

Les Rencontres Scientifiques Colas

« De la théorie de la relativité générale à la géolocalisation »

Mardi 23 mai 2017

Avec Alexandre Le Tiec

Astrophysicien à l'Observatoire de Paris et chargé de recherche au CNRS

et Antoine de Latour

Ingénieur à l'European GNSS Agency, impliqué dans le projet européen Galileo de positionnement par satellites

Conférence animée par Sylvain Guilbaud, journaliste à La Recherche

La théorie de la relativité générale est la théorie physique qui décrit la gravitation. Formulée par Albert Einstein en 1915, elle dépasse la gravitation universelle d'Isaac Newton qui remontait au XVII^e siècle. Plus de cent ans après sa publication, de nombreuses preuves expérimentales et observationnelles l'ont confirmée et elle demeure la meilleure description de l'univers (en dehors du monde microscopique décrit par la physique quantique).

Parmi les grands concepts au cœur de la théorie de la relativité générale se trouvent ceux de temps et d'espace. Notre intuition nous dit que l'espace est ce lieu à trois dimensions dans lequel nous nous déplaçons et que le temps s'écoule du passé vers l'avenir de la même façon pour chacun d'entre nous. La relativité générale bouleverse nos conceptions : espace et temps sont liés ensemble dans un espace-temps à quatre dimensions. De plus, ce cadre n'est ni fixe, ni immuable. Les objets (les étoiles, les planètes, nous-mêmes) courbent l'espace-temps et la gravitation n'est autre que la manifestation visible de cette courbure. Ainsi, la Terre déforme l'espace-temps dans son voisinage. Si la Lune tourne autour de la Terre, ce n'est pas à cause d'une force comme le pensait Newton : il s'agit du mouvement naturel de la Lune épousant la déformation de l'espace-temps imprimée par la Terre.

D'autre part, il n'existe pas de temps universel. Il n'existe pas de présent, de passé, de futur, pas de simultanéité. La seule chose ayant une réalité intrinsèque est le bloc élastique d'espace-temps. Dans ce bloc, chaque objet suit une ligne d'univers et possède un temps qui lui est propre. Le battement de ce temps propre ne se fait pas à la même vitesse selon que l'objet subit une accélération ou qu'il est au repos, et selon le champ de pesanteur dans lequel il se trouve. Si rien ne permettrait à un observateur de voir son temps propre accélérer ou ralentir, une comparaison avec l'horloge d'un autre observateur montrerait un décalage. Ces effets, extrêmement contre-intuitifs, sont pourtant vérifiés en laboratoire, en particulier avec des horloges atomiques. Deux horloges, une sur Terre, l'autre dans un satellite situé à 20 000 km se décalent de 46 microsecondes par jour. Il est donc indispensable de tenir compte de ces effets relativistes dans les systèmes de positionnement par satellites, qui se basent sur la mesure de durées.

Dans ces systèmes, la position des satellites est connue et on cherche à déterminer les coordonnées du récepteur. La différence entre la date d'émission du signal satellite et la date de réception donne la distance au satellite. Cette mesure effectuée avec trois satellites permet de repérer la position du récepteur, à condition d'avoir au préalable synchronisé l'horloge du récepteur à l'aide d'un quatrième satellite. D'autre part, des stations terrestres recalent

régulièrement les horloges des satellites à l'aide d'horloges au sol encore plus précises. Les corrections d'horloges intègrent notamment la théorie de la relativité générale compte tenu de la vitesse relative des satellites par rapport à la Terre (14 000 km/h) et de la différence du champ de pesanteur entre le sol et l'orbite située à quelque 22 000 km.

Plusieurs systèmes de positionnement existent actuellement : GPS (américain), Glonass (russe), Beidou (chinois) et Galileo (européen). Les deux derniers sont en cours de déploiement.

Le projet Galileo, lancé au début des années 2000, affiche la volonté de fournir en 2020 des coordonnées plus précises que le GPS grâce à de meilleures horloges atomiques embarquées à bord des satellites. 18 satellites sont aujourd'hui en opération, 24 sont nécessaires à une utilisation optimale. Si Galileo répond d'abord à un besoin de souveraineté de l'Europe, on estime que 75% des utilisations se feront pour le grand public (itinéraires en voiture par exemple). Néanmoins, les applications commerciales existent aussi, en particulier pour le transport maritime.