

VI

L'ANISOTROPIE DE L'ESPACE

"La conclusion de tout ceci est qu'il faut effacer son opinion aussi bien que celle des autres devant les décisions de l'expérience ...

"L'art de l'investigation scientifique est la pierre angulaire de toutes les sciences expérimentales. Si les faits qui servent de base au raisonnement sont mal établis ou erronés, tout s'écroulera ou deviendra faux ; et c'est ainsi que, le plus souvent, les erreurs dans les théories scientifiques ont pour origine des erreurs de fait ...

"Les théories qui représentent l'ensemble de nos idées scientifiques sont sans doute indispensables pour représenter la science. Elles doivent aussi servir de point d'appui à des idées investigatrices nouvelles. Mais ces théories et ces idées n'étant point la vérité immuable, il faut être toujours prêt à les abandonner, à les modifier ou à les changer dès qu'elles ne représentent plus la réalité. En un mot, il faut modifier la théorie pour l'adapter à la nature, et non la nature pour l'adapter à la théorie".

Claude Bernard *

A

**DES CONNEXIONS TRES SIGNIFICATIVES
ENTRE DES PHENOMENES APPAREMMENT TRES DIFFERENTS**

Toutes les expériences examinées dans ce mémoire conduisent irrésistiblement à une même conclusion : *l'espace au sein duquel baigne la matière n'est pas isotrope*. Cette conclusion est imposée par les données de l'observation ^{1, 2}.

Qu'il s'agisse des observations du pendule paraconique à support anisotrope ou à support isotrope, des visées optiques sur mires ou sur collimateurs, des observations optiques d'Esclangon, ou des observations interférométriques de Miller, toutes présentent un quadruple caractère : - *elles correspondent toutes à des phénomènes très réels et elles ne peuvent être attribuées à des effets pervers* ; - *elles sont toutes totalement inexplicables dans le cadre des théories actuellement admises* ; - *elles se manifestent toutes dans leur structure périodique par des concordances de phase* ; - *elles impliquent toutes une anisotropie de l'espace*. Ces quatre caractères n'ont cessé de s'affirmer dans tous les développements qui précèdent.

Les concordances de phase qui se constatent ne font que traduire *une profonde unité sous-jacente*. Il ne saurait y avoir un espace gravifique, un espace optique, un espace électromagnétique, etc. Il ne peut y avoir qu'un seul et même espace, *et c'est ce qui explique les concordances de phase constatées entre des phénomènes à première vue très différents*.

(*) Claude Bernard, 1865, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Garnier-Flammarion, 1966, p. 72, 42, et 73.

(1) Certains diront qu'il n'y a là qu'une hypothèse. Mais cette hypothèse est tout à fait analogue avec l'hypothèse que la Terre est un sphéroïde. Elle est *incontournable*.

(2) Comme je l'ai déjà fait dans les Chapitres précédents, je serai amené dans ce qui suit à faire de nombreuses citations.

Je ne le ferai pas pour me couvrir de l'autorité de qui que ce soit, mais simplement *parce que ces citations correspondent très précisément à ma propre pensée*, et parce que les tenants de la pensée officielle peuvent difficilement en contester la validité.

Les variations *journalières* des azimuts et des vitesses telles que mesurées *par Miller* avec son interféromètre se caractérisent, par exemple, par une structure *sous-jacente cohérente* lorsque l'on substitue la considération du temps sidéral au temps civil ^{3, 4}. Il en est de même pour les expériences *d'Esclangon* de 1927-1928 à l'Observatoire de Strasbourg ⁵.

 (3) *Chapitre IV*, § D.1 ci-dessus, p. 392-393.

(4) Il est même possible d'établir *une relation directe* entre les azimuts moyens \overline{A} inexpliqués de Miller et les azimuts moyens $\overline{\phi}$ du pendule paraconique à support anisotrope.

Voir le *Chapitre V* du *Deuxième Volume de cet ouvrage*, (p. 29 ci-dessus).

(5) *Chapitre IV*, § B.2 ci-dessus, p. 378-381.

B

L'INTERPRETATION DES DONNEES DE L'OBSERVATION

1.- Trois idées directrices

Depuis que j'ai été amené à réfléchir sur la réalisation de mes propres expériences sur le pendule paraconique à support anisotrope et à support isotrope, sur les déviations optiques des visées sur mires, sur les déviations optiques des visées sur mires et sur collimateurs qui les ont suivies, sur les expériences d'Esclangon et de Miller, sur leurs résultats, et sur la nature profonde des phénomènes physiques auxquels ils correspondent, *trois idées directrices* n'ont cessé de s'imposer à moi de plus en plus fortement : - *l'existence d'une anisotropie de l'espace* ; - *la détermination de cette anisotropie de l'espace par des influences astronomiques* ; - *l'existence d'un milieu intermédiaire*.

L'anisotropie de l'espace

1- La première idée directrice, c'est que, *quelles que puissent en être les causes*, le résultat fondamental suggéré par mes propres expériences sur le pendule paraconique à support anisotrope et à support isotrope de 1954 à 1960 à Saint-Germain (IRSID) et à Bougival, par les expériences de visées sur mires réalisées à l'IRSID en 1958 et par les expériences de visées sur mires et sur collimateurs à l'I.G.N en 1959, par les expériences d'Esclangon de 1926-1927, par les expériences interférométriques de Miller de 1925-1926, ainsi que par un grand nombre d'autres expériences ¹, c'est *l'existence d'une anisotropie de l'espace*.

Ainsi, et par exemple, pour le pendule paraconique à support isotrope, cette anisotropie a pour conséquence qu'il existe à tout moment une direction privilégiée vers laquelle le plan d'oscillation du pendule observé pendant une période de 14 minutes tend à se déplacer, et cette direction varie au cours du temps.

 (1) Voir Allais, 1958, *Doit-on reconsidérer les lois de la gravitation*, § C, p. 102-103.

Les influences astronomiques et l'anisotropie de l'espace

2- La deuxième idée directrice, c'est que cette anomalie de l'espace résulte d'influences astronomiques, dont *notamment* :

- les mouvements relatifs du Soleil et de la Lune par rapport à la rotation diurne de la Terre ;
- la position de la Terre sur sa trajectoire orbitale autour du Soleil ;
- l'influence du mouvement des planètes ;
- le mouvement d'ensemble du système solaire par rapport aux étoiles fixes.

Existence d'un milieu intermédiaire

3- La troisième idée directrice, c'est l'hypothèse de *l'existence d'un milieu intermédiaire* ² qui sert de support à tous les phénomènes physiques, et dont les modifications structurelles et les mouvements entraînent une anisotropie de l'espace et influent sur les différents phénomènes physiques *avec des concordances de phase pour tous ces phénomènes* ³.

Hypothèses et Expérience

4- *A priori* ces trois idées directrices *peuvent n'être considérées que comme des hypothèses*, mais la valeur scientifique de mes expériences sur le pendule paraconique à support anisotrope et à support isotrope, sur les déviations optiques des visées sur mires, des expériences de l'IGN sur les déviations optiques des visées sur mires et sur collimateurs, des expériences optiques d'Esclangon, et des expériences interférométriques de Miller, *en est totalement indépendante*. En tout état de cause elles ne peuvent que suggérer au lecteur des réflexions utiles.

(2) Sur ce milieu intermédiaire, voir le § B.4 ci-dessous, 506-509.

(3) C'est cette conviction qui m'a amené en 1958 à réaliser mes expériences optiques de visées sur mires parallèlement à mes expériences sur le pendule paraconique.

En fait, les résultats obtenus sont venus vérifier cette conviction de manière éclatante alors que personne auparavant n'avait songé à faire ce rapprochement.

Voir ci-dessus, note 1, p. 332-333.

Ces idées directrices peuvent apparaître toutes naturelles ou au contraire très contestables, mais la validité et la valeur des expériences sont *tout à fait indépendantes* de ce jugement. Comme l'a souligné autrefois Max Planck ⁴ :

"La valeur scientifique d'expériences précises est indépendante de leur interprétation théorique".

C'est également ce que soulignait avec la plus grande force Claude Bernard ⁵:

"Il y a toujours deux choses essentielles à distinguer dans la critique expérimentale : le fait d'expérience et son interprétation. La science exige avant tout qu'on s'accorde sur le fait parce que c'est lui qui constitue la base sur laquelle on doit raisonner. Quant aux interprétations et aux idées, elles peuvent varier, et c'est même un bien qu'elles soient discutées, parce que ces discussions portent à faire d'autres recherches et à entreprendre de nouvelles expériences".

(4) Max Planck, 1925, *Initiations à la Physique*, Flammarion, 1941 , p. 256.

(5) Claude Bernard, 1865, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Garnier-Flammarion, 1966, p. 263.

2.- *L'anisotropie de l'espace*

Observations sur le pendule paraconique à support anisotrope et à support isotrope

1- Les effets périodiques diurnes constatés dans le mouvement du pendule paraconique à support anisotrope et à support isotrope, de vingt à cent millions de fois plus grands que ceux déduits des théories actuelles, sont *totalement inexplicables* par ces théories ¹.

Faut-il pour autant rejeter entièrement ces théories ? *Certainement pas.*

Les expériences que j'ai effectuées sur le pendule paraconique ont permis par exemple de vérifier *entièrement et quantitativement* la valeur de la rotation du plan d'oscillation du pendule sous l'influence de la rotation terrestre *tant que sa trajectoire reste plane* ².

En tout cas, les anomalies constatées du pendule paraconique sont très petites, de l'ordre de 2.10^{-6} radians par seconde, et le fait qu'elles n'aient pas été observées auparavant *signifie simplement que les théories actuelles doivent être complétées pour en tenir compte.*

En fait, dès 1955, j'ai pu montrer facilement qu'une différence relativement très faible, de l'ordre de 10^{-6} , de la masse d'inertie dans deux directions rectangulaires, et variable avec le temps en grandeur et en direction, *peut expliquer les effets constatés* lors des expériences sur le pendule paraconique à support anisotrope ³. Il suffit pour cela par exemple que l'influence du Soleil et de la Lune entraîne une anisotropie de l'espace, variable avec le temps en direction et en intensité, et qu'il en résulte *une anisotropie de l'espace d'inertie* variable avec le temps en direction et en intensité.

 (1) *Chapitre I*, § B.3, ci-dessus, p. 130-141, et *Chapitre II*, § F.2, ci-dessus, p. 284-287.

(2) *Chapitre I*, § A.4 et E.2, ci-dessus, p. 93-95 et 173-175.

(3) *Chapitre I*, § F.3, ci-dessus, p. 206-212, et *Chapitre II*, Section I, ci-dessus, p. 320-325.

Ce n'est là naturellement qu'une hypothèse, mais elle est *très simple*, et très appelante ⁴.

Il en résulte que les mouvements du pendule paraconique sont déterminés *à la fois* par la structure du pendule, par l'influence du support, et par les variations du champ de gravitation et de l'inertie *dans le domaine de l'espace balayé par le pendule* ⁵.

On constate que non seulement le mouvement du pendule paraconique est marqué par des périodicités diurnes et mensuelles, mais qu'il est marqué également par des périodicités semi-annuelles, dont les phases sont voisines de l'équinoxe de printemps.

Déviation optiques des visées sur mires

2- Pour l'onde lunaire de 24h 50 mn l'amplitude observée à l'IRSID de la sinusoïde d'ajustement des déviations angulaires est de l'ordre de 1", c'est-à-dire de $1,57 \cdot 10^{-6}$ radians.

En tout état de cause les expériences réalisées à l'IGN en 1959 ont *définitivement* montré que *ni la déformation du sol, ni le mouvement relatif des piliers*, ne pouvaient expliquer les effets constatés ⁶.

Les anomalies optiques constatées *ne peuvent s'expliquer que par l'influence du milieu intermédiaire entre les appareils, c'est-à-dire par une anisotropie de l'espace*.

Comme pour le pendule les déviations optiques constatées ont des périodicités diurnes et mensuelles, et des périodicités semi-annuelles, dont les phases sont également voisines de l'équinoxe de printemps.

(4) En fait, *a priori* une isotropie de l'espace d'inertie apparaît peu *raisonnable*. Il ne peut en être autrement que pour des théoriciens aveuglés par les "*vérités bien établies*".

(5) *Chapitre I*, Section E, ci-dessus, p. 171-196, et *Chapitre II*, Section I, ci-dessus, p. 320-325.

(6) *Chapitre III*, § C.4.2, ci-dessus, p. 364-365.

Observations optiques d'Esclangon

3- Les expériences d'Esclangon ont eu pour objet de déceler une anisotropie de l'espace, et les effets obtenus ont été de l'ordre de $0,35 \cdot 10^{-6}$ radians par seconde, d'un ordre de grandeur comparable à celui des amplitudes des périodicités du pendule paraconique à support anisotrope et à support isotrope et à celui des déviations optiques correspondant aux visées sur mires et sur collimateurs ⁷.

Les observations optiques d'Esclangon présentent une périodicité semi-annuelle dont la phase est elle aussi voisine de l'équinoxe de printemps ⁸.

Observations interférométriques de Miller

4- L'amplitude des variations diurnes des azimuts A observées par Miller est de l'ordre de 50° pour 12 heures, ce qui correspond à une variation de $2,1 \cdot 10^{-5}$ radians par seconde, effet du même ordre de grandeur que pour le pendule paraconique ⁹.

Les azimuts moyens \bar{A} de Miller varient d'une époque à l'autre. Ils présentent une périodicité semi-annuelle. Ici encore la seule explication que l'on puisse donner aux valeurs *non nulles* des azimuts moyens \bar{A} et à leurs variations au cours du temps, c'est une anisotropie de l'espace.

Quant aux autres paramètres caractéristiques des observations de Miller, qu'il s'agisse des vitesses maximales et minimales v_M et v_m observées, ou des amplitudes A_M^* des déviations des azimuts autour de leur moyenne \bar{A} , ils sont marqués également par des périodicités semi-annuelles et annuelles dont les phases sont elles aussi voisines de l'équinoxe de printemps.

(7) *Chapitre IV*, § B.2, ci-dessus, p. 378-381.

(8) *Chapitre V*, § C.2, ci-dessus, p. 450-451.

(9) *Chapitre IV*, § D.3, ci-dessus, p. 395-399.

La valeur moyenne des amplitudes $|2r|$ des oscillations diurnes de l'azimut A est $2(24,3 + 17,5 + 31,2 + 30,7) / 4 = 51,85^\circ$ (Tableau I, p. 397).

Vitesse de la lumière

5- Les observations de Miller montre qu'à l'anisotropie de l'espace correspondent certainement des variations au cours du temps de la vitesse de la lumière suivant sa direction. Au regard des indications ci-dessus une telle anisotropie est de l'ordre de 10^{-5} ¹⁰. *Elle n'est en rien en contradiction avec les résultats expérimentaux connus.*

En faisant la synthèse des résultats expérimentaux A. Kastler ¹¹ indique en effet et par exemple pour la vitesse de la lumière une valeur de 299792,3 km/sec avec une incertitude inférieure à 3 km/sec, soit une incertitude de l'ordre de 10^{-5} en valeur relative.

Une conclusion générale

6- En fait, toutes les observations analysées dans les cinq Chapitres qui précèdent mènent à une même conclusion : *"l'espace est anisotrope"* ¹².

 (10) $8/300.000 = 2,67 \cdot 10^{-5}$ (Tableau II du § IV.D.4 ci-dessus).

(11) A. Kastler, 1959, *Optique*, Masson, p. 30.

(12) Il ne me paraît pas inutile de citer ici un passage particulièrement significatif d'Einstein sur l'anisotropie de l'espace :

"La pensée de Mach reçoit son plein épanouissement dans l'éther de la théorie de la relativité générale. D'après cette théorie, les propriétés métriques du continu spatio-temporel sont différentes dans l'entourage de chaque point spatio-temporel et conditionnées par la matière qui se trouve en dehors de la région considérée.

"Ce changement spatio-temporel des relations entre les règles de mesure et les horloges, ou la conviction que l'espace vide n'est physiquement ni homogène, ni isotrope - ce qui nous oblige à représenter son état par dix fonctions, les potentiels de gravitation $g_{\mu\nu}$ - ces faits, dis-je, ont définitivement écarté la conception que l'espace serait physiquement vide".

Einstein, 1920, *L'Ether et la théorie de la relativité*, 1921, Gauthier-Villars, p. 12.

Toutefois les ordres de grandeur de l'anisotropie de l'espace impliqués par la théorie de la relativité générale (*Chapitre VII* ci-dessous, § A.5.2, note 7, p. 566-567) sont beaucoup plus petits que ceux correspondant aux expériences sur le pendule paracanique à support isotrope (*Chapitre II, Section I, ci-dessus, p. 321*).

La formulation tensorielle de l'anisotropie de l'espace

7- A l'anisotropie de l'espace correspond nécessairement une formulation tensorielle des équations de la gravitation et de l'électromagnétisme dans un espace à trois dimensions ^{13, 14}.

Naturellement, dans l'état actuel de l'information dont on dispose, et des données expérimentales encore tout à fait insuffisantes cette formulation tensorielle ne peut être qu'esquissée.

(13) La différence avec la théorie de la relativité générale de l'anisotropie qu'on est amené à envisager ici est qu'elle ne fait intervenir que les coordonnées spatiales, autrement dit avec les notations d'Einstein (*Chapitre VII* ci-dessous, § A.5.1, relation 1, p. 565) on a

$$(1) \quad g_{14} = g_{24} = g_{34} = 0$$

(14) A titre d'illustration l'équation d'Hély généralisant l'équation de Lorentz

$$(1) \quad \Delta\varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - 2 \frac{k_0}{c} \frac{\partial \varphi}{\partial t} - k_0^2 \varphi + 4\pi K \delta = 0$$

devient dans le cas d'une anisotropie de l'espace

$$(2) \quad \frac{1}{\sqrt{|g|}} \partial_i (\sqrt{|g|} g^{ij} \partial_j \varphi) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{2k_0}{c} \frac{\partial \varphi}{\partial t} - k_0^2 \varphi + 4\pi K \delta = 0$$

(Voir l'*Introduction*, § B.3, note 14, ci-dessus, et la Section C ci-dessous, § C.1.4, C.1.5, et C.2).

3.- *Les influences astronomiques et l'anisotropie de l'espace*

Les influences astronomiques sur les observations correspondant aux expériences analysées dans les *Chapitre I à V* ci-dessus sont *incontestables*.

Les observations du pendule paraconique à support anisotrope et à support isotrope ont des périodicités *diurnes* en liaison directe avec les mouvements relatifs du Soleil et de la Lune par rapport à la rotation diurne de la Terre. Elles présentent également des périodicités *lunaires sidérales* mensuelles. Les azimuts moyens mensuels du pendule paraconique à support anisotrope présentent également des périodicités semi-annuelles *en liaison avec la position de la Terre sur son orbite*. Ils présentent aussi une périodicité de l'ordre de 5,9 ans en liaison avec les mouvements planétaires ¹.

Les déviations optiques des visées sur mires et sur collimateurs constatées à l'IRSID et à l'IGN ont des périodicités diurnes, notamment de 24 h et 24 h 50mn, une périodicité lunaire sidérale mensuelle, et une périodicité semi-annuelle dont les phases sont voisines de l'équinoxe de printemps *en liaison avec la position de la Terre sur son orbite* ².

Les observations optiques d'Esclangon présentent une périodicité *diurne sidérale* et une périodicité semi-annuelle dont la phase est voisine de l'équinoxe de printemps ³.

Les azimuts et les vitesses interférométriques de Miller présentent une périodicité *diurne sidérale*, comme pour les observations optiques d'Esclangon. Les azimuts et les vitesses de Miller sont également caractérisées par des périodicités semi-annuelles et annuelles avec des phases voisines de l'équinoxe de printemps ⁴.

 (1) *Chapitre I*, § A.5, C.2, C.3, et E.5, *Chapitre II*, Sections E, F, et G, et *Chapitre V*, Sections B, E et F ci-dessus.

(2) *Chapitre III*, Sections B, C, et D, et *Chapitre V*, Sections C, E, et F ci-dessus.

(3) *Chapitre IV*, § B.2, et *Chapitre V*, Sections C, E et F ci-dessus.

(4) *Chapitre IV*, § D.3 et D.5, et *Chapitre V*, Sections D, E, et F ci-dessus.

L'anisotropie de l'espace apparaît ainsi *en liaison directe avec des influences astronomiques* dont les périodicités comprennent des périodicités semi-diurnes et diurnes sidérales, des périodicités mensuelles sidérales, des périodicités semi-annuelles et annuelles, et des périodicités planétaires de plusieurs années.

4.- *L'existence incontestable d'un milieu intermédiaire*

Les plus grands physiciens, qu'il s'agisse par exemple de Newton, de Fresnel, de Faraday, ou de Maxwell, étaient convaincus qu'*aucune action à distance n'est concevable sans l'existence d'un milieu intermédiaire.*

Le fait que certains phénomènes physiques se propagent à travers l'espace a conduit effectivement très tôt à l'hypothèse que l'espace n'est pas vide, mais constitué d'un milieu intermédiaire, l'"Ether", *support naturel de tous ces phénomènes* ¹.

Une pure querelle de mots

1- Cependant, depuis la *Théorie de la Relativité*, un dogmatisme quelque peu fanatique de certains de ses partisans a exclu le concept de l'"*éther*" du domaine de la science. Quiconque ose parler aujourd'hui de l'"*éther*" est considéré comme un ignorant et un esprit retardataire, et il ne peut que perdre tout crédit dans les milieux scientifiques, bien qu'en réalité ceux qui le critiquent utilisent le même concept de milieu intermédiaire sous d'autres vocables, que ce soient par exemple ceux de "*champ*", de "*fluide associé*", de "*fluide de probabilité*", de "*fluide pilote*", de "*fluide quantique*", etc.

Le plus souvent on parle tout simplement de "*champ*". Ainsi Einstein et Infeld écrivent ² :

"Le champ électromagnétique est pour le physicien moderne aussi réel que la chaise sur laquelle il est assis ...

(1) Sur le concept d'éther et ses applications voir les deux remarquables ouvrages d'Edmund Whittaker, 1951 et 1953, *History of the Theories of Aether and Electricity*, Tome I, *The Classical Theories*, et Tome II, 1900-1926. Whittaker fait justement remonter à Descartes (1596-1650) l'introduction de l'éther dans la science (Tome I, p. 6)

Voir également René Dugas, 1951, *L'éther optique et gravifique au sens de Newton*.

A titre documentaire voir encore Marie-Antoinette Tonnelat, *Ether*, Encyclopædia Universalis, Vol. 6, 1968, p. 655-658.

(2) Albert Einstein et Léopold Infeld, 1938, *L'évolution des idées en physique*, Flammarion, p. 287.

Le dernier alinéa de ce texte se rapporte essentiellement à Maxwell, mais Maxwell n'a fait lui-même que suivre les conceptions de Fresnel et de Faraday antérieures de quelque quarante ans ; et Newton avait déjà exprimé sa conviction de l'existence d'un milieu intermédiaire, l'"*éther*", cent cinquante ans avant Faraday (voir ci-dessous les deux citations de Newton des § D.1 et E.1, p. 518 et 536).

"Il fallait une imagination scientifique hardie pour réaliser pleinement que ce n'est pas le comportement des corps, mais le comportement de quelque chose qui se trouve entre eux, c'est-à-dire le champ, qui pourrait être essentiel pour ordonner et comprendre les événements ..."

Mais qui ne voit que "le champ" ainsi entendu n'est autre que "l'éther" au sens de tous les physiciens du XIXème siècle. En fait, quelles que puissent être les dénominations sémantiques que l'on utilise, il s'agit toujours d'un milieu intermédiaire, remplissant tout l'espace et support des actions de gravitation et des ondes lumineuses et électromagnétiques, par lequel se transmettent toutes les actions à distance, et que Newton et Fresnel, et à leur suite tous les physiciens du XIXème siècle, désignaient par le mot "éther".

Il s'agit donc ici d'une pure querelle de mots *tout à fait stérile*. Je pense quant à moi que le mot "éther" est en fait le plus approprié, et j'espère que le lecteur ne verra dans l'usage de ce mot aucune provocation de ma part. Comme l'a souligné autrefois Vilfredo Pareto ³ : *"Il ne faut jamais se disputer sur les mots"*.

Einstein lui même a écrit ⁴ :

"L'espace physique et l'éther ne sont que deux expressions différentes d'une seule et même chose ; les champs sont des états physiques de l'espace" ...

"L'esprit théoricien ne saurait supporter l'idée qu'il y ait deux structures de l'espace indépendantes l'une de l'autre, l'une de gravitation métrique, l'autre électromagnétique. La conviction s'impose que ces deux sortes de champ doivent correspondre à une structure unitaire de l'espace".

Les propriétés de l'éther

2- Tout au long du XIXème siècle on a essayé de donner une représentation mécanique cohérente et satisfaisante de l'éther. *Mais toutes les tentatives ont échoué.* Les lois physiques de la gravitation, de

(3) Vilfredo Pareto, *Traité de sociologie générale*, Payot, 1917, p. 10.

(4) Albert Einstein, *Comment je vois le monde*, Flammarion, 1939, p. 222 et 230.

l'électromagnétisme, et de l'optique, étaient relativement simples et claires, mais toutes les propriétés attribuées à l'éther pour les expliquer *simultanément* se révélaient inconsistantes et contradictoires ⁵. D'où la conclusion pour certains qu'un éther dont on n'arrive pas à préciser les propriétés d'une manière incontestable ne saurait exister.

Mais une telle conclusion est *tout à fait inacceptable*. Ce n'est pas parce qu'on n'a pu réussir *jusqu'ici* à élaborer un modèle cohérent des propriétés de l'éther qu'on devrait conclure que l'éther n'existe pas. Nous devons méditer ici cette réflexion de Claude Bernard ; *"Il nous faut croire que dans la nature l'absurde suivant nos théories n'est pas toujours impossible"* ⁶.

En réalité, les propriétés de l'éther, ce sont d'une part les équations indéfinies de la gravitation, et d'autre part les équations indéfinies de l'électromagnétisme représentant respectivement les champs gravifique et électromagnétique dans le vide. On n'a pas encore réussi à relier pleinement entre eux ces champs, mais c'est là un obstacle qui sera surmonté tôt ou tard, car *il est inconcevable qu'un même milieu puisse servir de support à deux champs différents sans qu'il existe entre eux une cohérence interne fondamentale*.

Certes, nous ne connaissons pas la nature réelle de l'éther et de sa constitution, mais nous connaissons une partie de ses manifestations, qu'elles soient gravifiques, électromagnétiques ou optiques. On ne saurait donc dire ici qu'il s'agit d'un concept irréel, de nature métaphysique, *puisque'il se manifeste partout et sans cesse par des phénomènes très réels*.

(5) Les uns pensaient par exemple que ce milieu était immobile et isotrope, d'autres qu'il était anisotrope et susceptible de déformations et de déplacements relatifs.

(6) Claude Bernard, 1865, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, 1966, id., p. 71.

Questions connexes

3- *Quant à l'existence et à la nature de ce milieu intermédiaire, il convient de commenter ici quelque peu :*

- *les propriétés d'isotropie ou d'anisotropie de ce milieu intermédiaire ;*
- *les prétendues oppositions dans les théories contemporaines ; - la prétendue opposition entre les deux aspects ondulatoire et corpusculaire de la lumière ; - la prétendue opposition entre la continuité qui caractériserait l'éther et la discontinuité qui caractériserait la théorie des quanta ; - et la prétendue opposition entre les conceptions déterministes et les conceptions indéterministes de la physique.*

Les Sections C et D qui suivent ont précisément leur analyse pour objet.

C

**ISOTROPIE APPARENTE OU ANISOTROPIE REELLE
UNE ILLUSTRATION**

1.- L'évolution de la théorie des potentiels

Equation de Laplace

1- En 1782, Laplace a montré que les potentiels newtoniens satisfont dans le vide à la relation

$$(1) \quad \Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = 0$$

Equation de Poisson

2- Trente ans plus tard en 1813, Poisson a montré que dans le cas le plus général lorsque le point x, y, z se trouve dans une matière de densité $\delta(x, y, z)$, l'équation de Laplace doit être remplacée par la relation

$$(2) \quad \Delta\varphi + 4\pi K\delta = 0$$

où K est une constante. L'intégrale de cette relation a pour expression

$$(3) \quad \varphi(x, y, z) = \int K \frac{\delta(x, y, z)}{r} dv$$

où r est la distance entre les points $m(x, y, z)$ et $M(X, Y, Z)$ et où l'intégrale est étendue à tout l'espace.

Equation de Lorenz

3- En 1867, Ludwig Lorenz proposa de remplacer l'équation de Poisson par l'équation

$$(4) \quad \Delta\varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} + 4\pi K\delta = 0$$

où c est une constante, et dont la solution est

$$(5) \quad \varphi(X, Y, Z, t) = \int K \frac{\delta(x, y, z, t - r/c)}{r} dv$$

Le potentiel φ est un potentiel retardé tenant compte d'une vitesse de propagation c ¹.

Equation d'Hély

4- En 1948, Jean Hély a généralisé la relation de Lorenz en considérant la relation ²

$$(6) \quad \Delta\varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} - \frac{2k_0}{c} \frac{\partial\varphi}{\partial t} - k_0^2\varphi + 4\pi K\delta = 0$$

dont la solution est

$$(7) \quad \varphi(X, Y, Z, t) = \int K\delta(x, y, z, t - \frac{r}{c}) \frac{e^{-k_0 r}}{r} dv$$

l'intégrale étant étendue à tout l'espace et r représentant la distance des points $M(X, Y, Z)$ et $m(x, y, z)$.

 (1) Sur les équations de Laplace, Poisson, et Lorenz, voir notamment Whittaker, *History of the Theories of Aether and Electricity, The Classical Theories*, Nelson, 1951, p. 61 et 268.

(2) Jean Hély - *Les fondements théoriques de l'électrodynamique* - 1950, p. 29 - La démonstration de la propriété indiquée par Jean Hély est immédiate et se fait suivant les mêmes principes que la démonstration correspondant aux potentiels de Lorenz. (Cette démonstration a été donnée en Sept. 1948 par M. Hély dans le texte d'une conférence miméographiée de l'Ecole Nationale Supérieure du Génie Maritime : "Sur l'électrodynamique rationnelle", p. 23).

Pour $k_0 = 0$ on retrouve naturellement l'équation (4) de Lorenz.

Dans l'espace E_3 isotrope et euclidien x, y, z la propagation des perturbations se fait en ligne droite avec une vitesse constante c et un taux d'affaiblissement constant k_0 . Les potentiels sont ainsi à la fois *retardés et amortis*.

L'équation (6) vaut pour un espace isotrope et euclidien pour lequel on a pour l'élément métrique

$$(8) \quad ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$$

Ma généralisation de l'équation d'Hély dans le cas d'une anisotropie de l'espace

5- Les équations de Laplace, de Poisson, de Lorenz et d'Hély valent pour un espace isotrope et euclidien. En novembre 1957 j'ai généralisé l'équation d'Hély au cas d'un espace anisotrope et non euclidien en considérant l'équation (écrite avec les notations tensorielles) ³

$$(9) \quad \frac{1}{\sqrt{|g|}} \partial_i (\sqrt{|g|} g^{ij} \partial_j \varphi) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{2k_0}{c} \frac{\partial \varphi}{\partial t} - k_0^2 \varphi + 4\pi K \delta = 0$$

Cette équation admet comme solution l'expression

$$(10) \quad \varphi(X_1, X_2, X_3) = \int \sqrt{|g|} K(x_1, x_2, x_3) \delta(x_1, x_2, x_3, t - \frac{r}{c}) \frac{e^{-k_0 r}}{r} dv$$

avec

$$(11) \quad r = \int_M^m ds$$

cette intégrale étant calculée sur la ligne droite L joignant les points M .

(3) On sait que dans un espace à trois dimensions le laplacien

$$(1) \quad \Delta \varphi = \frac{1}{\sqrt{|g|}} \partial_i (\sqrt{|g|} g^{ij} \partial_j \varphi)$$

qui s'écrit de façon explicite

$$(2) \quad \Delta \varphi = \frac{1}{\sqrt{|g|}} \sum_{ij} \frac{\partial}{\partial x_i} (\sqrt{|g|} g^{ij} \frac{\partial \varphi}{\partial x_j})$$

est un scalaire pur *invariant* dans tous les changements de coordonnées. g est défini par l'équation (14).

et m dans l'espace des x_i et le ds étant donné en notations tensorielles par la relation

$$(12) \quad ds^2 = g_{ij} dy^i dy^j$$

On a pour l'élément de volume

$$(13) \quad dv = \sqrt{|g|} dx_1 dx_2 dx_3$$

avec

$$(14) \quad g = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{vmatrix}$$

Dans les équations (9) et (10) les coefficients c et k_0 sont considérés comme des constantes.

Les g_{ij} peuvent s'interpréter comme les carrés d'indices de réfraction, et lorsque k et n sont variables, on a

$$(15) \quad \frac{k}{k_0} = \frac{n}{n_0} \quad \text{avec } n_0 = 1$$

$n_0 = 1$ correspond à l'indice de réfraction dans le vide à la surface de la Terre.

Dans ce cas l'équation (9) s'écrit

$$(16) \quad \frac{1}{\sqrt{|g|}} \partial_i (\sqrt{|g|} g^{ij} \partial_j \varphi) - \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{2k_0 n^2}{c} \frac{\partial \varphi}{\partial t} - k_0^2 n^2 \varphi + 4\pi K \delta = 0$$

Alors que dans l'espace isotrope E_i d'Hély les perturbations se propagent en ligne droite avec une vitesse constante c et un taux

d'affaiblissement constant k_0 , dans l'espace anisotrope E_a les perturbations se propagent suivant des trajectoires courbes et avec une vitesse et un taux d'affaiblissement variables ⁴.

(4) Naturellement on ne peut passer de l'espace anisotrope E_a à l'espace isotrope E_i du § 1.4 par une transformation linéaire que sous des conditions d'intégrabilité restrictives.

En transposant dans un espace à trois dimensions les conditions bien connues de la théorie de la relativité à l'espace temps à quatre dimensions, on voit que dans le cas considéré, les conditions s'obtiennent en annulant les 6 composantes distinctes du tenseur de Ricci obtenu par contraction du tenseur de courbure du troisième ordre de Riemann Christoffel, ce qui, compte tenu des identités de Bianchi, donne 3 conditions indépendantes auxquelles doivent satisfaire les 9 coefficients g_{ij} .

2.- *L'anisotropie de l'espace*

La présentation qui précède des cinq formes successives de l'équation des potentiels appelle quelques commentaires.

L'équation de Lorenz n'est pas la seule concevable

1- Ce serait une erreur d'affirmer que l'expression (4) de Ludwig Lorenz représente la forme définitive et immuable de l'équation indéfinie des potentiels. *L'équation (6) d'Hély montre qu'une généralisation est possible.* Elle est assez naturelle, et si k_0 est suffisamment petit, elle se réduit en première approximation à l'équation de Lorenz.

La généralisation de l'équation des potentiels au cas de l'anisotropie

2- Les équations (9) et (16) montrent comment l'équation d'Hély peut se généraliser dans la cas d'un milieu anisotrope à trois dimensions.

Si l'espace est anisotrope il n'est nullement nécessaire de considérer un espace temps à quatre dimensions ¹.

 (1) En fait, et comme je l'ai indiqué (*Introduction*, § B.3, note 4, p. 55, et *Chapitre I*, § G.5.2, p. 226-227), l'équation (9) du § C.1 ci-dessus a fait l'objet de ma part d'une *Note* du 4 décembre 1957 à l'Académie des Sciences *qui a été refusée*.

Cette *Note* du 4 décembre 1957 a fait l'objet d'une application à l'interprétation du champ magnétique terrestre dans ma *Note* du 24 octobre 1957 et de deux applications à l'interprétation des anomalies de la pesanteur dans mes *Notes* des 5 novembre 1957 et mars 1960 (voir ci-dessus, *Introduction*, § B.3.3, note 4, p. 55).

Une anamorphose de l'espace

3 - Le passage de la relation (6) d'Hély pour un espace isotrope à la relation (16) qui la généralise pour un espace anisotrope peut être interprétée comme une anamorphose de l'espace ².

Il se peut que l'espace réel soit anisotrope et non euclidien alors que la représentation isotrope et euclidienne que nous nous en faisons correspond à l'équation (4) de Lorentz ou à l'équation (6) d'Hély.

Avec cette conception, dans l'espace *isotrope et euclidien fictif* correspondant au ds^2 de la relation (8) la lumière se propage en ligne droite avec une vitesse constante alors que dans le cas de l'espace *réel anisotrope et non euclidien* la lumière se propage suivant des trajectoires courbes avec des vitesses variables ³.

La définition du temps

4 - Avec une telle conception comment le temps peut-il être défini ?

Si on considère l'espace isotrope et euclidien correspondant à la relation (6) d'Hély, le temps peut être défini *par la condition de la validité de l'équation (6)* correspondant à la propagation de la lumière en ligne droite avec une vitesse constante.

(2) Une image très simple de l'anamorphose d'un espace euclidien à trois dimensions correspond à une boule de caoutchouc que l'on déformerait. Aux lignes droites de la configuration initiale correspondent des lignes courbes de la boule déformée.

(3) *Tous ces développements ne correspondent ici qu'à une simple illustration. L'analyse approfondie de l'équation d'Hély (équation 6 du § C.1.4 ci-dessus), de ses implications, et de sa généralisation au cas de l'anisotropie de l'espace (équations 9 et 16 du § C.1.5 ci-dessus) sort du cadre de cet ouvrage et fera l'objet d'une prochaine publication.*

J'indiquerai seulement ici que cette analyse conduit à une valeur de δ *non nulle dans le vide.*

Si on considère l'espace anisotrope et non euclidien correspondant à l'équation (16) et au ds^2 de la relation (12) le temps est *implicitement* défini par la validité des relations (16) et (12), c'est-à-dire en dernière analyse par la référence à des phénomènes périodiques ⁴.

L'anisotropie de l'espace

5- Comme il a été indiqué ⁵, l'anisotropie de l'espace correspond aux données de l'observation. *Ce n'est pas une hypothèse. C'est une donnée de fait.*

Les très brèves indications qui précèdent permettent de préciser une approche théorique qui peut répondre à la structure anisotropique de l'espace.

(4) Une telle conception correspond en fait à la définition d'Eddington d'intervalles de temps égaux par référence à des phénomènes cycliques (Eddington, 1924, *The Mathematical Theory of Relativity*, § 1.3, p. 12).

(5) § B.2 ci-dessus, p. 499-503

D

**TROIS PRETENDUES OPPOSITIONS
DANS LES THEORIES CONTEMPORAINES**

1.- Les deux aspects ondulatoire et corpusculaire de la lumière

Il ne peut y avoir *aucune contradiction que ce soit* entre les deux aspects ondulatoire et corpusculaire de la lumière. L'aspect corpusculaire correspond au mouvement d'un corpuscule, l'aspect ondulatoire correspond aux vibrations de "*l'éther*" qui accompagnent ce corpuscule, que ce corpuscule soit considéré ou non comme une singularité locale de "*l'éther*".

C'était là en fait le point de vue de Newton qui, il y trois siècles, dans un texte très remarquable, et à vrai dire prophétique au regard des développements ultérieurs de la Physique au XXème siècle, écrivait en 1675¹ :

"Supposons que les rayons de lumière soient formés de corpuscules émis en toutes directions par les corps lumineux ; ils doivent exciter des vibrations dans l'éther ... aussi nécessairement que des pierres le font dans l'eau où elles sont jetées

"Si je devais formuler une hypothèse, ce serait ... que la lumière est quelque chose susceptible d'exciter des vibrations dans l'éther

"La lumière n'est ni l'éther, ni un mouvement vibratoire de l'éther, mais quelque chose de différent propagé à partir des corps lumineux

"Les corps n'agissent-ils pas sur la Lumière à une certaine distance, et ne courbent-ils pas ses Rayons ; et cette action n'est-elle pas (caeteris paribus) plus forte à moindre distance ?"

(4) René Dugas, 1954, *La Mécanique au 17ème siècle*, Dunod, p. 392, 395, et 405.

Suivant une telle conception le double aspect corpusculaire et ondulatoire de la lumière résulte de la coexistence à la fois des photons et d'un milieu intermédiaire, "l'éther", deux facteurs distincts, mais qui réagissent l'un sur l'autre.

Les photons peuvent d'ailleurs être considérés comme des régions singulières locales de l'éther en symbiose avec les régions de l'éther qui les environnent.

2.- Continuité et quanta

On ne saurait de même opposer comme contradictoires le modèle d'un éther continu et la théorie des quanta essentiellement fondée sur la discontinuité.

En fait, la théorie quantique actuelle repose sur un très grand nombre d'hypothèses dont certaines ne correspondent à aucune nécessité expérimentale, et certaines déductions en paraissent assez contestables.

L'équation de Schrödinger

1- *Il n'y a pas, par exemple, de démonstration véritable, à partir d'hypothèses spécifiées, de l'équation de Schrödinger qui joue cependant un rôle tout à fait essentiel dans la Mécanique quantique* ¹.

(1) L'équation aux dérivées partielles de Schrödinger relative à une particule s'écrit (E. Durand, 1970, *Mécanique Quantique, Equation de Schrödinger*, Masson, p. 16, relation 68)

$$(1) \quad \frac{\hbar^2}{8\pi^2m} \Delta \psi(x,y,z,t) + \frac{\hbar}{2\pi i} \frac{\partial \psi(x,y,z,t)}{\partial t} - U(x,y,z,t) \psi(x,y,z,t) = 0$$

Elle définit la fonction ψ , où i est le symbole des imaginaires et où \hbar , m , U représentent respectivement la constante de Planck, la masse de la particule considérée, et l'énergie potentielle au point x , y , z , à l'instant t . L'opérateur Δ est le laplacien

$$(2) \quad \Delta \psi = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}$$

La solution ψ de l'équation (1) est une fonction complexe et on considère la fonction réelle

$$(3) \quad \rho = \psi^* \psi$$

où ψ^* est la fonction conjuguée de ψ avec la condition

$$\int_V \rho \, dv = \int_V \psi^* \psi \, dv = 1$$

l'intégration étant effectuée dans tout l'espace.

La fonction ρ est interprétée comme la densité de "probabilité" de présence du corpuscule considéré au point x , y , z , à l'instant t .

Il ne s'agit là que d'une interprétation au regard des résultats expérimentaux supposés représentés correctement par l'équation de Schrödinger. Tout ce que l'on peut dire, c'est que suivant cette interprétation le nombre de particules qui se constate dans un volume dv au point x , y , z à l'instant t est égal à la quantité ρdv . ρ est considéré comme proportionnel au carré de l'amplitude des ondes de Fresnel.

L'introduction dans l'équation (1) de Schrödinger du symbole i des imaginaires ne fait que souligner le caractère artificiel de cette équation.

En fait, l'équation de Schrödinger n'est que l'aboutissement d'une série d'inductions successives plus ou moins intuitives et assez artificielles ² dont la seule justification est la vérification de certaines de ses conséquences.

L'équation de Schrödinger apparaît ainsi comme une pure et simple hypothèse dont la justification résulte de l'accord de certaines de ses conséquences avec les données de l'observation ³. Mais le fait que certaines conséquences de cette équation soient vérifiées dans des cas particuliers ne peut signifier en aucune façon que cette équation représente effectivement les phénomènes réels dans le cas le plus général ⁴.

Une prétendue contradiction

2- Il est en fait tout à fait impossible de suivre Einstein lorsqu'il écrit ⁵ :

"De prime abord il ne paraît guère possible de déduire d'une théorie du champ, opérant au moyen d'équations différentielles, qu'un système mécanique ne soit capable en permanence que de valeurs d'énergie ou d'états discrets, comme l'expérience le démontre".

 (2) Voir par exemple E. Schrödinger (1932), *Mémoires sur la Mécanique Ondulatoire*, Alcan, 1933, p. 161-165 ; et de Broglie, 1953, *Eléments de théorie des quanta et de mécanique ondulatoire*, Gauthier-Villars, § IX.3-IX.5, p. 151-160.

(3) Voir notamment Georges Guinier, 1949, *Eléments de Physique Moderne Théorique*, Bordas, p. 46, et Durand, 1970, id., p. 15-18 et 60-61.

(4) Il y a en fait une distance immense entre les équations de la Mécanique quantique qui représentent les données de l'observation et les interprétations parfois extravagantes que l'on en donne.

On cite souvent à l'appui de la conception indéterministe le célèbre théorème de von Neumann suivant lequel il serait impossible de donner une interprétation des lois de probabilité de la Mécanique quantique à l'aide de variables cachées. En fait cette démonstration est erronée (voir Fer, *L'irréversibilité, fondement de la stabilité du monde physique*, Gauthier-Villars, 1977, p. 39 ; voir également de Broglie, *Jalons pour une nouvelle microphysique*, Gauthier-Villars, 1978, p. 31-32).

(5) Albert Einstein, *Comment je vois le monde*, 1939, Flammarion, p. 193.

Dans un espace à deux dimensions des équations différentielles peuvent en effet admettre comme solutions *des cycles limite*. Il en est manifestement de même dans un espace à trois dimensions ⁶.

En fait, on a jusqu'ici *tout à fait insuffisamment* exploré les perspectives théoriques ouvertes par la théorie des équations différentielles *non linéaires*, et tout particulièrement par la théorie des dynamiques à cycles limite.

Ce n'est certainement que *dans la voie d'un approfondissement des équations différentielles non linéaires* qu'on pourra expliquer l'existence et les propriétés des différentes particules *comme singularités locales et configurations limite de l'éther* ⁷.

 (6) Dans un tout autre domaine, l'économie, j'ai montré que dans le cadre d'un modèle *non linéaire* admettant des *cycles limite stables* on pouvait passer d'un régime à un autre en conséquence de perturbations exogènes, comme celles précisément qui dans le cas du monde physique peuvent résulter de fluctuations presque périodiques de l'éther.

Voir Allais 1954, *Explications des cycles économiques par un modèle non linéaire à régulation retardée*, *Metroeconomica*, Vol. VIII, avril 1956, p. 4-83 ; et 1955, *Explication des cycles par un modèle non linéaire à régulation retardée*, *Mémoire complémentaire*, CNRS, Les Modèles dynamiques en Economie, 1956, p. 259-308, § 29-30, et 32, p. 276-277.

Une explication analogue pour la mécanique quantique a été suggérée par Francis Fer, 1977, *L'irréversibilité, fondement de la stabilité du monde physique*, Gauthier-Villars, Chapitre IV, *Les dynamiques à cycle limite comme exemple des systèmes quantiques*, p. 42-45.

(7) Sur la littérature quelque peu fascinante sur les équations différentielles non linéaires et les cycles limite, voir tout particulièrement : - Henri Poincaré, *Les méthodes nouvelles de la Mécanique céleste*, 3 vol., Gauthier-Villars, 1892-1899 ; - Balth. van der Pol, *On "Relaxation Oscillations"*, *Philosophical Magazine*, July-December 1926, p. 1978-1992 ; - A.A. Andronow and C.E. Chaikin, 1937, *Theory of Oscillations*, Princeton University Press, 1949, 358 p. ; - N. Kryloff and Bogoliuboff, 1943, *Introduction to non-Linear Mechanics*, Princeton University Press, 1947, *Annals of Mathematical Studies*, n° 11, 106 p. ; - Ph. D. Minorsky, 1947, *Introduction to non-Linear Mechanics*, J.W. Edwards, Ann Arbor, 464 p. ; - Y. Rocard, *Dynamique générale des vibrations*, Masson, 1949, Partie I, Chapitres XIV et XVII ; - A.A. Andronow, A.A. Witt, and S. E. Chaikin, 1966, *Theory of Oscillators*, Pergamon Student Edition, 816 p.

3.- Causalité et indéterminisme

On ne saurait non plus opposer comme contradictoire le modèle d'un éther se comportant de manière déterministe et les théories indéterministes rejetant le principe de causalité ¹.

Un examen superficiel des données expérimentales de la Mécanique quantique et des modèles qui les représentent a conduit bien des esprits à considérer les conceptions du hasard et du déterminisme de Laplace et de Poincaré comme périmées, et ceux qui mettent en doute certaines interprétations des théories de la Mécanique quantique, si aberrantes qu'elles puissent être dans leurs formulations extrêmes, sont considérés comme des esprits rétrogrades ; et même de fortes personnalités n'ont pas toujours eu le courage de résister ².

(1) Faute de place je ne puis que me limiter ici à quelques très brèves observations générales, et renvoyer pour des indications plus développées à mes deux mémoires de 1983 et 1988 : 1983, *Fréquence, Probabilité et Hasard*, Journal de la Société de Statistique de Paris, T. 124, p. 70-102 et 144-221, et 1988, *Phénomènes Aléatoires et Modèles Fréquentiels. Réalité et Théorie. Prolégomènes pour une Révision des Théories admises*. Le lecteur trouvera un résumé de mon mémoire de 1983 dans mon mémoire de 1982, *Frequency, Probability, and Chance*.

Voir également Allais, 1982, *The Foundations of the Theory of Utility and Risk*, p. 8-27, et 73-89.

(2) Ce jugement de ma part pouvant paraître, au moins à première vue, comme excessif, qu'il me suffise de citer ici un seul exemple, combien significatif. Commentant le 5ème Conseil de Physique Solvay d'octobre 1927 Louis de Broglie écrit (1953, *La Physique quantique restera-t-elle indéterministe ?*, p. 12, 13, 15, 21 et 22) :

"M. Schrödinger, ne croyant pas à l'existence des corpuscules, ne pouvait me suivre. MM. Bohr, Heisenberg, Born, Pauli, Dirac, etc... développaient l'interprétation purement probabiliste que j'ai déjà désignée plus haut sous le nom d'interprétation actuellement orthodoxe. Lorentz, président du Conseil, ne pouvait admettre une semblable interprétation et réaffirmait avec force sa conviction que la Physique théorique devait rester déterministe et continuer à employer des images claires dans le cadre classique de l'espace et du temps. Einstein critiquait l'interprétation probabiliste et lui objectait des objections un peu troublantes ...

"Je revins à Paris très troublé par ces discussions Je me décourageai et me ralliai à l'interprétation purement probabiliste de Bohr et Heisenberg. Depuis vingt cinq ans, je l'ai adoptée comme base de mon enseignement et exposée dans mes livres et des conférences

"Depuis vingt-cinq ans la presque totalité des physiciens s'est ralliée à l'interprétation purement probabiliste de Bohr et Heisenberg. Il y a eu cependant quelques exceptions très notables, des savants aussi éminents que MM. Einstein et Schrödinger ayant toujours refusé de l'accepter

"Sans doute après m'avoir vu abandonner ma première tentative et exposer dans tous mes écrits depuis vingt-cinq ans l'interprétation de Bohr et Heisenberg, certains m'accuseront peut-être d'inconstance Mais une réponse sérieuse est possible.

La conception déterministe

Laplace a exposé en termes parfaitement clairs le rôle respectif du déterminisme et du hasard ³ :

"Tous les événements, ceux mêmes qui par leur petitesse semblent ne pas tenir aux grandes lois de la nature, en sont une suite aussi nécessaire que les révolutions du soleil. Dans l'ignorance des liens qui les unissent au système entier de l'univers, on les a fait dépendre des causes finales, ou du hasard, suivant qu'ils arrivaient et se succédaient avec régularité ou sans ordre apparent ; mais ces causes imaginaires ont été successivement reculées avec les bornes de nos connaissances, et disparaissent entièrement devant la saine philosophie, qui ne voit en elles que l'expression de l'ignorance où nous sommes des véritables causes ...

"Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé serait présent à ses yeux. L'esprit humain offre, dans la perfection qu'il a su donner à l'Astronomie, une faible esquisse de cette intelligence".

(suite de la note 2)

"L'histoire des sciences montre que les progrès de la Science ont été constamment entravés par l'influence tyrannique de certaines conceptions que l'on avait fini par considérer comme des dogmes. Pour cette raison, il convient de soumettre périodiquement à un examen très approfondi les principes que l'on a fini par admettre sans plus les discuter".

Au regard d'une telle explication et si l'on se rappelle que Louis de Broglie a reçu le Prix Nobel de Physique en 1929, avec toute l'autorité que cette consécration lui donnait, on peut se demander quelle peut être la possibilité pour quiconque de réagir effectivement contre l'espèce de tyrannie qu'exercent les conceptions de "l'establishment" dominant.

(3) Pierre-Simon Laplace (1749-1827), 1814, *Essai philosophique sur les probabilités*, Gauthier-Villars, 1921, I, p. 2-3).

La conception indéterministe

2- Suivant les indéterministes *il n'y aurait aucune relation causale, et le "hasard", c'est à dire ici la "contingence pure", suivant une excellente expression de Louis de Broglie ⁴, serait la réalité ultime dans le déroulement des phénomènes physiques ⁵.*

Comme l'écrit Max Planck ⁶ :

"Pour les indéterministes ... on doit chercher l'absence de régularité derrière toute régularité apparente et la loi à forme statistique est la seule qui soit pleinement satisfaisante par elle-même".

En fait, il convient de distinguer ici entre deux sortes de distributions statistiques, *les distributions qui résultent du jeu simultané d'un grand nombre de causes complexes, et celles qui sont considérées comme ne dérivant d'aucune cause.* Cette distinction est tout à fait *cruciale.*

 (4) Louis de Broglie, 1953, *La physique quantique restera-t-elle indéterministe ?* Gauthier-Villars, p. 15.

(5) Max Born écrit (*Atomic Physics*, Blackie, 1956, p. 95-102) :

"According to this view, the whole course of events is determined by the laws of probability ; to a state in space there corresponds a definite probability, which is given by the de Broglie wave associated with the state. A mechanical process is therefore accompanied by a wave process, the guiding wave, described by Schrödinger's equation, the significance of which is that it gives the probability of a definite course of the mechanical process

"It is clear that the dualism, wave-corpuscule, and the indeterminateness essentially involved therein, compel us to abandon any attempt to set up a deterministic theory. The law of causation according to which the course of events in an isolated system is completely determined by the state of the system at time $t = 0$, loses its validity, at any rate in the sense of classical physics".

(6) Max Planck, 1925, *Initiations à la Physique*, 1941, Flammarion, Chapitre X, p. 235.

Comme l'écrit encore très justement Louis de Broglie ⁷ :

"La question qui se pose est finalement de savoir, Einstein l'a souvent souligné, si l'interprétation actuelle qui établit uniquement l'onde Ψ à caractère statistique de Schrödinger est une description "complète" de la réalité, auquel cas il faut admettre l'indéterminisme et l'impossibilité de représenter les réalités de l'échelle atomique d'une façon précise dans le cadre de l'espace et du temps, ou si, au contraire, cette interprétation est "incomplète" et cache derrière elle, comme les anciennes théories statistiques de la Physique classique, une réalité parfaitement déterminée et describable dans le cadre de l'espace et du temps par des variables qui nous seraient cachées, c'est-à-dire qui échapperaient à nos déterminations expérimentales".

Ne faut-il donc pas conclure ici avec Max Planck ⁸ :

"Quelques indéterministes se sont crus autorisés à éliminer définitivement le principe de causalité de la physique. Cependant, un examen plus approfondi montre que cette conclusion, qui repose sur l'identification de l'univers représentatif des physiciens et de l'univers sensible, est pour le moins prématurée".

Une telle manière de voir ne risque-t-elle pas, à son tour d'être abandonnée puisque la possibilité existe toujours que des lois causales puissent être découvertes ? Comme l'écrit justement Bertrand Russel ⁹ :

"C'est agir trop cavalièrement que d'ériger une superstructure théologique sur une ignorance qui ne peut être que momentanée ...

"Il est essentiellement et théoriquement impossible de prouver qu'un certain ensemble de phénomènes n'est pas sujet à des lois. Tout ce qu'on peut affirmer, c'est que ces lois n'ont pas encore été découvertes ...

"Vous pouvez dire, si vous le voulez, que les hommes qui se sont livrés à l'étude de l'atome étaient assez compétents pour découvrir ces lois, si vraiment elles existaient. Je ne pense cependant pas que ce soit là une prémisse assez solide pour servir de base à une théorie de l'univers".

(7) Louis de Broglie, 1953, id., p. 21.

(8) Max Planck, 1925, *Introduction à la Physique*, 1941, Chap. X, p. 259.

(9) Voir page ci-contre.

Prétendre en effet qu'il n'y a pas d'explications causales parce que des hommes jugés éminents ne les ont pas aperçues est un postulat tout à fait gratuit. *L'Histoire de la science ne se réduit-elle pas*, comme l'a dit excellemment Vilfredo Pareto, à *l'histoire des erreurs des hommes compétents*.

En fait, l'impossibilité de prédire est relative à l'homme. Elle ne correspond pas à une propriété intrinsèque de la nature ¹⁰.

 (9) Bertrand Russel, 1947, *L'Esprit Scientifique*, Chapitre V, p. 111-112.

Quant au principe d'incertitude d'Heisenberg, Bertrand Russel ajoute justement (p. 100-101) :

"L'abus qu'on a fait du principe de l'indétermination, ... est dû en grande partie à l'ambiguïté du mot déterminé. En un sens, une quantité est déterminée lorsqu'elle a été mesurée ; dans un autre sens, un événement est déterminé lorsqu'il est l'effet d'une cause. Le principe de l'indétermination s'applique à des mesures, et non à des causes. La vitesse et la position d'une particule sont, d'après le principe de l'indétermination, indéterminées en ce sens qu'elles ne peuvent être exactement mesurées Il n'y a rien dans le principe de l'indétermination qui permette de conclure qu'un événement physique puisse être un événement sans cause".

On ne saurait mieux dire.

Sur la signification du principe d'incertitude, voir les démonstrations très suggestives de Max Born, *Atomic Physics*, 1956, id., p. 98, et de Niels Bohr, 1960, *Physique atomique et connaissance humaine*, Gauthier-Villars, 1973, p. 64-65. Voir également K. Popper, 1967, *Quantum Mechanics without "The Observer"*, in *Quantum Theory and Reality*, Ed. Bunge, p. 7-44.

(10) Pour cette raison il me paraît impossible d'adopter le point de vue de Planck (1941, *Initiations à la Physique*, p. 229) quand il écrit :

"Un événement est conditionné causalement quand il peut être prédit avec certitude".

C'est pour moi une définition *trop restrictive* de la causalité. Certains phénomènes en effet, comme par exemple le tirage d'une boule déterminée dans une urne, ne peuvent être prédits alors que cependant ils sont caractérisés par la causalité.

En tout état de cause, l'histoire de la science montre que *les mêmes faits peuvent être expliqués par des théories entièrement différentes* ¹¹.

En réalité, les théories indéterministes ne reposent que sur des confusions majeures, tout particulièrement : - *des confusions sémantiques* ; - *une interprétation erronée des distributions statistiques* ; - *une méconnaissance totale du déterminisme réel de phénomènes apparemment indéterministes*.

Des confusions sémantiques

3- Tout d'abord, la sémantique couramment utilisée ne peut conduire qu'à des erreurs. *Les variables dites "aléatoires" n'ont rien d'aléatoire*. Ce sont simplement des variables qui ont une distribution, *et les théories qui les considèrent sont entièrement déterministes*.

Un même mot "*variables aléatoires*" recouvre des réalités *entièrement différentes* : les *variables fréquentielles* des modèles mathématiques dont *toutes* les valeurs sont considérées en fait (explicitement, ou généralement, malheureusement, implicitement) comme *simultanément* réalisées, et les *variables empiriques aléatoires* données par l'observation, *une seule valeur* étant réalisée à chaque instant pour chacune d'entre elles.

Jamais sans doute un vocable n'a été aussi mal choisi pour représenter le concept considéré que celui de "*variable aléatoire*" (random variable) introduit par Cantelli et Kolmogorov. Jamais peut être l'utilisation d'un tel vocable n'a pu suggérer autant d'idées fausses.

 (11) Tel est le cas notamment de l'expérience de Fizeau de 1851 vérifiée *à la fois* par la théorie de Fresnel de 1818 et par la Théorie de la Relativité (voir ci-dessous *Chapitre VII*, § C.5, p. 601-602).

En fait, la théorie des ensembles additifs et des variables indépendantes de Kolmogorov *est une théorie déterministe*, car le hasard n'y joue aucun rôle. Elle repose entièrement sur la déduction des conséquences mathématiques des postulats admis au départ, et le caractère de cette déduction est fondamentalement *entièrement déterministe*. Aucune part n'est laissée au "hasard" dans ses déductions.

Il est effectivement remarquable qu'une telle théorie *déterministe* puisse représenter avec une grande approximation des phénomènes *considérés comme aléatoires*, mais il ne saurait résulter de là que la nature de cette théorie soit aléatoire et que ces phénomènes soient purement aléatoires ; et c'est un véritable abus que de qualifier d'aléatoires les variables considérées par Kolmogorov. La même remarque peut être présentée *pour tous les modèles dits "probabilistes"* ¹².

La représentation de structures déterministes par des distributions statistiques. Le Théorème T

4 - Suivant une assertion malheureusement trop répandue, si des observations se distribuent suivant la loi normale, c'est qu'elles résultent du hasard et qu'elles ne correspondent en fait à aucune régularité structurelle. Suivant cette assertion *il y aurait "hasard" et indéterminisme dès qu'il y a distribution statistique*. Mais cette distinction s'effondre dès lors qu'il peut être prouvé que des phénomènes *entièrement déterministes* peuvent se caractériser par des distributions statistiques bien définies.

(12) Sur tous ces points voir mon mémoire de 1982, *Fréquence, Probabilité et Hasard* (note 1 ci-dessus, p. 523).

En fait, j'ai montré en 1982 que la sommation des ordonnées de sinusoides de périodes incommensurables convergeait vers la loi normale et qu'ainsi *des phénomènes totalement déterministes peuvent présenter tous les aspects du hasard*. C'est ce que j'ai appelé le *Théorème (T)* ¹³.

Le "hasard" ne saurait ainsi se définir par la seule référence à l'existence d'une distribution statistique puisqu'au moins et par exemple dans le cas du *Théorème (T)* il y a à la fois absence de "hasard" et distribution normale.

En fait, outre les perspectives qu'il ouvre dans l'interprétation de nombreux phénomènes physiques, le *Théorème (T)* permet de vérifier que le *Théorème central limite* ne s'applique pas seulement à ce que le vocabulaire "variable aléatoire" peut suggérer, mais qu'il s'applique tout aussi bien à des sommes de fonctions *entièrement déterministes*.

Comment d'ailleurs expliquer que tel ou tel phénomène puisse se caractériser par telle ou telle loi de distribution statistique si précisément il n'existe pas un ordre caché aboutissant à des distributions statistiques d'un type bien déterminé.

Le simple fait qu'une variable se distribue suivant une loi statistique bien déterminée, et que cette loi soit *stable dans l'espace et dans le temps*, exclut l'indéterminisme, *car elle implique précisément une interdépendance sous-jacente dans l'espace et dans le temps incompatible avec le postulat de l'indéterminisme*.

 (13) Voir l'Appendice II, *Le Théorème (T)*, à mon mémoire de 1982, *Fréquence, Probabilité et Hasard*.

Herman Wold qui présidait la séance où j'ai présenté en 1982 à Oslo ma Communication sur le *Théorème (T)*, en a souligné toute son importance, et il n'a pas hésité à déclarer que dans le délai de trois à quatre ans, ce théorème devrait figurer dans tous les textbooks sur la théorie des probabilités. C'était là cependant méconnaître la puissance des "vérités bien établies".

Le *Théorème T* a fait l'objet de ma part, le 30 mai 1983, d'une Note à l'Académie des Sciences, "Sur la distribution normale des valeurs à des instants régulièrement espacés d'une somme de sinusoides", CRAS, Tome 296, série I, p. 829-830.

Indéterminisme apparent et déterminisme réel

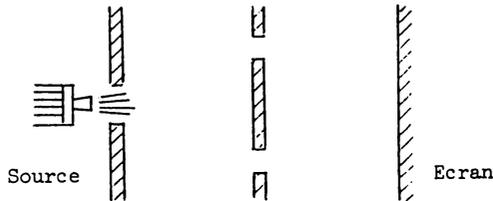
5- *Bien des phénomènes ne deviennent totalement incompréhensibles que si l'on rejette l'existence d'un milieu intermédiaire, qu'on l'appelle "éther" comme Newton, Fresnel, et Maxwell, ou tout autrement, et si l'on ne tient pas compte du fait que ce milieu est un milieu vibratoire dans lequel se propagent un nombre extrêmement grand d'ondes dont les fréquences prennent place dans un très large domaine. L'association de l'hypothèse de la réalité de ce milieu avec l'existence d'un très grand nombre de composantes vibratoires peut en effet, en application du Théorème (T), nous faire comprendre, sinon totalement expliquer, la production de toutes les apparences du hasard dans une foule de phénomènes considérés comme non déterministes, mais qui en fait ne sont nullement aléatoires. En réalité, le fait que l'on ait une distribution statistique ne signifie nullement qu'il s'agit d'un phénomène non déterministe.*

Au regard de tous les débats sur le déterminisme et la causalité il faut naturellement s'entendre sur la signification exacte des mots "déterminisme" et "causalité". Pour moi il y a *déterminisme et causalité si l'état de la nature à l'instant t est entièrement déterminé à partir des états de la nature à tous les instants antérieurs.* La "contingence pure", c'est-à-dire l'*indéterminisme*, impliquerait que l'état de la nature à l'instant t serait *indépendant, totalement ou partiellement*, des états de la nature aux différents instants antérieurs.

Ainsi, dans le cas des trajectoires des particules, la question qui se pose, c'est la détermination du point auquel arrivera une particule déterminée à un instant donné. Le problème est analogue à celui relatif au jeté d'un dé dont la construction assure des conditions de symétrie. Chacune des faces a une *fréquence intrinsèque* égale à $1/6$, mais dans un jeté déterminé seule une certaine face apparaîtra.

Dans sa discussion des expériences relatives au mouvement, à travers deux trous de photons issus d'une même source, ce que souligne par exemple Richard Feynman, c'est qu'il y a *une différence fondamentale* entre l'apparition d'une face déterminée dans le jeté d'un dé et

l'apparition de telle ou telle circonstance dans la Mécanique quantique. Dans le premier cas Feynman se déclare prêt à admettre que ce qui nous manque, c'est une connaissance assez détaillée des circonstances du jeté pour faire une prédiction précise, étant bien précisé qu'il s'agit là d'un phénomène gouverné entièrement par sa causalité. Dans le second cas il n'y a plus aucune causalité que ce soit, le "hasard" est omniprésent, et la *réalité ultime* serait l'existence d'"ondes de probabilités". *Le hasard serait inéliminable* et il ne pourrait être "expliqué", c'est à dire ramené à un ordre déterministe caché ¹⁴. La considération de l'expérience des deux trous d'Young est ici très éclairante.



En commentant l'expérience des deux trous d'Young, Feynman écrit ¹⁵ :

"Lorsque nous lançons un dé en l'air, ... , nous sommes prêts à admettre que nous n'avons pas une connaissance assez détaillée pour faire une prédiction précise ; nous calculons donc les chances d'obtenir tel ou tel résultat. Mais ce que nous avançons ici, c'est que les probabilités sont là depuis le début : le hasard est présent dans les lois fondamentales de la physique Ce n'est pas l'absence de connaissances détaillées qui nous empêche de faire des prédictions

"Ce n'est pas notre ignorance des rouages internes, des complications internes, qui entraîne l'apparition des probabilités dans la nature. Il semble que ce soit intrinsèque, ce que quelqu'un a exprimé ainsi : "La nature elle-même ne sait pas par quel trou va passer l'électron.

"Un philosophe a dit une fois : "Il faut, pour que la science puisse exister, que les mêmes causes produisent toujours les mêmes effets". Eh bien, ce n'est pas ce qui se passe".

(14) R. Feynman, 1950, *The concepts of Probability in Quantum Mechanics*. Second Berkeley Symposium, et 1965, *The Character of Physic Law*, The M.I.T. Press, Chapitre VI ; traduction française, 1980, *La Nature de la Physique*, Editions du Seuil, p. 151-176.

(15) id., p. 145-147.

En fait, l'analyse des phénomènes sur laquelle s'appuie l'argumentation de Feynman, avec toute l'autorité que lui confère l'obtention en 1965 du Prix Nobel de Physique, ne saurait être acceptable que si l'on rejetait l'hypothèse de l'existence d'un "éther" vibratoire au sens de Newton, de Fresnel et de Maxwell dont l'analyse de Feynman ne tient aucun compte. Si au contraire on admet l'existence d'un tel milieu, il apparaît tout à fait possible, et à vrai dire élémentaire, d'expliquer ce que Feynman considère comme inexplicable et pour lequel il ne voit d'autre "explication" que l'absence de tout lien de causalité ¹⁶.

La négation de l'existence de "paramètres cachés" en mécanique quantique revient à nier dans le cas du jeté d'un dé l'existence des différents paramètres qui déterminent l'apparition de telle ou telle face.

Les partisans de l'indéterminisme soutiennent cependant que les deux phénomènes sont de nature différente. Dans le cas du dé ils admettent, suivant le point de vue classique, que la connaissance de toutes les conditions du jeté permettrait de déterminer la face qui apparaît. Dans le cas de la particule ils soutiennent par contre qu'il est impossible de spécifier des causes pour une localisation déterminée de la particule considérée, et que dès lors il y a *absence totale de causalité et indéterminisme*. Le "hasard", c'est-à-dire en l'espèce la "contingence pure", constituerait l'explication ultime et irréductible du phénomène.

Il est bien certain que cette déduction apparaît incontestable dès lors qu'on admet le modèle que les partisans de l'indéterminisme considèrent. Mais la question est précisément de savoir si ce modèle est effectivement approprié pour représenter complètement les données de l'observation ¹⁷.

(16) Les expériences commentées par Feynman ont dérivé des expériences de 1909 de G.T. Taylor (Proc. Cambridge Phil. Society, 15, 114, 1909). Sur l'interprétation de ces expériences, voir notamment Max Planck, 1941, *Introductions à la Physique*, Flammarion, Chap. X, p. 237-242 ; Max Born, 1956, *Atomic Physics*, p. 79-80 et 101-102 ; Jean-Pierre Viger, 1956, *Structure des micro-objets dans l'interprétation causale de la théorie des quanta*, Gauthier-Villars, p. 4-12 et 104-105 ; Niels Bohr, 1960, *Physique atomique et Connaissance humaine*, Gauthiers-Villars, 1972, p. 61-75 ; et Louis de Broglie, 1978, *Jalons pour une Nouvelle Microphysique*, Gauthiers-Villars, Chap. 2, p. 36-38.

(17) Supposons par exemple que des photons se déplacent dans un milieu, "l'éther" vibratoire de Newton, de Fresnel et de Maxwell, et que l'équation de Schrödinger (§ D.2.1 ci-dessus) représente effectivement la partie principale de la fonction d'ondes correspondant au mouvement de l'"éther" associé au mouvement des photons, mais que les vibrations,

En fait l'erreur *fondamentale* commise dans toutes les analyses indéterministes de la Mécanique quantique *est de négliger les influences extérieures propagées par le milieu où les expériences considérées se réalisent.*

Dans l'état actuel de nos connaissances et au regard des faits expérimentaux, *il apparaît ainsi impossible d'affirmer qu'il existe nécessairement une différence fondamentale entre l'indétermination a priori de l'apparition d'une face dans le jeté d'un dé, et l'indétermination résultant de la seule considération de l'équation de Schrödinger pour le mouvement d'une particule, et que cette dernière indétermination est une propriété intrinsèque de la nature, toute causalité étant exclue quelle que puisse être l'évolution ultérieure de la physique.*

(suite de la note 17)

autres que celles dues aux particules considérées, qui se propagent dans "l'éther" entraînent un terme correctif $\delta\psi$ relativement petit. Pour un ensemble de particules la valeur moyenne de $\delta\psi$ est sensiblement nulle, et la répartition des photons s'effectue pratiquement avec la *densité de fréquence* ρ , mais pour une particule isolée et à un instant donné, le terme $\delta\psi$ décidera de la trajectoire effective qui se constatera, de même que dans le tirage d'un dé les conditions du jeté auront en moyenne un effet nul sur un grand nombre de jetés, tout en ayant une influence sensible et déterminante lors d'un jeté particulier.

Il n'est donc nul besoin ici de faire intervenir le "hasard", même à un niveau sub-quantique.

Les mêmes fluctuations $\delta\psi$ peuvent expliquer pourquoi à un instant donné certains atomes plutôt que d'autres peuvent se désagréger en raison de l'intensité particulièrement élevée de la fluctuation globale de "l'éther" à un instant donné dans les régions occupées par les atomes considérés.

En fait Jean Thibaud a mis en évidence des *fluctuations périodiques dans le temps des désintégrations Alpha* suggérant que ces désintégrations ne se produisent pas seulement au hasard (1941, *Les caractères systématiques de la distribution dans le temps des désintégrations alpha*, Annales de Physique, IIème série, Tome 15, avril-juin 1941, p. 225-257 ; - 1944, *Sur les caractères systématiques de certaines distributions*, CRAS, Tome 218, 1944, p. 873-874 ; - 1952, *La théorie des groupes et les distributions radioactives*, dans Louis de Broglie, *Physicien et Penseur*, Albin Michel, collection "Les Savants et le Monde", 1952, 497 p.

On ne saurait donc dire avec Einstein et Infeld qu'"il n'y a pas la moindre trace d'une loi régissant le comportement individuel des atomes" dans le phénomène de la radioactivité (Einstein et Infeld, *L'évolution des idées en physique*, 1938, p. 277)

La question cruciale

6- En dernière analyse le choix entre déterminisme et non déterminisme se ramène au choix entre deux conceptions de l'univers : *l'une déterministe* caractérisée par des lois que l'homme a pu découvrir et expliciter, ou par des régularités statistiques, effets d'un ordre caché qui n'a pu encore être explicité ; *l'autre indéterministe* suivant laquelle tout aussi bien les lois explicites que nous avons découvertes que les régularités statistiques que nous constatons résulteraient fondamentalement du seul "*hasard*" au sens de cette conception, c'est-à-dire de la "*contingence pure*".

La question *cruciale* est ainsi de savoir si les faits connus nous obligent, ou non, à la conception de distributions statistiques *qui ne résulteraient d'aucun effet de causalité*.

En réalité, seule l'interprétation de certains modèles, fondée sur des observations insuffisamment analysées, a été présentée à l'encontre de la conception déterministe de l'univers, et, en réalité, *aucun des phénomènes expérimentaux* qui font l'objet de la Mécanique quantique ne nous oblige à une telle conclusion.

Le choix *n'est pas* entre des lois d'essence déterministe de la nature et des lois statistiques, car encore une fois des lois statistiques peuvent résulter de phénomènes totalement déterministes, et le *Théorème (T)* vient justifier ici la conception du hasard de Laplace.

Le choix réel est entre un monde gouverné par des lois fondamentales reposant sur la causalité et de caractère déterministe, et un monde dominé par la "*contingence pure*". On ne peut naturellement en décider *a priori*, mais on peut le faire *a posteriori*. En fait, notre expérience *directe, tangible et permanente* du monde physique nous conduit à la conclusion de la causalité, et on peut affirmer que dans l'état actuel des choses, aucune preuve décisive *fondée sur l'expérience* n'a été apportée qui puisse nous permettre de rejeter la conception laplacienne de la causalité et du "*hasard*".

E

LA REALITE DE L'ETHER

1.- Les conceptions de l'éther

Que certaines conceptions de "l'éther" du XVIIème au XIXème siècle aient été abusivement simplistes, qu'elles se soient révélées incompatibles les unes avec les autres, et que l'on n'ait pas encore réussi jusqu'ici à préciser d'une manière cohérente, en accord à la fois avec les trois groupes de phénomènes que constituent *la gravitation, l'électromagnétisme, et les quanta*, les *équations indéfinies* du mouvement de ce milieu, susceptibles de servir de base à l'édification d'une théorie unitaire de la physique, *ne saurait signifier que ce milieu n'existe pas* ; car d'une manière ou d'une autre, *sous quelque vocable que ce soit*, les théories d'aujourd'hui comme celles d'hier nous y ramènent *inévitablement*, parce que *sans l'hypothèse de ce milieu, support matériel de tous les phénomènes physiques, tout devient incompréhensible, tout particulièrement ce qui concerne les actions à distance.*

C'était là le point de vue de Newton, le créateur cependant du concept des actions à distance, tel qu'il l'a exprimé dans sa célèbre lettre à Bentley ¹ :

"That one body may act upon another at a distance through a vacuum, without the mediation of anything else, by and through which their Action and Force may be conveyed from one to another is to me so great an Absurdity, that I believe no man who have in philosophical matters a competent Faculty of thinking, can ever fall into it".

 (1) Edmund Whittaker, 1951, *History of the Theories of Aether and Electricity*, I - *The classical theories* ; II - 1900-1906, Nelson, 1951-1953, Vol. I, p. 28.

Arthur Koestler cite un texte plus complet (*Les Somnambules*, Calmann-Levy, 1960, p. 323 et 485) :

"Il est inconcevable que la matière brute inanimée, sans la médiation d'autre chose qui ne soit pas matérielle, agisse sur une autre matière sans contact mutuel ..."

Cette conviction était également celle de Maxwell qui en conclusion de son *Traité d'Electricité et de Magnétisme* ² écrit :

"Toutes les théories conduisent à concevoir un milieu dans lequel se produit la propagation ; et, si nous admettons l'hypothèse de ce milieu, je crois qu'il doit tenir une place prédominante dans la suite de nos recherches, et que nous devons essayer de combiner dans notre esprit et de nous représenter tous les détails de son action : c'est l'objet que je me suis constamment proposé dans tout le cours de ce Traité".

Au regard de toutes les connaissances dont on dispose aujourd'hui, on ne saurait considérer, comme Einstein en 1905, que l'éther constitue une hypothèse superflue ³, car on est certain que les champs gravifiques et électromagnétiques existent réellement, et ces champs ne sauraient avoir aucune existence effective sans un support matériel.

(suite de la note 1)

"Et c'est une des raisons pour lesquelles je désirais que vous ne m'attribussiez point la gravitation innée. Que la gravitation soit innée, inhérente et essentielle à la matière, de sorte qu'un corps puisse agir sur un autre à distance, dans le vide, sans aucune médiation à travers et par laquelle leur action et leur force puissent passer de l'un à l'autre, c'est pour moi une si grande absurdité, que je crois qu'aucun homme doué d'une faculté compétente de penser en matière de philosophie, ne pourra jamais y tomber. La gravitation doit être causée par un agent agissant constamment selon certaines lois ; mais quant à savoir si cet agent est matériel ou immatériel, je laisse cela au jugement de mes lecteurs".

D'après Whittaker (p. 28) Newton *"conjectured that the density of the aether might vary from place to place, and that bodies might tend to move from the denser parts of the medium to the rarer"*.

- (2) Maxwell (1831-1879), traduction française, Gauthier-Villars, Tome II, 1889, p. 562.
- (3) Einstein, 1905, *Sur l'électrodynamique des corps en mouvement*, Gauthier-Villars, 1925, p. 3.

"On verra que l'introduction d'un "éther lumineux" devient superflue par le fait que notre conception ne fait aucun usage d'un "espace absolu au repos" doué de propriétés particulières, et ne fait pas correspondre à un point de l'espace vide, où ont lieu des processus électromagnétiques, un vecteur de vitesse".

Il convient cependant de souligner ici que le qualificatif "superflu" se rapporte seulement à l'existence d'un "espace absolu au repos".

En fait, en 1920, Einstein écrit lui-même ⁴ :

"Le point de vue qu'on pouvait, au premier abord, adopter ... semblait être le suivant : l'éther n'existe point du tout. Les champs électromagnétiques ne représentent pas des états d'un milieu, mais sont des réalités indépendantes, qui ne peuvent être réduites à rien d'autre et qui ne sont liées à aucun substratum, exactement comme les atomes de la matière pondérale ...

"Les champs électromagnétiques apparaissent comme des réalités ultimes et irréductibles, et il semble, au premier abord, superflu de postuler un éther homogène et isotrope, dont les champs devraient être considérés comme représentant les états ...

"Une réflexion plus attentive nous apprend pourtant que cette négation de l'éther n'est pas nécessairement exigée par le principe de la relativité restreinte ...

"Nier l'éther, signifie qu'il faut supposer que l'espace vide ne possède aucune propriété physique. Or les faits fondamentaux de la mécanique ne se trouvent pas d'accord avec cette conception ...

"Les faits ont définitivement écarté la conception que l'espace serait physiquement vide..."

"Ce qui importe principalement, c'est de supposer comme réel, à côté des objets accessibles à l'observation, un objet qui est inaccessible, afin de pouvoir regarder l'accélération ou la rotation comme quelque chose de réel..."

"En résumant, nous pouvons dire : D'après la théorie de la relativité générale, l'espace est doué de propriétés physiques, dans ce sens par conséquent un éther existe. Selon la théorie de la relativité générale un espace sans éther est inconcevable".

(4) Einstein, 1920, *L'éther et la théorie de la relativité*, Gauthier-Villars, 1921, p. 9, 11, 12, 11 et 15.

Au regard de cette citation on voit combien certains jugements d'auteurs relativistes apparaissent injustifiés.

Ainsi J.L. Synge (*Relativity, The Special Theory*, North Holland, 1956, p. 4 et 161) écrit :

"Out of the work of Lorentz and Poincaré the special theory of relativity emerged, Einstein (1905) clearing up philosophical difficulties by destroying the concepts of ether ...

"The (Michelson) result has been a tremendous historical importance because it helped to loosen the hold of the ether-theory, but that does not concern us since the concept of the ether is dead and gone".

De même encore Ougarov (*Théorie de la relativité restreinte*, Editions Mir, 1974, p. 294) écrit :

"La Relativité restreinte mit fin à l'hypothèse de l'éther ... Le principe de la relativité barre définitivement la voie à toute possibilité de déceler l'éther expérimentalement".

En fait, l'éther qui constitue une réalité physique ne saurait être considéré ni comme homogène et isotrope ni comme dépourvu de tout mouvement.

Sa nature *réelle* nous échappe encore au regard notamment de l'incapacité où nous nous sommes trouvés jusqu'ici d'élaborer une théorie unitaire de la gravitation, de l'électromagnétisme, et des quanta. *Mais cette incapacité ne révèle que l'incapacité de notre esprit, et elle ne saurait être considérée comme une preuve de l'inexistence de l'éther.*

Il paraît réellement impossible d'imaginer que des actions à distance puissent s'effectuer sans l'existence d'un milieu intermédiaire qui les transmette. Un espace sans éther est totalement inconcevable 5.

L'éther est le support matériel de la totalité des phénomènes gravifiques, électriques, magnétiques, et optiques. *Nous connaissons certaines lois de ses manifestations, mais actuellement nous ne savons réellement rien de sa constitution ultime.*

 (5) Pour une fois je me sens en profond désaccord avec Henri Poincaré lorsqu'il écrit : *"Peu nous importe que l'éther existe réellement : c'est l'affaire des métaphysiciens. Cette hypothèse est commode pour l'explication des phénomènes"*, (1902, *La Science et l'Hypothèse*, Flammarion, 1927, p. 245-246).

Certes, l'existence de l'éther est une hypothèse commode, mais c'est une hypothèse *inévitable*, et la recherche de ses propriétés conditionne certainement la réalisation de grands progrès, et en tout cas l'édification d'une théorie unitaire de la physique rassemblant dans un même ensemble homogène et cohérent la gravitation, l'électromagnétisme, et les quanta.

Sur le concept de "commodité", voir ci-dessus, p. 554, les réflexions très pertinentes de Paul Painlevé.

Contrairement à une opinion trop commune les expériences de Michelson, Morley et Miller n'ont pas démontré l'inexistence de l'"éther", mais simplement que l'hypothèse de la fixité de l'"éther" par rapport aux étoiles fixes en tout point de l'espace ne peut être retenue.

Bien que depuis l'avènement de la théorie de la relativité, le concept de l'éther paraît avoir été exclu du domaine de la science, il est réapparu peu à peu sous d'autres dénominations : - celle de "fluide associé" (Paulette Fevrier, *L'interprétation physique de la mécanique ondulatoire et des théories quantiques*, Gauthier Villars, 1956, p. 114-115 et 151-198) ; celle de "représentation hydrodynamique" (id. p. 165-166) ; - celle de "fluide pilote" (J.P. Vigié, *Structure des micro-objets dans l'interprétation causale de la théorie des quanta*, Gauthier-Villars, 1956, p. 110) ; - celle de "gaz relativiste" (J.L. Synge, *The Relativistic Gas*, North Holland, 1957) ; - celle de "fluide de probabilité" (E. Durand, *Mécanique Quantique, I, Equation de Schrödinger*, Masson, 1970, p. 67-68) ; - celle de "fluide quantique" (F. Fer, *L'irréversibilité, fondement de la stabilité du monde physique*, Gauthier Villars, 1977, Chapitre V, p. 56-79) ; etc ...

Notre situation correspond au mythe de la caverne de Platon. Les ombres que nous apercevons sur les murs sont de plus en plus précises, mais la nature ultime de la réalité qu'elles représentent nous échappe encore, et elle continuera probablement à nous échapper dans tout l'avenir prévisible ⁶.

 (6) *En fait, plus nos connaissances progressent, et plus le monde dans lequel nous vivons apparaît incompréhensible.*

Pas plus qu'il y a vingt-cinq siècles nous ne pouvons imaginer que le monde ait eu un commencement ni qu'il aura une fin. Mais les deux hypothèses contraires sont tout aussi inimaginables.

De même un univers fini est tout aussi inconcevable qu'un univers illimité.

De même encore, qu'il y ait une limite ou aucune limite dans l'infiniment petit présente des propositions également inconcevables.

A vrai dire nous sommes ici inévitablement dans le domaine de l'invérifiable et dans celui de la métaphysique.

2.- Une évidence expérimentale

La régularité la plus frappante sous-jacente aux observations de Miller est certainement la *perpendicularité des hodographes des vitesses à la direction moyenne des azimuts* ¹.

C'est là une donnée d'observation *incontestable et incontournable* qui a une portée *considérable* : elle infirme à la fois en effet la *théorie classique* et la *théorie de la relativité* ².

Ainsi ce que montre cette régularité, mise en évidence dans les observations interférométriques de Miller, *ce n'est pas ce que l'on attendait*, c'est-à-dire une corrélation directe avec la vitesse orbitale et cosmique de la Terre, *mais un phénomène différent, une anisotropie de l'espace*.

Pour interpréter cette régularité dans les observations de Miller un grand nombre d'hypothèses sont concevables. Suivant sans doute la plus vraisemblable il y aurait un entraînement total de l'éther dans le mouvement de translation de la Terre et une anisotropie liée aux phénomènes astronomiques. Suivant cette interprétation il n'y aurait pas d'influence *directe* de la vitesse de la Terre sur les observations de l'interféromètre ³. *Les différences de vitesses constatées ne correspondraient qu'à l'anisotropie de l'espace* ⁴.

(1) Voir ci-dessus *Chapitre IV*, § D.4.3, p. 404-408, et les *Graphiques X et XI*, p. 407-408.

(2) Elle infirme la théorie classique puisque les hodographes ne sont pas symétriques par rapport au méridien (*Chapitre IV* ci-dessus, § 6.2.2., p. 421), et elle infirme la théorie de la relativité puisqu'elle met en évidence la non invariance de la vitesse de la lumière (*Chapitre IV* ci-dessus, § F.2.5, p. 424).

(3) A l'appui de cette interprétation on peut considérer que l'hodographe H_T correspondant à la vitesse de la Terre est symétrique par rapport au méridien, alors que l'hodographe observé H et son estimation elliptique H^* apparaissent comme perpendiculaires et symétriques par rapport à l'azimut moyen \bar{A} de Miller différent du méridien.

En fait, et *a priori*, toute influence de l'hodographe H_T sur les hodographes H et H^* devrait compromettre la perpendicularité et la symétrie de l'hodographe H par rapport à l'azimut \bar{A} , alors que l'on constate qu'il n'en est pas ainsi.

(4) Voir ci-dessus *Chapitre IV*, § F.2.4, et F.2.5, notes 7 et 8, p. 422-424.

3. - Les fondements d'une théorie unitaire de la physique

Ces considérations montrent très clairement les voies dans lesquelles doit s'engager la recherche d'une théorie unitaire.

Le fait est que l'éther se manifeste constamment par des phénomènes représentables par des lois parfaitement définies, non pas rigoureusement, mais avec une certaine approximation qui dans le cas de la gravitation est de l'ordre de 10^{-6} .

Rechercher les propriétés de l'éther à partir de considérations *a priori* est une entreprise qui n'a cessé d'échouer. Par contre, si l'on est bien convaincu que les propriétés de l'éther ce sont les équations indéfinies qui caractérisent la gravitation, les phénomènes électriques et magnétiques, et les phénomènes optiques, la recherche de la structure de l'éther se ramène à la recherche d'une formulation synthétique incluant dans un même ensemble homogène et cohérent toutes ces relations ^{1, 2}.

(1) C'est pour moi une conviction que l'on peut faire dériver la formulation de la gravitation de la formulation de l'électromagnétisme.

Certaines tentatives intéressantes ont déjà été effectuées, notamment celles de L. Decombe : *Théorie électronique de la gravitation*, CRAS, 17 mars 1913 ; - *Les pellicules sphériques électrisées. Calcul direct de la constante de la gravitation en fonction des constantes d'Avogadro, de Faraday, de Rydberg et de Planck*, CRAS, 24 novembre 1924 ; *Les pellicules électrisées et les séries spectrales*, CRAS, 5 décembre 1927.

Voir également G. Darrieus : *Sur une relation entre la constante de la gravitation et les autres constantes fondamentales*, CRAS, 19 juillet 1926.

Voir encore, et par exemple, F. Prunier, 1932, *Essai d'une physique de l'éther* ; et Henri Varcollier, 1949, *Fondements de l'explication électromagnétique de la gravitation universelle*.

(2) Si parfaites que puissent apparaître les lois de la gravitation universelle de Newton, c'est un fait qu'elles ne peuvent expliquer les très nombreuses régularités qui existent dans le système solaire. Tout particulièrement les régularités qui caractérisent les trajectoires des planètes et qui paraissent correspondre à un système d'ondes stationnaires.

Sur ces régularités voir notamment : - Gaussen, *Lois concernant la distribution des astres du système solaire*, CRAS, T. 90, 1880, p. 518 ; - Gaussen, *Lois concernant la distribution des astres du système solaire*, CRAS, T. 90, 1880, p. 593 ; - Belot (E.), *Formule applicable aux durées de rotation directe des planètes et du soleil*, CRAS, T. 143, 1906, p. 1126 ; - Belot (E.), *Sur la distance des satellites d'Uranus et de Jupiter*, CRAS, avril 1907, p. 885 ; - Delauney, *Lois des distances des satellites du soleil*, Gauthier-Villars, Paris, 1909 ; - Butavand (F.), *Les lois empiriques du système solaire et les harmoniques tourbillonnaires*, Gauthier-Villars, Paris, 1913 ; - Olive (F.), *Sur le système solaire*, CRAS, Vol. 157, 1913, p. 1501 ; - Blagg (M.A.), *On a suggested substitute*

Avec une telle conception toutes les particules, et d'une manière générale la matière, ne représentent que des singularités locales de l'éther et des solutions particulières de cette formulation synthétique.

C'était là d'ailleurs la conviction profonde d'Einstein lorsqu'il écrivait ³ :

"Ce serait naturellement un progrès bien considérable, si l'on réussissait à réunir en une représentation unique le champ de gravitation et le champ électromagnétique. C'est alors seulement que l'ère de la Physique mathématique, inaugurée par Faraday et Maxwell, aboutirait à un résultat satisfaisant. Alors l'opposition éther-matière s'évanouirait et toute la physique représenterait le même système cohérent d'idées".

et comme il l'écrivait encore ⁴ :

"Une théorie vraiment rationnelle devrait déduire les particules élémentaires (électron, etc.) et non pas les poser a priori".

Comment ne pas suivre ici J.P. Vigier lorsqu'il écrit ⁵ :

"Je ne puis m'empêcher de croire que conformément au rêve de Descartes, qui vouait la Physique théorique à l'étude géométrique de la matière en mouvement, la nature se réduit à une substance unique, matérielle, describable géométriquement, dont les formes successives, en perpétuelle transformation, rendent compte de la prodigieuse diversité des phénomènes élémentaires".

(suite de la note 2)

for Bode's Law, Royal Astronomical Society, Vol. 73, 1913, p. 414 ; - Demozay (L.), Relations remarquables entre les éléments du système solaire, Gauthier-Villars, Paris, 1919 ; - Delauney, Problèmes astronomiques, Gauthier-Villars, 1920 ; - Vilar (A.), Notes sur les distances des planètes au soleil, Jouve, Paris, 1923 ; - Belot (E.), La naissance de la Terre et de ses satellites, Gauthier-Villars, 1931 ; - Bourgeois (P.) et Cox (J.F.), Sur la répartition des inclinaisons et des excentricités des orbites des petites planètes, CRAS, T. 198, 1934, p. 53 ; - Prunier (F.), Quelques observations et expériences nouvelles, Chapitre I, Archives des Sciences Physiques et Naturelles, Institut de Physique de l'Université de Genève, 1946.

Voir tout particulièrement : - Butavand, 1913 ; - Demozay, 1919 ; - Prunier, 1946.

(3) Einstein, 1920, *L'éther et la théorie de la relativité*, 1921, id., p. 15.

(4) Einstein, Lettre du 10 septembre 1952, *Correspondance avec Michele Besso*, id., p. 283.

(5) J.P. Vigier, 1953, *Physique relativiste et Physique quantique*, dans Louis de Broglie, *La physique quantique restera-t-elle indéterministe ?*, Gauthier-Villars, p. III.

C'est là une conception que je partage entièrement. La Physique contemporaine traverse actuellement une période de transition, voire de crise, les données de l'expérience pouvant apparaître actuellement comme contradictoires. Mais tôt ou tard, pour l'essentiel, elle en sortira.

La crise actuelle de la physique, si crise il y a, n'est d'ailleurs, pour une grande part, qu'une crise de l'intelligence.

4. L'éther, facteur explicatif incontournable

A quelque point de vue que l'on se place, l'éther apparaît comme un élément explicatif incontournable.

Pour nous borner ici au mouvement de la Terre, c'est un fait que les expériences de Foucault et de Michelson et Gale ont démontré qu'elle tourne, mais si elle tourne, *elle tourne par rapport à quelque chose de local* dès lors que l'on exclut l'hypothèse invraisemblable des actions à distance, et *ce quelque chose de local ne peut être que l'Ether environnant.*

De même, tous les phénomènes analysés dans les cinq premiers chapitres de cet ouvrage démontrent *une très forte corrélation des observations avec la position de la Terre sur son orbite. Tous ces phénomènes ne sont concevables que comme des effets transmis par l'intermédiaire de l'éther.*

Il en est de même de l'association des ondes et des photons, de la nature profonde des quanta, et des apparences indéterministes de certains phénomènes. *Ils ne sont inexplicables que si l'on rejette l'existence d'un milieu intermédiaire l'éther* ¹.

Comme l'écrit Eddington ² :

"En aucun cas, le physicien ne doit concevoir l'espace comme du vide. Là où il n'y a pas quelque chose, il y a encore l'éther. Ceux qui, pour telle ou telle raison, n'aiment pas le mot éther, répandent libéralement des symboles mathématiques dans le vide et je présume qu'ils doivent concevoir quelque espèce de fondement caractéristique pour ces symboles. Je ne pense pas que quelqu'un se propose de tirer quelque chose du néant complet".

 (1) Voir ci-dessus § D.3.5, p. 531-534.

(2) A.S. Eddington, 1927, *La Nature du Monde Physique*, Payot, 1929, p. 147.

Si tant d'erreurs ont été commises dans le passé, si la science a pu se fourvoyer dans des voies sans issue, c'est que trop souvent elle s'est laissée guider par des vues *a priori*, et que trop souvent elle les a fait prévaloir sur l'examen objectif des faits. Mais comme l'a écrit Pareto ³ :

"Il est faux de croire que l'on puisse découvrir exactement les propriétés des faits concrets en raisonnant sur les idées que nous nous faisons a priori de ces faits, sans modifier ces concepts en comparant a posteriori leurs conséquences avec les faits".

Poincaré écrivait en 1905, dans *La Valeur de la Science* ⁴ :

"Il est permis d'espérer que la complication des phénomènes physiques nous dissimule ... je ne sais quelle cause simple encore inconnue".

Cette cause simple, n'est-elle donc pas ce milieu intermédiaire, l'Ether, dont les propriétés conditionnent tous les phénomènes physiques ?

(3) Vilfredo Pareto, 1909, *Manuel d'Economie Politique*, Giard, 1927, p. 13.

(4) Henri Poincaré, 1905, *La Valeur de la Science*, id., p. 162.