

# à propos des ondes gravitationnelles

## 1 L'espace-temps et les ondes

La recherche en physique théorique vise à unifier dans une même théorie les aspects principaux de la relativité générale d'une part, de la mécanique quantique d'autre part. La voie considérée généralement comme la plus prometteuse est celle initiée par G. Veneziano, une théorie des cordes. La détection des ondes gravitationnelles qui vient d'être réalisée nous semble de nature à modifier l'orientation actuelle de cette recherche,

Pourquoi ?

Parce que la mécanique quantique repose, en partie, sur la théorie de la relativité restreinte, en bref sur le principe de relativité énoncé par Poincaré en 1904 et parce que la relativité générale, dont le titre est trompeur, s'écarte de ce principe. Elle repose sur le principe d'équivalence entre gravitation et accélération et elle constitue une théorie de la gravitation qui n'est pas relativiste au sens de Poincaré. Elle n'est pas invariante par une transformation de Lorentz. La détection d'ondes gravitationnelles renforce la confiance qu'on peut accorder à la relativité générale en tant que théorie de la gravitation, ce qui suggère par le fait même, une remise en cause de la théorie de la relativité restreinte et donc une révision de la mécanique quantique.

Il existe deux principes de relativité. Selon le premier, les phénomènes physiques ne sont pas modifiés par une transformation galiléenne et la mécanique rationnelle, celle de Newton, Lagrange, Jacobi, repose sur ce principe.

Selon le second, les phénomènes physiques ne sont pas modifiés par une transformation de Lorentz et la mécanique relativiste, celle exposée par Poincaré sous le nom de mécanique nouvelle et vulgarisée avec talent en Allemagne par Einstein, en 1905, repose sur ce principe.

Le second principe de relativité, qui a été substitué au premier, est né de l'observation des phénomènes électromagnétiques. Poincaré a proposé dès 1904 d'étendre sa validité à tous les phénomènes physiques, y compris les phénomènes gravitationnels. Or ces derniers semblent en accord avec la relativité générale et cette validation suggère un abandon de ce second principe de relativité, et par voie de conséquence une révision de la mécanique quantique.

La recherche en physique théorique n'est pas orientée aujourd'hui dans ce sens, elle est orientée par l'idée qu'il est possible de faire apparaître les effets des interactions gravitationnelles, en théorie des cordes, comme identiques à ceux modélisés par la relativité générale, dans un large domaine, disons un domaine extérieur à la longueur de Planck. Le second principe de relativité n'est pas abandonné, il est au contraire conservé.

Nul ne sait aujourd'hui quelles sont les lois de la physique au voisinage immédiat d'un trou noir, c'est à dire de la singularité issue de la description des phénomènes gravitationnels selon la relativité générale. A chaque trou noir est associé son rayon de Schwarzschild, disons une bulle de lumière, mais une lumière qui, en dépit de sa vitesse, ne s'échappe pas de la bulle vers l'extérieur, comme si cette bulle marquait la frontière d'un espace-temps fini. Le trou noir est décrit ainsi comme une bulle de lumière qui n'émet pas de lumière, la lumière ressemblant au coureur qui reste sur place parce qu'il court sur un tapis roulant en sens inverse.

Nota : Hawking a montré depuis, que le trou noir émet, par effet tunnel, un rayonnement, mais ce rayonnement est si faible que la durée de vie d'un trou noir, par épuisement de sa masse en raison de cette émission, peut être beaucoup plus grande que l'âge attribué aujourd'hui à l'univers, soit 13 ou 14 milliards d'années.

Les ondes sonores sont transmises par un milieu quasi continu, l'air. Les ondes électromagnétiques ont été supposées transmises par un milieu continu nommé éther, hypothèse généralement rejetée aujourd'hui, faute d'avoir pu mettre en évidence, expérimentalement, ce milieu.

Les ondes gravitationnelles sont-elles transmises par un milieu continu ?

En nous appuyant sur un résultat mathématique, nous avons proposé l'existence d'un nuage universel de particules ténues qui pourrait tenir lieu d'éther, c'est à dire de milieu de propagation à la fois des ondes électromagnétiques et des ondes gravitationnelles. Les premières seraient des ondes "transversales", les secondes des ondes de "pression".

On trouvera dans ce qui suit quelques indications à ce sujet.

## 2 Existence des ondes gravitationnelles

Une onde gravitationnelle a été observée et cette observation renforce la valeur de toute théorie de la gravitation qui se présente comme un jeu d'équations aux dérivées partielles admettant des solutions ondulatoires, un jeu associant à un corps massif accéléré une onde gravitationnelle, de même que le jeu des équations de Maxwell descriptives des effets électromagnétiques associée à une charge électrique accélérée, une onde électromagnétique.

La relativité générale, la théorie de la gravitation de référence aujourd'hui, est une

de ces théories de la gravitation. Au regard de l'histoire des sciences, on doit rappeler que Poincaré a suggéré dès 1905 diverses théories de la gravitation qui impliquent le concept "d'onde gravifique". Extrait de la communication de Poincaré dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences, séance du 5 juin 1905 : "Quand nous parlerons donc de la position ou de la vitesse du corps attirant, il s'agira de cette position ou de cette vitesse à l'instant ou *l'onde gravifique* quitte ce corps; ...". En ce sens, le concept d'onde gravitationnelle n'est pas apparu pour la première fois en 1915 avec les publications de Hilbert et de Einstein, mais en 1905, ou même avant 1905.

Les effets d'une onde gravitationnelle, hormis le cas de l'onde induite par un corps de "grande masse très fortement accéléré", sont tellement faibles qu'ils sont pratiquement indécélables.

NOTA 1 : Il convient d'illustrer cette remarque par quelques chiffres.

Deux corps massifs accélérés quelconques, par exemple orbitant l'un autour de l'autre, émettent des ondes gravitationnelles. Un joueur de pétanque agitant ses bras avec une boule dans chaque main émet des ondes gravitationnelles. Ces ondes se propagent en s'affaiblissant avec la distance et, à une distance de quelques mètres, elles induisent une oscillation de toute mesure relative d'une longueur, d'environ  $\epsilon$ .

L'onde gravitationnelle qui a été décelée est issue de deux masses bien plus grandes que celle d'une boule de pétanque, des masses comparables chacune à trente fois environ la masse du soleil. En outre ces deux masses, chacune de densité élevée, orbitaient l'une autour de l'autre à faible distance, quelques dizaines de kilomètres et à une vitesse considérable, (presque comparable à la vitesse de la lumière). Ces deux masses étaient donc fortement accélérées. Par contre elles ont été détectées sur terre en un lieu éloigné du lieu d'émission, de sorte que l'écart relatif de mesure de longueur  $\epsilon$  à détecter était d'ordre de  $10^{-20}$  ou  $10^{-21}$ . Si le phénomène astronomique à l'origine de cette onde gravitationnelle s'était produit à moindre distance, disons aux confins du système solaire, alors l'onde gravitationnelle aurait pu être détectée aisément.

L'onde gravitationnelle émise par le joueur de pétanque induit, à quelques mètres de ce joueur, un écart relatif  $\epsilon$  tellement petit, d'ordre  $10^{-40}$ , qu'il est impossible aujourd'hui de le mettre en évidence.

$$(\epsilon \approx a.b.c^2.d.e \approx 10^{-40},$$

avec  $a \approx 10^{-21}$ , l'écart relatif de longueur sur terre induit par l'onde gravitationnelle observée, émise il y a un milliard d'années par deux trous noirs, en orbite rapprochée; avec  $b \approx 10^{-32}$ , le rapport entre la masse d'une boule de pétanque (.7 kg) et 30 masses solaires ( $30.(2.10^{30})$  kg);

avec  $c \approx 10^{-7}$ , le rapport entre la vitesse orbitale de la boule de pétanque (5 mètres par seconde) et la vitesse orbitale des deux trous noirs;

avec  $d \approx 10^4$ , le rapport entre le rayon orbital des trous noirs et l'envergure du joueur de pétanque;

avec  $e \approx 10^{23}$ , le rapport entre les distances d'émetteur d'ondes à détecteurs, un milliard d'années lumière rapporté à une distance d'ordre de quelques mètres.)

Les ondes électromagnétiques sont à l'échelle humaine et ont de ce fait d'innombrables applications. Ce n'est pas le cas vraisemblablement des ondes gravitationnelles.

NOTA 2 : Une distance qui semble bien définie est celle qui sépare deux miroirs plans parallèles. Cependant un miroir est constitué d'atomes et la distance ainsi définie semble perdre sa signification au niveau d'une fraction de rayon atomique. Pour améliorer la précision il faut introduire une distance moyenne qui efface les aspérités atomiques. Les miroirs des interféromètres les plus précis sont assez grands pour introduire le nombre d'Avogadro.

L'onde gravitationnelle observée expérimentalement, telle qu'elle est modélisée par la relativité générale est un phénomène continu en tant que solution d'équations aux dérivées partielles. Nous pensons au contraire, que cette onde n'est que l'apparence statistique, à l'échelle des observations, d'un phénomène discret sous-jacent.

### 3 Existence des ondes

#### Les ondes sonores

La propagation des ondes sonores dans l'air est également modélisée par un jeu d'équations aux dérivées partielles. L'observation de ces ondes est facile puisque l'homme est doté d'un organe, le tympan, sensible spécifiquement aux ondes émises par un émetteur telle que la membrane d'un haut parleur. L'onde est une oscillation de la pression de l'air qui se propage de proche en proche à partir de l'émetteur, dans ce milieu "continu", l'air, l'air modélisé par une équation d'état, la loi de Mariotte.

Cette modélisation des ondes sonores est très précise et elle autorise une analyse des sons par une décomposition en sons élémentaires caractérisés chacun par une fréquence.

Cependant, plus personne aujourd'hui ne conteste l'hypothèse atomistique selon laquelle l'air n'est pas un milieu continu, mais un milieu discret constitué principalement d'atomes d'azote et d'oxygène. Donc le tympan n'est pas attaqué par une onde, il est attaqué par des chocs d'atomes. La membrane du haut parleur ne se déplace pas dans un milieu continu mais dans un milieu discret et elle modifie par ses mouvements alternés la distribution des vitesses de divers atomes. Le nombre d'Avogadro s'impose dans l'analyse de cette distribution.

En l'absence de tout bruit, disons de sons, les vitesses des atomes sont désordonnées et le tympan est insensible aux chocs désordonnés. Les mouvements alternés d'une

membrane induisent un peu d'ordre dans les mouvements des atomes au contact, lequel ordre se transmet de proche en proche par contacts entre atomes voisins de sorte que la description approchée de ces mouvements d'atomes s'exprime le plus commodément par un regroupement, en ondes, propre à effacer les disparités atomiques. L'onde retient un mouvement d'ensemble et efface les spécificités des chocs individuels, elle n'a aucune existence physique, mais c'est un excellent procédé de description approchée. Le tympan est un organe intégrateur qui recueille le signal porté par l'onde et qui ignore les chocs atomiques non ordonnés.

### **les ondes électromagnétiques et les ondes gravitationnelles**

Lorsqu'on admet que les ondes sont propagées dans un milieu continu, on recherche le milieu de propagation, tel que l'air pour les ondes sonores. Pour les ondes électromagnétiques, donc en particulier, pour la lumière, on nomme ce milieu "éther" mais on n'arrive pas à le mettre en évidence et donc on en vient à contester son existence et sa nécessité à l'aide d'une certaine révision des concepts de temps et d'espace.

Plus précisément cette révision est la suivante :

Avant cette révision, on retient le principe physique de relativité qui fonde la mécanique rationnelle et selon lequel aucun phénomène physique n'est modifié par une transformation galiléenne.

Après cette révision, on retient le principe physique de relativité qui fonde la mécanique nouvelle (dite relativiste) et selon lequel aucun phénomène physique n'est modifié par une transformation de Lorentz.

Cette transformation de Lorentz implique l'existence d'une vitesse, notée  $c$ , qui est interprétée, en physique, comme étant la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques.

Ainsi, à l'aide de ce principe de relativité, revu, il devient inutile de rechercher une vitesse de propagation des ondes électromagnétiques par le biais des propriétés d'un milieu de propagation, un éther.

La mécanique quantique est fondée aujourd'hui, pour partie, sur ce principe de relativité, revu, qui, par sa construction, est totalement extérieur aux effets gravitationnels.

Si une théorie de la gravitation, primo, repose sur le principe de relativité revu, secundo, admet pour solution des ondes gravitationnelles, tertio, écarte tout milieu spécifique de propagation de ces ondes, alors la vitesse de propagation de ces ondes est  $c$ , mais par quel miracle, le principe de relativité, revu, qui est indépendant de toute masse, peut-il engendrer une description d'effets gravitationnels entre masses ?

La théorie de la gravitation, dite relativité générale, ne repose pas sur le principe de relativité, revu, mais sur la construction d'un espace de Riemann, dont les géodésiques seraient les trajectoires de tout corps d'épreuve en chute libre. La relativité générale, ainsi que l'a montré A. Friedmann, ne repose pas sur une transformation constituant un groupe, telle que la transformation de Lorentz.

La mécanique quantique s'appuyant sur le principe de relativité, revu, et la rela-

tivité générale s'écartant de ce principe, ces deux théories, mécanique quantique et relativité générale, sont incompatibles. Elles sont incompatibles en outre pour une deuxième raison plus importante encore et plus souvent avancée, à savoir la quantification elle-même.

## 4 Les ondes gravitationnelles

On a observé une onde gravitationnelle mais on n'a pas mis en évidence un milieu spécifique de propagation de ces ondes.

La relativité générale est un modèle fondé sur des équations différentielles, un modèle qui implique le concept du continu, le concept de nombre réel. Or la découverte du quantum de Planck et le succès de la mécanique quantique portent à penser que le continu n'existe pas en physique. Le concept de nombre réel serait un concept mathématique sans existence physique.

Ceci nous porte à penser qu'il existe un milieu discret de propagation des ondes gravitationnelles, un nuage universel de particules ténues, notées  $U$ , chacune de toute petite masse.

L'attraction gravitationnelle entre deux corps massifs non chargés électriquement serait due à un effet d'écran dans ce nuage.

L'interaction électromagnétique entre deux corps chargés serait due également à un effet d'écran dans ce nuage.

C'est cet "éther statistique" commun aux ondes électromagnétiques et aux ondes gravitationnelles qui expliquerait que la vitesse de propagation de ces ondes soit la même,  $c$ . Les ondes électromagnétiques seraient, en un certain sens, des ondes "transversales", les ondes gravitationnelles des ondes "de pression".

La masse de toute particule, autre qu'une particule  $U$ , autre qu'une particule d'interaction, serait liée à un cortège de particules  $U$  faisant partie de sa structure. Ce cortège dépendrait de la vitesse de traversée de ce nuage par la particule et donc la masse d'une particule dépendrait de sa vitesse. Tout principe de relativité est donc écarté, plus précisément il existe pour tout principe de relativité un domaine d'invalidité.

Nota : ce cortège pourrait dépendre également de la densité numérique volumique des particules  $U$  dans son voisinage, cette densité pouvant elle-même dépendre de la zone d'univers considéré, tel que galactique, intergalactique, *et cetera*. L'univers lointain, dans le temps et dans l'espace garde encore aujourd'hui une part de mystère. En ce sens, il n'existe rien d'universel, ni temps universel, ni constantes physiques invariantes, quelque soit leur nature. Le domaine de la physique ne peut pas dépasser sans limite celui des observations.

Lorsqu'on attribue à un effet d'écran les interactions, aussi bien gravitationnelles qu'électromagnétiques, il en résulte que les particules d'interaction n'existent pas au

sens suivant : leur statut est celui d'une température, c'est à dire d'un caractère statistique (non pas scalaire comme une température mais vectoriel) acquis au travers du passage de la description fine à la description statistique. Ainsi, le photon n'existerait pas, mais la particule  $U$  existerait. L'oeil serait un détecteur non pas de particules  $U$  mais de groupes ordonnés de particules  $U$ , groupes décrits par les caractères d'un photon, ou onde lumineuse. D'autres groupes ordonnés, pratiquement indécélables, seraient les ondes gravitationnelles.

NOTA : Soit un lieu en lequel on se propose de détecter, à tel instant, soit des ondes électromagnétiques, soit des ondes gravitationnelles. Précisons le lieu par une petite sphère et l'instant par un bref intervalle de temps. A l'échelle pré-quantique, on observe que ce lieu est traversé, dans cet intervalle de temps, par un grand nombre de particules  $U$ . Si la distribution de ces traversées, en position, en direction, est parfaitement désordonnée, alors aucune onde n'existe en ce lieu à cet instant. Si ces traversées font apparaître dans l'intervalle de temps considéré un certain ordre, une périodicité, dans les positions des traversées sur telle ou telle section méridienne de la sphère, alors cette réduction du désordre est caractéristique d'une onde. Une réduction du désordre portant sur les positions des traversées de sensiblement mêmes directions est le signe d'une onde "transversale". Une réduction du désordre portant sur une certaine somme pondérée des traversées d'un côté à l'autre d'un plan méridien, d'un intervalle de temps au suivant, est le signe d'une onde "de pression".

La distribution des particules  $U$  est partiellement ordonnée par les ondes et l'ordre induit par les ondes électromagnétiques peut être révélé à chaque instant, tandis que l'ordre induit par les ondes gravitationnelles met en jeu une intégration sur des intervalles de temps successifs. Les fréquences des ondes électromagnétiques peuvent être élevées, celles des ondes gravitationnelles sont nécessairement limitées à quelque dizaines de hertz.

Ainsi, par exemple, le photon devient un indicateur statistique vectoriel, de statut comparable à celui d'une température, donc sans existence physique aux échelles très fines d'observation. (Le photon a une existence physique un peu comparable à l'existence d'une onde sonore monochromatique.)

L'existence d'un nuage universel de particules  $U$  constitutif d'un nouvel éther, ne s'oppose en rien aux deux théories que sont la mécanique quantique et la relativité générale, il les fait apparaître comme des théories statistiques approchées.

La mécanique relativiste, (dite aussi relativité restreinte), apparaît aussi comme étant une mécanique statistique approchée.

Les différences entre les prévisions selon les théories fines et selon les théories statistiques ne peuvent apparaître qu'au niveau des mesures portant sur des intervalles de temps très petits, bien inférieurs à la nano-seconde.

L'hypothèse d'existence d'un nuage universel de particules  $U$  induit une physique "pré-quantique" faisant apparaître toutes les théories physiques, la mécanique rationnelle, la mécanique relativiste, la mécanique quantique, la relativité générale, comme des théories statistiques.

Nous avons déjà relevé que, au niveau de cette physique pré-quantique, les deux principes de relativité sont l'un et l'autre écartés parce que la masse inertielle d'une particule dépend de sa vitesse par rapport au nuage universel environnant de particules  $U$ . Ceci induit une nouvelle version des jumeaux de Langevin, que nous avons exposée. cf <http://perso.numericable.fr/raoul.charreton/phys-extrait.pdf>

On peut trouver quelques indications complémentaires à ce sujet dans certaines de nos publications antérieures :

cf la page personnelle de R. Charreton <http://perso.numericable.fr/raoul.charreton>

## 5 à propos des trous noirs

L'onde gravitationnelle qui a été observée est issue de deux trous noirs en rotation rapide l'un autour de l'autre, une masse "grande" en accélération "grande". La description d'un trou noir tient en deux nombres, sa masse et son moment cinétique. (Nous excluons l'existence de corps noirs chargés). Sa masse commande son horizon et la nature fine du trou noir dans la sphère limitée par cet horizon est inconnue. La densité moyenne du trou noir dans cette sphère est inversement proportionnelle à sa masse, de sorte que, pour les trous noirs de grande masse, cette densité est inférieure à celle d'un neutron. Une étoile à neutrons n'est pas un trou noir mais une étoile à neutrons est indiscernable d'un trou noir quant aux effets gravitationnels, hors de son horizon.

Selon Hawking et Bekenstein, chaque trou noir a une entropie, proportionnelle à la surface de son horizon ainsi qu'une température, celle du rayonnement du trou noir, rayonnement exclu classiquement, mais possible par effet tunnel. En outre, cette entropie serait maximale.

Le nuage universel, hypothétique, de particules  $U$  est hétérogène, au sens selon lequel les particules  $U$  sont, soit dispersées dans l'espace, soit regroupées dans des cortèges associés chacun à un fermion. Si des fermions sont regroupés eux mêmes, par exemple dans une étoile quelconque, la densité numérique volumique des particules  $U$  dans cette étoile et au voisinage de cette étoile est beaucoup plus grande que la densité numérique moyenne des particules  $U$  de l'univers.

Si l'entropie est maximale, comme étant celle d'un trou noir, la distribution des particules  $U$  à l'intérieur de l'horizon du trou noir est la plus désordonnée possible puisque l'entropie est la mesure du désordre, aucun cortège associé à un fermion ne doit pouvoir être distingué.

Tel est, selon nos propositions, le processus physique explicatif de l'entropie d'un trou noir. (La densité numérique volumique des particules  $U$  obéit à une loi de Poisson et ne dépend de ce fait que d'un seul paramètre, la masse du trou noir.)

Le lien entre entropie d'un trou noir et surface de son horizon est à l'origine des propositions de Gerard't Hooft quant à un "principe holographique", soutenu également par Francis Sanchez, précisé par Leonard Susskind et Juan Maldacena. (Le nom de ce principe reprend le terme qualifiant l'image *en relief* obtenue par report, sur une surface, dite hologramme, de l'information contenue dans un volume.)

Selon le principe holographique, l'information contenue dans un volume spatial intérieur à une surface est inférieure à cette surface (mesurée en unités de Planck), et il en résulte que les particules élémentaires dans un volume spatial quelconque sont en nombre fini. Le principe holographique est incompatible avec l'hypothèse du continu qui n'induit aucune limite au nombre de cellules qu'on peut distinguer dans un volume fini.

En ce sens, ce principe rejoint l'hypothèse que nous suggérons de l'existence d'un nuage universel de particules  $U$ . Cependant, notre hypothèse n'a nullement pour origine les phénomènes gravitationnels considérés comme décrits au mieux par la relativité générale, il a pour origine la recherche d'un milieu de propagation des ondes électromagnétiques. Il se trouve qu'il pourrait constituer également un milieu de propagation des ondes gravitationnelles.

R. Charreton, Paris, le 19 mai 2016, revu le 6 novembre 2016