

Einstein a toujours raison

André Lausberg

Depuis l'apparition de la relativité restreinte (en 1905) et de la relativité générale (vers 1915) ces deux théories ont connu un succès grandissant, des vérifications multiples, mais aussi diverses contestations.

Même si leur propos s'adresse d'abord à des physiciens, théoriciens et expérimentateurs, un large public se sent concerné par ces nouvelles approches des notions d'espace et de temps. Dès lors la presse s'empare de la moindre remise en cause d'une de ces théories ; et c'est ce qui s'est passé très récemment avec l'annonce de la possibilité pour des neutrinos de dépasser la vitesse de la lumière. Par ailleurs, une information circulait à propos d'une expérience moins spectaculaire, mais tout aussi fondamentale, concernant la mesure de l'entraînement des systèmes d'inertie au voisinage de la Terre en rotation.

Les titres des journaux témoignent de la dramatisation : « Einstein s'est-il trompé ? » suivi de « La revanche d'Einstein ! ». Notre savant allait-il tomber du piédestal qu'on lui avait construit, bien malgré lui ?

Plus vite que la lumière ?

En septembre 2011, l'équipe responsable de l'expérience OPERA, visant à suivre le trajet de neutrinos produits au CERN de Genève et reçus à l'observatoire souterrain de Gran Sasso près de Rome, publiait les résultats provisoires révélant un parcours des neutrinos à une vitesse supérieure à celle de la lumière. C'est avec prudence que les scientifiques révélaient leur découverte, en appelant d'autres équipes à vérifier indépendamment les me-

sures. Bien leur en prit puisque ce 23 février 2012 un avis transmis par la revue *Science* annonçait un problème de délai temporel dans le câblage utilisé par le système GPS de l'opération. On parle d'un « petit décalage au sein d'une connexion en fibre optique. »

Pour la petite histoire locale, rappelons que notre conférence du 17 février permettait à une bonne centaine d'auditeurs d'entendre l'exposé de Marko Sojic sur ce sujet brûlant, ce qui a permis à chacun de se rendre compte de la complexité de l'expérience. Marko, très prudent, avait notamment mis en cause la connexion reliant l'antenne GPS et le détecteur...

On attendra les ultimes vérifications, dans les prochains mois, tout en soulignant qu'une fois de plus, la démarche scientifique a été respectée, à savoir que toute découverte doit être confirmée par la communauté internationale avant d'être admise. Rappelons aussi que cette expérience OPERA n'avait nullement pour objectif initial de mettre au défi la théorie d'Einstein, mais plutôt d'étudier les propriétés mystérieuses de ces énigmatiques neutrinos !

L'entraînement des systèmes d'inertie

Dès 1918 deux Autrichiens, Lense et Thirring, utilisaient la toute nouvelle théorie d'Einstein pour mettre en évidence l'influence de la rotation diurne de la Terre sur les systèmes d'inertie dans le voisinage. Pendant plus de 50 ans, ces calculs sont restés purement formels, vu que cet effet prévoyait une déviation, par rapport à la théorie de Newton, d'à peine... un dix-milliardième.



Pour rappel, les autres tests vérifiant la théorie de la relativité générale mettent en jeu des écarts correspondant à une fraction du millionième : c'est le cas notamment de la déviation d'un rayon lumineux passant près du Soleil, ou du déplacement séculaire du périhélie de Mercure ! Voir l'encadré ci-contre.

À la suite des années 1960 – les golden sixties – des applications nouvelles de la relativité générale sont apparues, que ce soit pour l'étude des pulsars, des quasars, des trous noirs, et aussi pour la préparation de nouveaux tests relatifs aux ondes gravitationnelles ou... à l'effet Lense–Thirring.

Pour ce dernier, il est fait appel à des gyroscopes placés dans un satellite en orbite polaire, les calculs ayant montré que ces gyroscopes peuvent subir une précession très petite (toujours le dix-milliardième ou moins !) mais cumulative, donc espérait-on détectable sur plusieurs années d'observation.

En réalité il y a un double effet :

- l'effet géométrique d'Einstein–De Sitter, calculé dès 1916, et qui correspond à la courbure d'espace-temps induite par la masse centrale, même immobile, entraînant une précession de l'axe d'un gyroscope emmené suivant une orbite géodésique (en anglais « geodetic

Pour les amateurs de calculs, signalons que le facteur permettant d'estimer l'ordre de grandeur d'un effet relativiste s'écrit sous forme d'une fraction (nombre sans dimension) :

$$GM/c^2 R$$

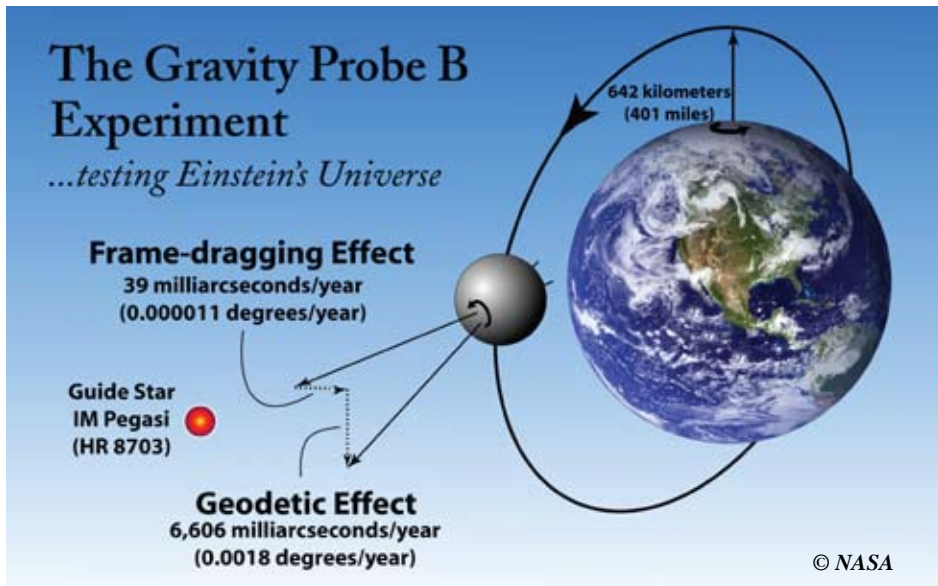
où M est la masse et R la distance au centre du corps, tandis que G est la constante de gravitation de Newton, et c la vitesse de la lumière.

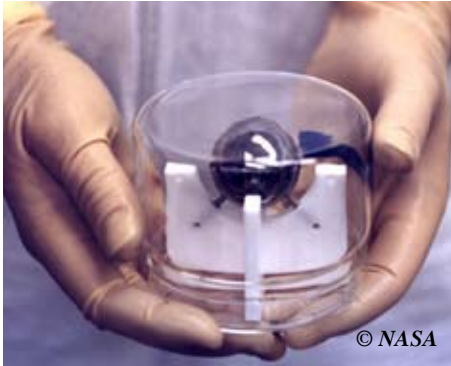
Grâce à votre calculette et à un bon livre d'astronomie, vous introduirez d'abord la masse et le rayon du Soleil, pour trouver un millionième, et ensuite la masse et le rayon de la Terre, pour atteindre le dix-milliardième.

effect »); il est de l'ordre de 6,6 arcsec/an, l'arcsec ou seconde d'arc valant 1/3600 degré.

- l'effet Lense–Thirring, lié à la rotation propre de la Terre et à l'entraînement du système local d'inertie ; il est inférieur en grandeur au précédent, mais se manifeste par une précession de l'axe d'un gyroscope dans une direction différente (« frame dragging effect »); il est de l'ordre de 0,04 arcsec/an

La sonde est équipée d'un axe de référence grâce à un télescope pointant vers l'étoile HD 8703, située dans Pégase, avec une précision très remarquable de 0,0001 arcsec !





La mission Gravity Probe B emportait en son sein quatre sphères de quartz, recouvertes de niobium supraconducteur. Ces sphères, de la dimension d'une boule de ping-pong, sont les plus parfaites jamais conçues par l'homme. Entraînées par induction magnétique, elles tournent sur elles-mêmes à une vitesse de 5 000 tours par minute.

Elles évoluent dans le vide et sont refroidies à une température de 1,8 kelvin. Dans ces conditions, un champ magnétique se crée, aligné sur l'axe de rotation, et des capteurs ultraprécis permettent de mesurer la moindre déviation de l'axe. On a pu réaliser ainsi des gyroscopes un million de fois plus précis que tout ce qui avait été développé auparavant.

En mai 2011, la (très nombreuse) équipe de chercheurs utilisant la sonde *Gravity Probe B* publiait les résultats de l'expérience après trois années de réception et de dépouillement des données. Voici les chiffres annoncés :

Effet Einstein–De Sitter

- prévu : 6,606 1 arcsec/an
- mesuré : 6,601 8 ± 0,018 3
- imprécision : 0,3 %

Effet Lense–Thirring

- prévu : 0,0392 arcsec/an
- mesuré : 0,0372 ± 0,072
- imprécision : 19 %

Si la précision obtenue pour l'effet Einstein–De Sitter est excellente, elle est net-

tement moindre pour l'effet Lense–Thirring, et c'est pourquoi l'expérience se poursuit... !

Un groupe de chercheurs italiens pense pouvoir atteindre une précision de l'ordre de 1% à l'aide du satellite Lares (Laser Relativity Satellite). Il s'agit d'une sphère très dense de tungstène, de quelque 37 cm de diamètre et d'une masse de 387 kg. Elle est équipée de 92 rétroreflecteurs laser permettant des mesures de télémétrie laser sur satellite.

La technique est employée depuis longtemps pour mesurer précisément les orbites de satellites. Ici l'on va détecter le déplacement relatif des « nœuds » des orbites des satellites Lageos 1 et Lageos 2 lancés en 1976 et 1992.

La mise en orbite de Lares à 1 450 km de la surface de la Terre a été effectuée avec succès ce 14 février 2012 par le nouveau petit lanceur européen Vega.

L'enjeu

Pourquoi s'acharner à mesurer de mieux en mieux cet effet minime, presque inobservable ?

C'est qu'il permet de tester une prédiction très spécifique de la théorie de la relativité générale, concernant l'entraînement des systèmes d'inertie, et au-delà l'origine de l'inertie.

Le calcul de cet effet d'inertie peut être différent selon les diverses théories de la gravitation proposées à la place de celle d'Einstein. Si l'effet Lense–Thirring, au voisinage de la Terre, n'apporte qu'une déviation d'un dix-milliardième par rapport à la théorie de Newton, il n'en est plus de même si l'on se place tout près d'une étoile à neutrons ou d'un trou noir.

Reprenons notre calculatrice, et calculons le facteur d'échelle $GM/c^2 R$ en y plaçant cette fois les données relatives à ces objets très concentrés. On obtient alors un « facteur d'entraînement » de quelques dixièmes ou même, dans le cas du trou noir, tendant vers l'unité !

Les astrophysiciens qui étudient ces objets massifs voudraient savoir si la théorie d'Einstein s'applique encore à ces cas extrêmes. Ce sera peut-être en observant des étoiles à neutrons binaires que l'on saura si « Einstein a toujours raison » ?



Pour élargir le débat

Que vaudrait ce « facteur d'entraînement » si l'on prenait en compte toutes les masses de l'univers ?

La réponse est connue, au moins par ceux qui ont observé le pendule de Foucault : placé au pôle nord de la Terre, il ne suit pas la rotation de celle-ci, mais il est plutôt branché sur les étoiles... (on n'est pas ici à un dix-milliardième près).

Le système d'inertie local serait alors déterminé par l'ensemble des masses de l'univers. Dans ce cas, ce serait Ernst Mach qui avait raison... et Einstein après lui.

*Lares encore au laboratoire de montage.
© Agenzia Spaziale Italiana*

Réf. Pour en savoir plus, un site de l'Université de Stanford (Californie) :

<http://einstein.stanford.edu/MISSION/mission1.html>

avec une vidéo remarquable réalisée par Kip Thorne, permettant de visualiser l'effet Einstein-De Sitter

http://einstein.stanford.edu/Media/Thorne-MissingInch_Demo-Flash.html