Séminaire de philosophie et mathématiques

Robert Lutz

Physique externe et gravitation

Séminaire de Philosophie et Mathématiques, 1992, fascicule 4
« Physique externe et gravitation », , p. 1-24
<http://www.numdam.org/item?id=SPHM_1992___4_A1_0>

© École normale supérieure – IREM Paris Nord – École centrale des arts et manufactures, 1992, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la série « Séminaire de philosophie et mathématiques » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (http://www.numdam.org/conditions). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

Numdam
Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
http://www.numdam.org/

PHYSIQUE EXTERNE ET GRAVITATION

Robert Lutz

Université de Haute Alsace

Conférence prononcée le 16 Mars 1992 au Séminaire de Philosophie et Mathématiques de L'Ecole Normale Supérieure.

La gravitation est certainement le phénomène physique le plus immédiatement perceptible et le plus totalement mystérieux. Comment est-il possible qu'un astre en attire un autre à travers l'espace quasiment vide de toute substance? Les pommes tombent vers la terre, les planètes vers le soleil. Depuis Galilée, Képler et Newton nous savons *comment*. Mais cela n'étanche pas notre soif de savoir *pourquoi*...

L'objet de cette conférence est double. Tout d'abord il s'agit de préciser dans quel contexte scientifique la question du *pourquoi* aurait un sens. Je nommerai ce contexte *physique externe*. Sa mise en place relève de l'épistémologie.

Ensuite il s'agit de proposer dans ce cadre un mécanisme explicatif cohérent pour la gravitation, qui laisse la porte ouverte à l'explication d'autres phénomènes considérés jusqu'ici comme premiers: lumière, électromagnétisme etc... Nous aurons ainsi, peut-être, reculé les limites du *pourquoi*...

Ce deuxième objectif relève de la physique mathématique assortie de simulations numériques.

On peut évidemment contester la réalité des phénomènes prévus par la physique externe mais cachés à l'observation directe. Par contre, on ne peut rester indifférent à la réalité d'un mécanisme qui se comporte comme la gravitation.

J'éviterai de noyer les difficultés sous des développements historiques et épistémologiques destinés à justifier ou minimiser *a priori* l'intérêt de la physique externe. Son illustration sur l'exemple de la gravitation est suffisamment éloquente et fondatrice pour qu'elle se passe de plaidoirie. Je n'en évoquerai d'ailleurs que les conséquences les plus immédiates. Juste assez pour que l'auditoire se mette à rêver... Et si les choses étaient *vraiment* ainsi?

1. Physique interne et physique externe.

D'après le "Petit Robert", la physique est la science qui étudie les propriétés générales de la matière et établit des lois qui rendent compte des phénomènes matériels. Très schématiquement, elle est constituée de deux types de connaissances complémentaires: celles qui expriment les faits expérimentaux dans le langage naturel de l'observateur, et celles qui expriment des modèles abstraits interprétant la même réalité dans le langage mathématique sous la forme de *modèles*. Le travail du physicien consiste à harmoniser les deux descriptions et à en tirer par induction et déduction des prévisions utilisables.

Lorsque les modèles descriptifs partiels sont en bon accord avec les faits expérimentaux, le physicien, faisant confiance à l'adéquation de la logique mathématique avec la logique du réel, s'efforce d'établir des liens abstraits entre eux. Il attend de ces

essais d'*unification* de nouvelles prévisions qui devront être confrontées avec la réalité observable.

La méthodologie actuelle de la physique a été inaugurée par Newton, lorsqu'il s'est démarqué des moeurs anciennes, avec un orgueil mêlé de quelque dépit, en écrivant dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica* parus en 1687:

"Je n'ai pas été capable de découvrir l'origine de la gravité dans les phénomènes mais je ne feins pas d'hypothèses: tout ce qui n'est pas déduit des phénomènes est appelé une hypothèse et les hypothèses n'ont pas de place en philosophie naturelle.

C'est assez pour nous que la gravité existe réellement et agisse selon les lois que nous avons obtenues et qui permettent d'expliquer tous les mouvements des corps célestes et de l'océan."

En fait Newton n'a pas évité aussi nettement de feindre des hypothèses, car la tentation d'expliquer la gravité par des actions de proche en proche par l'intermédiaire d'un *milieu subtil* restait fortement ancrée dans les esprits de l'époque, y compris dans le sien. Il était difficile de se dégager de l'influence cartésienne!

Mais par la suite, les physiciens ont peu à peu, non sans hésitations, débarrassé leur double discours de toute référence à des entités non directement observables à l'aide d'instruments de détection et de mesure. C'est chose faite à notre époque.

Le succès pratique de cette attitude pragmatique et minimaliste a été considérable. On lui doit certainement les avancées rapides de le technologie, après des siècles de discussions scolastiques. Je qualifie la science ainsi pratiquée de *physique interne*, car, comme l'ont écrit si élégamment Ilya Prigogine et Isabelle Stengers dans "La Nouvelle Alliance" (page 222), à propos

de la Relativité:"...*Et c'est cette physique , supposant un observateur situé dans le monde, et non l'autre physique théoriquement concevable, la physique de l'absolu, que ne cesse de confirmer l'expérimentation. Notre dialogue avec la nature est bien mené de l'intérieur de la nature et ici la nature ne répond positivement qu'à ceux qui, explicitement, reconnaissent qu'ils lui appartiennent."*

La victime la plus considérable de la purge a été le vieux concept d'éther, milieu subtil responsable de la gravitation chez Descartes, milieu quasi rigide, siège des ondes lumineuses, chez Fresnel. Lorentz l'a dépouillé de ses propriétés mécaniques, hormis de l'immobilité. Einstein lui a enlevé cette dernière , mais sans évacuer tout à fait l'éther du discours. Ecoutons les propos qu'il a tenus à l'université de Leyden le 5 mai 1920 (cf.[E])

"D'après la théorie de la relativité générale, les propriétés métriques du continuum spatio-temporel sont différentes dans l'entourage de chaque point et conditionnées par la matière qui se trouve en dehors de la région considérée. Ce changement spatio-temporel des relations entre les règles 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_{ij} *- ces faits, dis-je, ont définitivement écarté la conception que l'espace serait physiquement vide. Par là, la notion de l'éther a de nouveau acquis un contenu précis, contenu certes qui diffère notablement de celui de l'éther de la théorie ondulatoire mécanique de la lumière.*

L'éther de la théorie de la relativité générale est un milieu privé de toutes les propriétés mécaniques et cinématiques, mais qui détermine les phénomènes mécaniques (et électromagnétiques)."

Ce texte évoque les propriétés métriques de l'espace vide en ce qui concerne les mesures de longueur et de temps que l'on peut y faire à l'aide d'instruments matériels. Ceci est de la physique interne typique. Il évoque aussi un milieu responsable de l'action mécanique du vide sur la matière. Mais tant que l'on ne précise pas le mode d'action de cet éther sur la matière, et que l'on s'interdit de lui attribuer un mode d'évolution mécanique, sa considération est une simple béquille psychologique pour physiciens nostalgiques du passé... C'est pourquoi un tel point de vue n'est pas plus explicatif que celui qui s'est imposé depuis: *dans le vide règnent des champs qui sont produits par la matière et réagissent sur elle.* .Du point de vue de la physique interne la réalité des champs est tout aussi grande que celle des particules matérielles, puisque cette réalité signifie qu'ils ont un effet observable à l'aide d'instruments de mesure. On ne se préoccupe pas de la nature des champs ou des particules. Le problème des actions à distance est alors vide de sens...

Sortant résolument de la restriction imposée par Einstein à son éther "platonique", je propose d'appeler *physique externe* la science qui a pour objet l'étude des propriétés générales de la matière plongée dans un hypothétique éther caché à l'observation directe. Cet éther aurait des propriétés mécaniques et cinématiques, cachées à l'observation *mais explicites,* dont les effets sur la matière observable seraient responsables des propriétés mécaniques et électromagnétique de celle-ci. *Les champs de la physique interne seraient des caractéristiques partielles et locales de l'éther, observables grâce à leurs effets sur la matière* . On aurait donc une explication mécanique des actions à distance par

l'intermédiaire d'un "milieu subtil", conformément aux vieux rêves cartésiens...

La physique externe contient évidemment la physique interne. Elle en est une extension qui recherche une description plus profonde de la réalité. Au niveau mathématique une telle extension ne pose aucun problème de prémisses, seulement de contenu. Mais au niveau physique, c'est-à-dire celui de la réalité, il faut accepter de concevoir l'existence d'entités de base qui *semblent* flirter avec la métaphysique. Tels sont l'espace et le temps externes, non directement mesurables et munis de propriétés géométriques qui préexistent à la présence de matière et de champs.

La méthodologie de la physique externe consiste à rechercher une extension de la physique interne, aussi minimale et unificatrice que possible qui admette comme conséquences logiques les lois de cette dernière. Cette extension doit aussi lever les paradoxes de la physique interne, quitte à restreindre le domaine de validité de certaines lois bien admises. Outre son rôle explicatif, elle a donc aussi l'ambition de clarifier les zones d'ombre de la physique interne, de guider la recherche de phénomènes nouveaux, et de mieux comprendre des phénomènes déjà connus. Et aussi, bien entendu, de donner enfin à toute la physique, de la cosmologie à la microphysique un contexte dans lequel la discussion ait un sens réaliste...

Le seul domaine de la physique moderne où apparaissent des idées qui ont leur place dans la physique externe est l'interprétation de la mécanique quantique en termes de mouvement brownien ou de thermodynamique cachée des particules. Les conceptions de D.Bohm, J.P.Vigier, W. Weizel, L.de

Broglie, supposent les particules en contact avec un milieu fluide caché. Plus prudents, I.Fényes, puis E.Nelson dans la mécanique stochastique ne se prononcent pas sur la cause des fluctuations aléatoires que subit la particule, se contentant d'en interpréter les aspects quantiques par un modèle probabiliste. Mais ces points de vue, dont il est question dans les références [B] et [N] n'ont pas connu un grand succès, sans doute parce qu'ils n'ont pas amené de prévision ou de clarification nouvelle, et surtout parce que le rôle du milieu caché n'y est pas très spectaculaire: il est simplement responsable de l'agitation brownienne des particules. Il n'en va pas de même en ce qui concerne le phénomène beaucoup plus immédiatement visible qu'est la gravitation, comme j'espère vous le montrer maintenant...

2. QUELQUES FAITS THERMOMECANIQUES.

2.1. Un phénomène d'attraction.

Il s'agit de découvrir un mécanisme qui pourrait servir de modèle à la gravitation en impliquant un milieu intermédiaire entre les masses matérielles. Toutes sortes d'idées ont été envisagées dans le passé. Une des plus jolies est due à Lesage, qui voyait l'éther comme un gaz bombardant en permanence les corps. Deux objets assez proches se font alors écran et il en résulte une dépression qui les attire l'un vers l'autre. La force résultante est même proportionnelle à l'inverse du carré de la distance, comme dans la loi de Newton. Le seul défaut de ce modèle est qu'il suppose infini le libre parcours moyen des molécules du gaz, sinon le gaz thermalise sans créer d'effet écran. Mais la densité serait alors très faible, et la gravitation ne concernerait que les gros objets...

Considérons au contraire un gaz dense, qui se conforme aux principes de la thermodynamique: conservation de l'énergie et croissance de l'entropie jusqu'à l'équilibre uniforme à température constante. Cela se passe dans un récipient clos que nous supposons immense. Les molécules du gaz s'entrechoquent comme des billes élastiques et tendent à répartir le désordre des vitesses, mesuré par *l'entropie*. On dit que *le gaz est une source d'entropie pour lui-même*.

Le système mécanique qui ressemble le moins à un gaz est un *oscillateur* constitué de centres de force qui s'attirent, ce qui ne leur permet pas la liberté de se séparer durablement. Il est évident que l'oscillateur est un bon modèle pour le concept de matière!

Si nous plaçons une boule de gaz dans un gaz étendu, nous savons que les deux vont thermaliser en se mélangeant intimement et en égalisant leurs températures. La boule se dissout.

Que se passe-t-il si nous plaçons un oscillateur dans un gaz? Il ne peut pas s'y dissoudre, en raison de sa structure liée. Ses oscillations créent localement de l'ordre dans le gaz, de sorte que l'oscillateur se comporte comme un *puits d'entropie*. Celui-ci empêche le gaz de trouver l'équilibre thermique uniforme. Il s'installe un flux de chaleur dirigé vers le puits et un gradient de température dans l'autre sens. Mais, après une phase initiale où il se charge, l'oscillateur ne peut plus absorber l'énergie thermique qu'il reçoit du gaz. Il la restitue sous forme de perturbations qui s'éloignent de lui à la vitesse du son. *L'oscillateur est donc aussi un transformateur d'énergie thermique en énergie ondulatoire*. La nature de ces ondes sera précisée plus loin.

Retenons que le simple "conflit d'ordre" entre les deux systèmes mécaniques mis en contact suffit pour créer dans l'espace

un champ de gradient thermique. Ce fait qualitatif est rarement évoqué en thermodynamique usuelle en raison du faible effet à basse énergie. Mais il est incontestable.

Plaçons maintenant un second oscillateur beaucoup plus petit, destiné à servir d'objet-test, dans le flux thermique engendré par le premier. *Je dis que cet objet subit une force dirigée dans le sens du flux, alors qu'un objet inerte y serait insensible.*

On peut donner des justifications théoriques à cette affirmation, en examinant le mouvement brownien d'un oscillateur dans un gaz en déséquilibre thermique. Il s'agit en fait d'un effet statistique qui ne devient une loi mécanique qu'à l'échelle macroscopique, pour un oscillateur admettant un grand nombre de composants. Mais il se fait déjà sentir pour un simple oscillateur à un petit nombre de constituants, comme le montre la simulation numérique qui vous est présentée.

La réalité de ce phénomène ne fait donc aucun doute. On peut en donner une modélisation stochastique qui met en évidence une force d'attraction proportionnelle à l'inverse du carré de la distance, comme dans la loi de Newton.

2.2. Les ondes transversales dans un gaz.

La difficulté principale qui a ruiné l'éther traditionnel a été l'impossibilité de concilier un milieu gazeux avec les ondes *transversales* associées à la lumière dans la théorie de Fresnel. Les ondes sonores dans un gaz sont réputées *longitudinales* . Cela signifie que les petits déplacements des molécules au passage de l'onde se font dans la direction de la propagation, et non dans un plan perpendiculaire. Or, le fait expérimental que la lumière soit

polarisée impose la transversalité des ondes électromagnétiques. Pour contourner cet obstacle, on a introduit un éther quasi-rigide, dont le comportement mécanique était incompatible avec le reste de la physique... C'est cela, beaucoup plus que le résultat nul de l'expérience de Michelson-Morley, à la rigueur explicable par la contraction des longueurs, qui a vidé la notion d'éther de toute substance. Comment lever cet obstacle fondamental?

Un premier élément de réponse vient de la mécanique stochastique. On y suppose que les photons sont des corpuscules localisés admettant de vraies trajectoires, mais soumises à des fluctuations brusques et aléatoires. Le mouvement brownien qui en résulte ne peut être décrit que de manière statistique, en considérant un grand nombre de photons émis dans les mêmes conditions. Le modèle probabiliste continu qui rend compte de ce mouvement introduit très naturellement une onde transversale.*Il s'agit donc d'une onde purement mathématique, qui n'a rien à voir avec les perturbations d'un milieu.*

Tant que l'on ne précise pas la cause des fluctuations, la mécanique stochastique reste prudemment dans le cadre de la physique interne (attitude choisie par E.Nelson). Si l'on considère avec Bohm, Vigier, de Broglie et d'autres qu'elles sont dues à l'influence d'un milieu thermodynamique caché, on se trouve en physique externe. Cela ne résout pas pour autant le second volet du problème: *y a-t-il dans un gaz un phénomène d'émission de nature corpusculaire?*

Là encore, comme pour le phénomène d'attraction, la thermodynamique usuelle ne nous apprend pas grand-chose. L'acoustique linéaire évoque les ondes sonores et donne leur vitesse en fonction de la température. L'acoustique non-linéaire parle

d'ondes de choc qui vont plus vite que le son. Mais il s'agit toujours d'ondes qui ont un front étendu. Nous cherchons des perturbations localisées qui se déplacent et restent stables tout en étant soumises à des fluctuations de trajectoires dues à l'activité désordonnée du gaz.

Or depuis la célèbre découverte de la Grande Vague Solitaire par l'ingénieur britannique John Scott Russel en août 1834 sur le canal qui joint les deux côtes d'Ecosse, nous savons que les fluides admettent des ondes localisées qui ne se dispersent pas. C'est là un sujet d'étude en mathématiques qui connait de beaux succès depuis une vingtaine d'années sous le nom de *théorie des solitons*. Elle a quelques applications prometteuses en physique des plasmas.

Il est alors tentant de penser qu'un oscillateur dans un gaz émet de tels solitons sous la forme de petits tourbillons dont l'axe tend en moyenne à se stabiliser dans la direction de la propagation. Ceci justifierait deux types de rotation: levogyre et dextrogyre et assurerait donc la polarisation du phénomène. La vitesse de ces solitons serait supérieure (au sens large) à celle du son, ceux qui transportent le plus d'énergie allant le plus vite. Il s'agit en effet d'une forme particulière d'ondes de choc, la stabilité étant permise par la non-linéarité des équations du gaz. L'existence mathématique de ces solitons dans le modèle continu de Boltzmann n'est pour le moment qu'une conjecture susceptible d'évoluer. L'observation des gaz usuels ne s'est pas faite jusqu'ici dans ce sens. Il se peut d'ailleurs que le phénomène ne soit perceptible macroscopiquement que dans des conditions de densité et de température éloignées des conditions courantes. Mais il paraît clair que le phénomène est possible. Il répondrait parfaitement à la question posée plus haut. Dans l'attente d'une confirmation technique précise, il est déjà

intéressant de voir levé l'obstacle a priori des ondes transversales... Le fait que ces solitons seraient supersoniques aurait des conséquences remarquables sur les grandes questions qui agitent les physiciens: paradoxe E.P.R.,théorie de Bell, trous noirs, origine des rayons cosmiques, etc...

2.3. Le freinage des oscillateurs.

Il est évident qu'un oscillateur qui se déplace dans un fluide est freiné par celui-ci de deux manières: dans sa vitesse globale d'ensemble (i.e. celle de son centre d'inertie), mais aussi dans sa fréquence moyenne d'oscillation. En effet il comprime le gaz devant lui, ce qui augmente la viscosité apparente. L'onde de compression s'en éloigne à la vitesse locale du son, sauf si l'oscillateur est proche de cette vitesse. Dans ce cas sa fréquence est proche de 0 et la résistance à l'accélération est très grande. *La vitesse du son est donc une vitesse limite supérieure pour les oscillateurs et inférieure pour les solitons.*

Le freinage global est d'autant plus faible que les constituants de l'oscillateur ont des tailles plus proches de ceux du gaz. Mais il n'est pas nul. Le principe d'inertie usuel n'est donc pas valable ici. Il est troublant de constater qu'il existe dans la nature une expérience toute montée qui met en évidence un faible freinage des astres dans leur rotation sur eux-mêmes. L'effet est si faible que cela n'affecte pas le principe d'inertie à l'échelle de la mécanique terrestre observable. Il s'agit de *l'anomalie de répartition du moment cinétique de rotation du système solaire.* On sait en effet que le soleil devrait tourner sur lui-même beaucoup plus vite (en

moins d'un jour terrestre au lieu de 27) pour que le principe mécanique de conservation du moment cinétique soit satisfait par le système solaire. En effet le soleil ne possède que 3% du moment cinétique de rotation total mais 99% de la masse totale. On a cherché des explications compliquées de cette anomalie liées au magnétisme, mais rien ne permet d'écarter l'explication évidente du freinage par un éther caché. Si l'on fait le calcul on trouve d'ailleurs une valeur extrêmement faible du freinage; mais l'effet est révélé par l'énorme nombre de tours qu'à fait le soleil en 9 milliards d'années...

2.4. La loi de chute libre macroscopique.

La relativité générale s'introduit de façon naturelle dans la description du mouvement d'un oscillateur-test macroscopique livré à un gaz dont l'évolution est connue. Le principe de base est la *loi de chute libre* suivante, qui s'applique à un oscillateur macroscopique dont les fluctuations de trajectoire peuvent être négligées:

Pour aller d'un endroit A à l'instant t_0 *à un endroit B à l'instant* t_1 *, l'oscillateur emprunte la trajectoire le long de laquelle il puise le maximum d'entropie dans le gaz.*

Le moteur du phénomène à l'échelle microscopique reste évidemment le mouvement brownien évoqué en 2.2. Mais le principe macroscopique ci-dessus a l'avantage de conduire directement à une description quantitative en termes de métrique de Lorentz. Sa justification est claire: il s'agit d'une généralisation du second principe de la thermodynamique au cas d'un système

mixte gaz-oscillateur: l'oscillateur se gave d'entropie parce que celle-ci est constamment renouvelée par la source d'entropie qu'est le gaz.

L'évaluation de l'entropie puisée par l'oscillateur le long d'une trajectoire $x(t)$ se fait en extrapolant au cas d'un gaz non uniforme dés considérations émises par Louis de Broglie dans sa thermodynamique cachée des particules (cf [B] page 59). Renvoyant à [L] pour la justification, je donne simplement le résultat. On obtient

$$S = \frac{5kmR}{3h}\int_a^b T(x(t),t)\sqrt{1-\beta(t)^2}\,dt \qquad \text{où}$$

$$\beta(t)^2 = \sum_{i,j=1}^{3} a_{ij}(x(t),t)(v_i(t)-w_i(x(t),t))(v_j(t)-w_j(x(t),t)).$$

Dans ces formules, k,R, h sont des constantes qui ne dépendent pas de l'oscillateur; m représente sa masse, considérée comme une mesure de sa "capacité de pompage". $T(x,t)$ est la température et $w(x,t)$ la vitesse de convection du gaz en x à l'instant t, $v=\frac{dx}{dt}$ la vitesse de l'oscillateur assimilé à un point; les $a_{ij}(x,t)$ sont les coefficients de "l'ellipsoïde sonore", qui donne en chaque point la vitesse relative du son dans chaque direction autour de la vitesse de convection.

On voit ainsi apparaître la métrique de Lorentz

$$ds^2 = \frac{25R^2}{9}T^2[\,dt^2 - \sum_{i,j=1}^{3} a_{ij}\,(dx_i-w_i dt)(dx_j-w_j dt)\,]$$

à laquelle serait associée en Relativité Générale (en l'absence de forces autres que la gravité) la loi de chute libre qui consiste à rendre maximale l'intégrale de la racine carrée du ds^2 calculée le long de la trajectoire. *Mais ceci est exactement notre loi de*

consommation maximale d'entropie, le "temps propre relativiste" ds étant à un facteur près la variation infinitésimale d'entropie dS. L'interprétation en termes d'horloge va alors de soi, puisqu'une horloge est un oscillateur macroscopique particulier dont le mouvement interne participe à la consommation d'entropie.

Notons que le coefficient m n'a aucune influence sur les trajectoires de chute libre , puisqu'il est en facteur dans l'intégrale de l'entropie. *On trouve donc bien que tous les objets-test suivent les mêmes trajectoires pour des conditions initiales données.* Par ailleurs dans le cas uniforme sans vitesse de convection on trouve la métrique de Minkovski

$ds^2 = c^2 (c^2 dt^2 - \langle dx, dx \rangle)$ pour laquelle les trajectoires de chute libre sont des droites parcourues à vitesse constante.

Les fonctions T, w, et a_{ij} décrivent partiellement l'état macroscopique du gaz. En principe on pourrait les déterminer à partir de l'équation de Boltzmann et de conditions initiales données. Mais il s'agit d'un problème mathématique redoutable! Elles sont évidemment couplées par des conditions qui constituent dans notre contexte les "vraies" équations du champ. Il se peut que l'on puisse en tirer une justification thermodynamique des équations du champ dans le vide choisies par Einstein en raison de leur simplicité, mais sans justification physique a priori (il s'agit de la nullité du tenseur de Ricci associé à la métrique).

3. UN MODELE D'UNIFICATION EXTERNE.

Il est maintenant tentant de proposer un modèle mathématique de physique externe aussi simple que possible, qui fournisse un cadre conceptuel et phénoménologique pour tous les aspects de la physique connue. L'univers externe serait une hypersphère **U** de dimension trois et de courbure très faible, munie de sa géométrie riemannienne à courbure constante. Cet espace est homogène et isotrope. C'est le seul espace clos simplement connexe de dimension trois ayant ces propriétés. L'espace temps externe est donc le produit **U x R** . L'espace **U** est le siège d'un système mécanique conservatif constitué de points sans structure appelés *unitons* . Leur nombre est immense et ils obéissent à une loi d'interaction de très courte portée donnée par une force qui dérive d'un potentiel "en puits", répulsif à faible distance, attractif plus loin et nul au delà.

Il n'y a donc aucune action à distance entre unitons. Pourtant je prétends que ce modèle rudimentaire "à la Boscovitch", proche des idées mécanistes du 18ème siècle, et qui est guidé par un atomisme intégral, présente pratiquement tous les aspects de la physique connue. *Cela ne veut pas dire que la nature est ainsi faite, mais que ce modèle lui ressemble très fortement dans ses aspects de physique interne.*

Je donne simplement ici les grandes lignes de la justification. Tout d'abord dans un tel système cohabitent un gaz binaire (c'est-à-dire où les rencontres de plus de deux unitons sont rares) et des sous-systèmes oscillants que je nommerai *particules de matière.* En effet, deux unitons qui se rencontrent tout seuls sont obligés de se séparer à nouveau, en raison de la conservation de l'énergie et de l'impulsion. La rencontre de trois unitons peut donner, dans des

conditions très précises, une paire qui reste liée etc... Le gaz binaire d'unitons est donc possible malgré la force d'attraction!
Il y a deux façons de créer des particules. Soit en concentrant une grande quantité d'unitons dans un petit espace. On obtient un big-bang d'où émergent après dispersion des structures liées oscillantes qui se séparent, les premières parties étant les plus rapides (ceci fait penser à l'expansion de Hubble). Ou alors, si le système est proche de sa température critique de condensation, il suffit d'une petite fluctuation locale pour que se crée une particule, et peut-être même tout un amas de particules. Par exemple un apport d'énergie sous forme de solitons dans le gaz binaire met localement de l'ordre dans le gaz. Cette diminution d'entropie abaisse la température qui peut descendre sous la température critique et créer des condensations. Ce phénomène ressemble à la création de particules dans le vide quantique par apport d'énergie. Dans l'autre sens l'anihilation de particules dissipe de l'ordre et libère donc de l'énergie.

Chaque particule émet évidemment des perturbations dans le gaz, qui portent la marque de la manière dont elle oscille. Par ailleurs chaque particule subit les effets des perturbations dues à ses voisines. On peut penser que dans certains cas peuvent s'établir des résonances qui privilégient certains comportements relatifs de manière quantifiée, avec des sauts d'un état favorable à un autre permis par les fluctuations dues au gaz. Il peut aussi apparaître des incompatibilités qui font se repousser les particules. On peut assez facilement en déduire un analogue de la force électrique et interpréter la charge en termes de dissymétrie de fonctionnement des particules entre les deux sens du temps. Assez curieusement le modèle admet exactement deux autres effets, de faible portée, qui

rappellent les interactions fortes et faibles de la physique des particules (pour le détail voir [L]).

En résumé ce modèle présente des analogies troublantes avec les faits essentiels de la physique interne! Pour en faire un modèle de physique externe, il faut accepter de situer les événements externes, dont les phénomènes internes sont conçus comme des conséquences, dans un espace et par rapport à un temps qui existent indépendamment des observateurs, au sens suivant: *les instruments de la physique interne permettraient de les mesurer si l'on savait décrire leur fonctionnement externe et décoder ainsi leurs indications.*

Par exemple, une horloge donne un temps interne qui est fonction du temps externe à travers les aventures mécaniques externes que subit l'horloge en raison de son mouvement dans l'univers. La connaissance explicite de cette fonction n'est heureusement pas nécessaire pour comparer les indications d'une horloge avec celles d'une autre; ceci permet de faire de la physique interne (relativiste) où l'on n'utilise que le temps local de l'observateur. On peut admettre en première approximation que le temps des horloges n'est pas trop éloigné du temps externe. La mécanique classique peut alors être réinterprétée comme une mécanique interne qui négligerait les variations que connaissent les instruments de mesure en fonction de leurs aventures externes. Les prévisions qu'elle donne ont simplement une limite de validité que les physiciens du dix-neuvième siècle ont mise en évidence par des expériences convenables; celles-ci ont stimulé la recherche d'une mécanique interne mieux adaptée lorsque les limites de validité de l'approximation sont franchies. Nous ne faisons donc pas ici

référence à un espace et un temps absolus au sens métaphysique de ce terme!

Le modèle ci-dessus met également en évidence la raison pour laquelle les constituants du gaz d'unitons ne peuvent pas être détectés par des instruments constitués de particules plus grossières. En effet l'impact d'un uniton ne peut être distingué du bruit de fond dû à l'attaque collective des unitons du gaz. Les mesures sont inséparables de ce bruit de fond. C'est bien ce que dit le principe d'incertitude...

4. QUELQUES IMPLICATIONS INTERNES DE LA PHYSIQUE EXTERNE.

Nous avons assigné (§1) à la physique externe une mission de clarification et de fondation envers la physique interne. Le moment est venu d'en ébaucher l'accomplissement, en examinant quelques conséquences immédiates de l'hypothèse suivante:
"il existe un corps de phénomènes réels fonctionnant selon les grandes lignes de la physique externe présentées plus haut".

(i) le principe d'inertie de la mécanique n'est pas parfaitement juste. Il existe un faible effet de freinage dû à l'éther; une preuve en est l'anomalie du moment cinétique du système solaire.

(ii) il existe des tachyons, c'est-à-dire des signaux qui voyagent plus vite que la lumière. Il n'y a donc pas de localité einsteinienne: un tel signal remonte le temps relativiste. Ceci relance la discussion autour des inégalités de Bell et des expériences du type de celles qu'a réalisées A. Aspect. Mais cela ne veut pas dire que la *matière* peut remonter le temps d'horloge, car

les tachyons sont des perturbations de l'éther, et non des particules matérielles.

(iii) les rayons cosmiques, dont on ignore la provenance, pourraient être des tachyons qui ont ralenti en perdant une part de leur énergie (l'éther n'étant pas un milieu parfaitement continu, ses solitons se dispersent peu à peu). Ils pourraient donc venir de bien plus loin qu'on ne pense.

(iv) le rayonnement cosmique fossile isotrope à 2.7°K découvert en 1965 par A.A.Penzias et R.W.Wilson et considéré comme une conséquence du Big-Bang (et avec l'expansion de Hubble, comme l'une des deux justifications de celui-ci), pourrait bien en partie se justifier autrement. En effet, la physique externe dit que la matière ne peut exister sans constamment transformer en rayonnement de l'énergie thermique puisée dans l'éther . D'où la nécessité d'un rayonnement permanent et isotrope (car la matière est assez uniformément répartie dans l'univers visible) qui se renouvelle inlassablement.

(v) On peut concevoir l'existence d'un astre très actif comme oscillateur, donc responsable d'une forte attraction gravitationnelle, mais assez condensé pour que la vitesse de la lumière à sa surface soit pratiquement nulle. Le calcul montre que ceci est possible, car on retrouve le modèle de Schwarzschild avec un rayon qui a une signification externe. Mais la théorie usuelle des trous noirs où la vitesse de la lumière est nulle à une distance critique supérieure au rayon de l'astre (cette théorie est déjà incompatible avec la relativité générale si l'on n'introduit pas d'escroquerie mathématique...) ne s'accorde pas avec une thermodynamique raisonnable de l'éther. Il faudrait en effet que la température de l'éther soit nulle en un endroit extérieur à l'astre... Par contre, le cas

évoqué ci-dessus nous donne un astre invisible mais émettant des rayons de haute énergie. Or c'est bien ce que l'on observe dans les sites stellaires soupçonnés recéler un trou noir!

(vi) Un Big-Bang fournirait à coup sûr des particules. Il n'est pas indispensable pour cela si la température de l'éther est proche de la température critique, de petites fluctuations pouvant suffir à cette création. Cependant l'expansion de Hubble reste un bon argument pour justifier une explosion originelle. Mais dans l'univers externe (qu'il ne faut pas confondre avec l'espace-temps interne), on peut concevoir que la matière se concentrera à nouveau au point diamétralement opposé de l'hypersphère, car les galaxies suivent des géodésiques qui, dans le cas de l'hypersphère, sont des grands cercles. Voilà un type de contraction qui n'a rien à voir avec la gravitation. Le problème de la masse manquante perd alors son acuité. Notons que l'on peut ainsi concevoir des Big-Bang successifs alternativement localisés en deux "pôles" opposés de l'hypersphère.

(vii) La constante cosmologique qu'Einstein avait introduite dans les équations du champ pour sauver le modèle d'univers statique revient très naturellement dans mon modèle externe comme la courbure (très faible) de l'hypersphère. On peut le vérifier en écrivant les équations qui régissent un gaz à l'équilibre uniforme dans une hypersphère en l'absence d'oscillateurs qui le perturbent.

(viii) L'univers regorge d'énergie, celle de l'éther. Mais elle est présente sous une forme non directement utilisable. La matière la transforme en rayonnement, sans doute trop faible pour être utilisable (bien que le flux thermique soit capable de travail mécanique sous forme de potentiel de gravitation). On pourrait peut-être détecter ce phénomène en établissant le bilan entrée-

sortie d'énergie dans un dispositif fermé d'activation de matière par des rayons laser assortis de concentrateurs paraboliques. A l'opposé des expériences à base de matière figée près du zéro absolu pourraient mettre en évidence une diminution de l'effet gravifique.

On peut penser que tout ceci est plein de fantaisie. Mais j'ai seulement évoqué ces questions pour montrer que la physique externe pouvait être une incitation puissante à la remise en question des théories en usage et acceptées quelquefois malgré des paradoxes inexpliqués...

Il est clair que le même exercice peut être entrepris à propos d'autres aspects de la physique. Par exemple, l'explication de la force électrique via l'éther conduit à admettre que deux électrons peuvent se mettre dans des positions relatives telles que la répulsion disparaît. Dans les conditions d'agitation désordonnée usuelles, ce fait passe inaperçu au profit de la loi de Coulomb, *qui serait seulement une loi statistique.* Mais dans un réseau refroidi d'atomes bien placés , les électrons libres peuvent se mettre dans des positions de neutralité qui autorisent un courant sans résistance. Un montage *pensé pour cela* devrait permettre de décider si *deux* électrons libres se repoussent toujours ou non...

5. CONCLUSION.

Ni le philosophe des sciences ni le physicien ne peuvent rester indifférents devant la provocation que constituent les affirmations ci-dessus. Le premier a pour métier de susciter la réflexion sur l'évolution du savoir. S'il ne veut pas se contenter d'une attitude d'analyste neutre, mais rendre l'épistémologie *prospective,* il se doit d'interpeller le physicien en lui demandant de lui fournir des raisons objectives de ne pas explorer une piste qui

semble cohérente, sans le laisser se réfugier dans des arguments d'autorité.

En effet, la réaction la plus banale que l'on peut attendre des spécialistes va de la franche hostilité à l'indifférence polie. La réaction du physicien ouvert et honnête sera plus nuancée. Il dira sans doute:

(i) il y a déjà eu beaucoup de tentatives amusantes pour résoudre ce genre de problèmes anciens.

(ii) la vôtre est ingénieuse. Je vous félicite pour votre imagination.

(iii) mais en ce qui me concerne, la physique que je pratique me satisfait pleinement. En particulier je n'ai pas de problème avec les actions à distance car la réalité des champs est pour moi aussi évidente que celle de la matière.

(iv) votre théorie n'aurait un intérêt sérieux que si elle apportait des prévisions nouvelles vérifiables par l'expérience. En avez-vous?

Ces réactions sont une constante assez universelle face à un point de vue scientifique qui sort des habitudes. Je les ai vécues de très près dans les années 70-80 à l'occasion de la résurgence des idées infinitésimales sous forme d'Analyse Non Standard; là aussi une vieille idée féconde a disparu car on n'est pas arrivé à la débarrasser de ses contradictions apparentes. Bien plus tard, elle a resurgi avec une fécondité nouvelle car on s'est aperçu que ces contradictions étaient liées à un contexte de pensée inadapté. Ceci est désormais reconnu pour l'infinitésimal.

J'ai la témérité de croire qu'il en sera de même un jour pour la physique externe!

BIBLIOGRAPHIE TRES SOMMAIRE

[B] L. de BROGLIE , *La réinterprétation de la mécanique ondulatoire, tome 1* , Gauthiers-Villars, Paris,1971.

[E] A.EINSTEIN , *Réflexions sur l'électrodynamique, l'éther, la géométrie et la relativité,* Gauthiers-Villars, Paris,1972.

[L] R.LUTZ, *L'éther retrouvé,* ouvrage en préparation.

[N] E.NELSON , *Dynamical theories of brownian motion,* Math. notes, Princeton University Press,1967.

[P] I.PRIGOGINE et I.STENGERS, *La Nouvelle Alliance,* Gallimard,Paris,1979.