Je crois donc pouvoir affirmer que l'emploi par Schrödinger, d'ondes étendues sans particules localisées n'a pu conduire à de grands succès que parce qu'il avait ensuite introduit d'une façon subreptice la localisation des particules par l'emploi dans le cas des ensembles de particules de l'espace de configuration, emploi qui implique nécessairement la localisation des particules dans l'espace physique. C'est une remarque que j'avais faite dans les articles où j'avais analysé les travaux de Schrödinger, tout de suite après leur publication.

XII - SUR LES PREUVES DE LA RELATIVITE GENERALE.

Comme l'avait bien remarqué Léon Brillouin, tandis que, depuis le début de notre siècle, on a pu trouver d'innombrables preuves en faveur de la relativité restreinte et de la théorie des quanta, on n'a pu trouver que quatre preuves en faveur de la Relativité générale et encore sont-elles contestables.

Cette remarque m'avait beaucoup frappé et mes recherches récentes n'ont fait que m'en confirmer l'importance. En effet, en admettant l'incorporation des potentiels dans la masse, j'ai pu expliquer le déplacement vers le rouge des raies spectrales émises par le compagnon de SIRIUS et l'effet Mössbauer. Il ne reste donc comme preuves de la Relativité générale que la courbure des rayons lumineux au voisinage du soleil et le déplacement du périhélie de Mercure. Mais ce qui se passe au voisinage du soleil est certainement très compliqué et la courbure des rayons lumineux dans ce voisinage pourrait s'expliquer de différentes façons, notamment en faisant intervenir la masse propre du photon.

Il ne resterait donc qu'une preuve solide de la relativité générale : le déplacement du périhélie de Mercure qui pourrait peut-être s'expliquer par l'incorporation du potentiel dans la masse. On sait que l'éminent spécialiste de la Mécanique céleste que fut Jean Chazy avait toujours émis des doutes au sujet de l'explication par la théorie de la Relativité générale des anomalies constatées, dans le mouvement du périhélie de Mercure.

Que reste-t-il alors des preuves de la Relativité générale ?

XIII - SUR LA MASSE PROPRE D'UN CORPS MACROSCOPIQUE.

Un corps macroscopique est formé d'un nombre énorme de particules élémentaires. Or, une particule élémentaire, étant toujours très légère et échangeant constamment de la chaleur avec le thermostat caché (milieu subquantique) a une masse continuellement variable et, pour cette raison, est animée d'un violent mouvement brownien. Mais les particules élémentaires qui forment le corps macroscopique subissent des variations de masse entièrement incoordonnées. Il en résulte que la masse totale du corps macroscopique isolé reste pratiquement constante, ce qui est en accord avec l'expérience.