Super ces milliards de GPS... merci Einstein

Les systèmes de navigation par satellites ont une vingtaine d'années (**GNSS** : **G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem), et on estime qu'en 2014 il y avait 3,5 milliards de récepteurs.

UTILISATION DES GPS

Les récepteurs GPS sont très présents dans les smartphones et beaucoup d'équipements spécifiques. De façon générale, cela couvre une multitude de domaines : défense, positionnement et suivi (randonnée, route, air, mer), santé et suivi des performances sportives, réseaux sociaux (localisation des amis), agriculture, sécurité et urgence (localisation du demandeur), applications d'entreprise (productivité de la mobilité), géo-marketing et publicité (tenant compte de la localisation), loisirs (jeux et réalité augmentée)…

LES DIFFERENTS SYSTEMES GPS

GPS (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem) est issu d'un programme américain débuté en 1958. Il visait à permettre à 40 000 utilisateurs militaires de sillonner la Terre en connaissant leur position. En 2000 Bill Clinton rend la précision militaire accessible aux civils (en 2016, le coût est estimé à 30 milliards de $). Gratuit et anonyme, le **SPS** (**S**tandard **P**ositioning **S**ystem) donne une précision de 5 à 15 m. La précision peut atteindre 1 m avec le **PPS** (**P**recise **P**ositioning **S**ystem) réservé aux militaires. 24 satellites sont utilisés, répartis par 4 sur 6 plans orbitaux.

GLONASS est le nom du système d'origine soviétique (années 80, guerre froide, fins militaires). Opérationnel en 1996, il est géré par les forces spatiales de la fédération de Russie. Une dégradation en 2000 (seuls 6 satellites fonctionnent) a conduit à une priorisation financière en 2001, aboutissant à une première couverture complète de la Terre en 2011 avec 8 satellites sur 3 plans spatiaux.

GALILEO résulte d'une initiative de la Commission Européenne en 1998 (pour mettre fin à la dépendance du système américain). Le projet vise, sous contrôle civil, plusieurs niveaux de service (grand public, commercial, recherche et secours…). La structure européenne a conduit à une gestation difficile (financement, gouvernance, attribution des appels d'offres, partenariat public/privé défaillant, rivalité industrielle, répartition des sites…). Une importante réorganisation du programme interviendra en 2007 : l'**ESA** (**A**gence **S**patiale **E**uropéenne) acquerra le rôle majeur, l'agence communautaire **GSA** (European **G**N**S**S **A**gency dont le siège est à Prague) est l'autorité de surveillance. La cible est de 8 satellites sur 3 plans orbitaux. Ariane 5-ES lance, en une seule fois, en octobre 2016, 4 satellites (Galileo 13 à Galileo 16).

COMPASS est le nom donné par la Chine à sa version GPS mondialisée en 2020 de sa version GPS régionale **BEIDOU** (ne couvrant qu'une partie du globe terrestre). Les 3 premiers satellites ont été lancés en 2003 et l'ouverture au public est intervenue en 2013.

QZSS (宇宙航空研究開発機構 = uchū kōkū kenkyū kaihatsu kikō = **Q**uasi-**Z**enith **S**atellite **S**ystem) est le nom donné par le Japon à son projet lancé en 2002. Il est conçu comme un complément au GPS américain : 3 satellites se relaient à la verticale du Japon pour accroître la disponibilité du GPS dans les "canyons urbains" (gratte-ciel).

IRNSS (**I**ndian **R**egional **N**avigation **S**atellite **S**ystem) géré par **ISRO** (**I**ndian **S**pace **R**esearch **O**rganisation) procure deux services à l'Inde : un service public et un service chiffré pour les agences officielles. Les 7 satellites géosynchrones (dont 3 géostationnaires c'est-à-dire sur le plan de l'équateur) couvrent l'Inde et 1 500 km autour. Le dernier a été lancé en avril 2016.

FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Dans tous les systèmes mondiaux, le principe est simple : la mesure de **la distance entre quelques satellites en orbite et un récepteur permet de calculer la position exacte du récepteur**. Encore faut-il que la triangulation 3D se base sur des horloges ultraprécises et synchrones. Sur les satellites on a des horloges atomiques de très grande précision et on peut faire les éventuelles corrections nécessaires. Mais sur les récepteurs il faut des horloges bon marché. Précision et stabilité étant alors insuffisantes il faut trouver l'écart et en tenir compte : des corrections de micro fractions de seconde sont nécessaires.

LE SYSTEME ARGOS

Dédié à la surveillance environnementale, le système ARGOS est une sorte de GPS à l'envers : c'est un système mondial de localisation et de collecte de données par satellite. Il permet de localiser les balises ARGOS n'importe où à la surface de la Terre, avec une précision d'environ 150 mètres. Mis en service en 1978, implantable sur différents satellites, il résulte d'une coopération **CNES** (**C**entre **N**ational d'**É**tudes **S**patiales), **NOAA** (**N**ational **O**ceanic and **A**tmospheric **A**dministration) **NASA** (**N**ational **A**eronautics and **S**pace **A**dministration). Une balise ARGOS (plus de 22 000 en 2014 dont plus de 8 000 sur des animaux) peut être installée sur un voilier, un canot de sauvetage, des bouées, une station météo automatique dérivante, etc.

De nombreux programmes internationaux utilisent ARGOS (observation des océans, météorologues, surveillance des bateaux de pêche, étude des animaux migrateurs…).

EINSTEIN ET LES GPS

Au XXème siècle deux théories physiques majeures bouleversent notre compréhension du monde :

- **la physique quantique** qui décrit le comportement des atomes et particules, ce qui explique le fonctionnement nucléaire (l'énergie et la bombe), l'électronique, le laser… C'est le résultat d'un travail très collectif (Bohr, Heisenberg, Schrödinger, Dirac, Pauli, Einstein…),
- **la théorie de la relativité** avec ses deux volets (relativité restreinte et relativité générale). Il s'agit essentiellement du résultat du travail d'Einstein (qui a su exploiter ses relations scientifiques).

Curieusement, ces théories pourtant parfaitement vérifiées et utilisées, sont incompatibles entre elles, du moins dans des conditions extrêmes comme celles des trous noirs et du *big bang*. Mais pour ce qui est des GPS, ces derniers ne fonctionnent qu'avec les performances extraordinaires de l'électronique de notre XXIème siècle. Et la précision des GPS ne peut être atteinte qu'avec des corrections obligatoires découlant de la relativité. Cela on le doit à Einstein qui a produit une grande valeur ajoutée scientifique dans de nombreux domaines :

- Mouvement brownien (mouvement erratique des petites particules),
- Équivalence masse-énergie,
- Effet photoélectrique (nature corpusculaire de la lumière),
- Relativité restreinte,
- Relativité générale.

5 effets relativistes impliquant des corrections ont dû être pris en compte, dont 2 pour les satellites :

– **la relativité restreinte nous dit que** l'écoulement du temps est ralenti pour les objets en mouvement. Pour un satellite qui va vers 14 000 km/h de plus que le récepteur GPS, ses horloges ralentissent de 7 µs (7 microsecondes) par jour. Sa journée est donc de 86 399,999 993 secondes et non pas 86 400 ! Tout cela décale donc l'heure dont on a besoin d'une grande et stable précision.

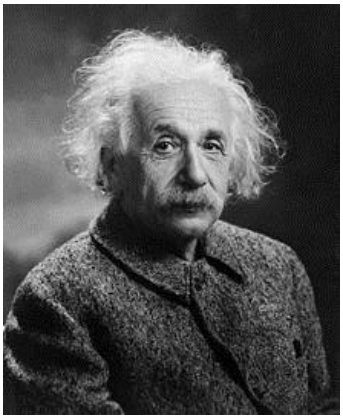
– **la relativité générale nous dit que** le temps s'écoule plus lentement dans un champ gravitationnel intense. C'est le cas pour le récepteur à la surface de la Terre. Il est soumis à une gravité plus intense que celle qui concerne les satellites 20 000 km plus haut. Le temps des satellites est donc plus rapide que celui de l'utilisateur du GPS… de 45 µs pour une journée !

Au total donc dans les satellites GPS, le temps est accéléré de 38 µs par jour (45-7). Si cet effet n'était pas pris en compte, la localisation calculée par le récepteur GPS se décalerait de 11 km par jour. Autrement dit le GPS n'aurait aucun intérêt et n'existerait pas !

CONCLUSION

On pourrait donc retenir que :

1. Les GPS sont basés sur des satellites,
2. Les récepteurs sont présents dans une multitude d'objets (> 3,5 milliards),
3. Ils améliorent la vie quotidienne et deviennent incontournables (mais on a pu s'en passer pendant des siècles),
4. Ils ont un impact négatif sur notre sens de l'orientation (pourquoi se fatiguer !)
5. C'est une merveille technologique faisant coopérer de multiples domaines (mathématiques, physique, électromagnétisme, technologies spatiales, électronique, informatique…)
6. La physique théorique (en particulier physique quantique et relativité générale) est donc beaucoup plus proche de nous que ce qu'on pense généralement !



Merci Einstein, car tous les jeunes (et souvent les moins jeunes aussi !) sont fans de GPS