

Dans le langage courant, on utilise le terme « GPS » pour désigner un appareil capable de se géolocaliser : nos smartphones (et parfois nos voitures) ont des récepteurs qui le permettent. Le GPS (système américain) a démocratisé les applications civiles et son nom a été associé à la technologie, mais nous devrions plutôt parler de GNSS (*Global Navigation Satellite System*) : nous allons voir qu'il n'y a pas que le GPS.

## COMMENT ÇA MARCHE ?

Document 3 p.91 :

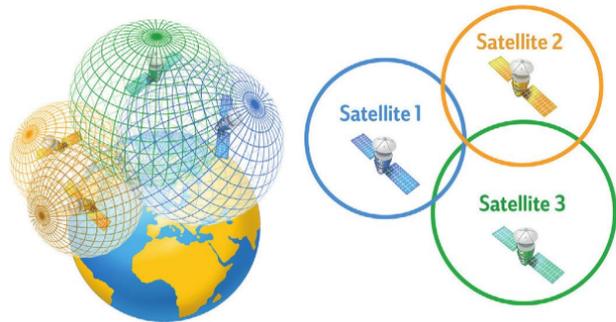


### DOCUMENT 3 Le principe de la géolocalisation GPS : la trilatération

Le positionnement GPS fonctionne grâce à la **trilatération** (principe n'utilisant qu'un calcul de distances, sans calcul d'angles). Avec trois satellites, un appareil connecté peut être localisé par trilatération. Chaque satellite envoie un signal en indiquant l'heure. Lorsque l'appareil reçoit le signal, il note l'heure de réception et peut donc en déduire le temps mis par le signal pour aller du satellite jusqu'à lui. Sachant que les signaux sont émis à la vitesse de la lumière (300 000 km/s), on peut retrouver la distance avec la formule :  $d = v \times t$ .

**Exemple :** en traçant un cercle autour du satellite 1, on sait que le récepteur se trouve sur un point de ce cercle. Grâce à un deuxième cercle ayant comme centre le satellite 2, on obtient deux intersections qui révèlent deux emplacements possibles du récepteur. Grâce à un troisième satellite, et à son cercle respectif, on obtient la position exacte du récepteur.

Un quatrième satellite permet de synchroniser l'horloge de l'appareil avec celle des trois autres satellites pour une meilleure précision.



Il ne faut pas confondre la **trilatération** (utilise uniquement les distances) et la **triangulation** (utilise les angles et une distance).

Regardez cette excellente vidéo (qui confond pourtant les deux termes) afin de mieux comprendre le fonctionnement d'un GNSS :



[https://youtu.be/V51dGqHw\\_24](https://youtu.be/V51dGqHw_24) (≈ 8 min)

## REPÈRES HISTORIQUES

À la fin des années 1950, les militaires américains ont très vite perçu l'enjeu que pouvaient constituer les systèmes de localisation à trajet descendant. Les troupes au sol, les avions, et même les missiles pourraient en effet en tirer un énorme bénéfice. D'autres applications civiles, comme la géodésie, pourraient également y trouver des avantages succincts. Ainsi, en avril 1960, la Marine américaine lance un premier satellite de type Transit, destiné à guider les missiles balistiques de ses sous-marins.

L'Union soviétique met plus de temps à réaliser l'importance de la radiolocalisation, mais conçoit tout de même un système similaire au Transit américain. Le premier satellite Zaliznik (11F617) est lancé en novembre 1967 sous le nom de Cosmos 192.<sup>1</sup>

Regarder la vidéo suivante, dont la transcription figure sous l'image :



<https://lienmini.fr/3389-403> ou [YouTube](#) (≈ 2 min)

Transcription :

### 1973

Le département de la défense américain lance le projet militaire GPS (Global Positioning System) qui deviendra pleinement opérationnel en 1995. Ce système de 24 satellites à l'origine (31 aujourd'hui), situés à 20 180 km d'altitude, permet [aujourd'hui] de se localiser avec une précision de l'ordre de 30 cm à 5 m. En 2000, le système GPS deviendra totalement accessible au public.

### 1976

En pleine guerre froide et course à l'espace, l'URSS lance son propre système de géolocalisation : GLONASS (*GLO*bal *NA*avigation *S*atellite *S*ystem).

Ce système de 24 satellites, situés à 19 130 km d'altitude, permet de se localiser aujourd'hui avec une précision de l'ordre de 3 m à 7 m.

### 1993

L'augmentation de la puissance des ordinateurs permet de créer la première carte numérique géographique sur le Web. Il s'agit de la « Xerox PARC Map Viewer ». L'utilisateur demande la carte d'un lieu de son choix et un programme la génère sous la forme d'une image statique.

En 1996 avec MapQuest, il devient possible de zoomer dans une carte.

### 1999

L'Europe souhaite prendre son indépendance en matière de géolocalisation et développe son propre système de positionnement par satellite : Galileo (du nom du célèbre astronome italien).

Le premier satellite est lancé en 2001, et ils devraient être 30 en 2020.

---

<sup>1</sup> <https://www.kosmonavtika.com/satellites/ouragan/hist/hist.html>

Galileo est ouvert principalement aux usages civils mais ses services peuvent être interrompus pour des raisons militaires. Précision de 1 cm à 4 m (technologie plus récente que le GPS).

## 2000

La géolocalisation par satellites peut être difficile et peu précise dans les villes. Un moyen de pallier ce problème, étudié depuis les années 2000, est d'utiliser d'autres signaux comme le Wifi. L'intensité du signal indique la distance par rapport aux bornes émettrices dont la localisation est connue. On détermine ainsi sa position avec précision pouvant atteindre le décimètre.

## 2005

Google sort une première version de Google Earth : il est désormais possible de zoomer sur sa maison ou n'importe quel point du globe depuis le ciel. La même année est mis en service Google Maps et ses cartes plates. En 2008, les photos panoramiques de Street View, qui permettent de se promener virtuellement dans des villes de Google Maps sont intégrées à Google Earth.

### COMPLÉMENTS GÉNÉRAUX

La mise en place d'un système de géolocalisation est stratégique pour un pays, c'est pourquoi les plus grandes puissances investissent pour s'en doter. Pour tous les GNSS (sauf GALILEO, qui est le seul à être sous contrôle strictement civil !), **les militaires bénéficient de fréquences dédiées ayant un niveau de précision bien supérieur.**

Pour se donner une idée, la précision (en 2018) du GLONASS peut atteindre 2,8 m (en situation idéale), en comparaison avec le GPS qui peut atteindre en théorie une précision de 30 centimètres<sup>2</sup>. Mais la Russie a annoncé une amélioration de la précision à 0,6 mètre d'ici à 2020... et aux hautes latitudes (nord ou sud), la précision de GLONASS est meilleure que celle du GPS en raison de la position orbitale des satellites.

### COMPLÉMENTS SUR GLONASS

Le projet GLONASS est lancé en 1976, mais **le premier lancement a eu lieu en 1982** : le 12 octobre, un lanceur emporte le premier satellite GLONASS qui commence à émettre trois jours plus tard ; les ingénieurs étudient son comportement pendant plusieurs mois.

En août 1983, deux nouveaux GLONASS sont mis en orbite. D'autres tirs doubles ont lieu en décembre 1983, mai 1984, septembre 1984, mai 1985, décembre 1985. En septembre 1986, ce sont 3 satellites qui sont lancés, puis **de nouveaux modèles, plus performants** (durée de vie de 2 ans au lieu d'un an, puis de 3 ans) sont envoyés. **Les tirs s'enchaînent** alors à un rythme de plus en plus soutenu, car ils doivent non seulement occuper de nouvelles positions orbitales, mais aussi remplacer les satellites en fin de vie.

Jusqu'à sa dissolution en 1991, l'Union soviétique aura lancé 43 satellites GLONASS.

En 1991, GLONASS devient la propriété de la Fédération de Russie, qui poursuit les travaux : le système a toute sa **capacité opérationnelle en décembre 1995**, avec 24 satellites... mais après cela le remplacement des satellites n'est plus assuré.

En effet, au cours des années suivantes, **le système tombe en ruine** en raison de la crise économique dans le pays et de la diminution du financement pour les projets spatiaux.

Dès 1996, GLONASS n'est plus opérationnel : il repasse même en dessous du seuil des 18 satellites qui permet d'assurer un service minimum. Le prochain lancement n'interviendra que le 30 décembre 1998 (16 satellites en fonctionnement). En octobre 2000, il n'y a plus que six satellites opérationnels !

---

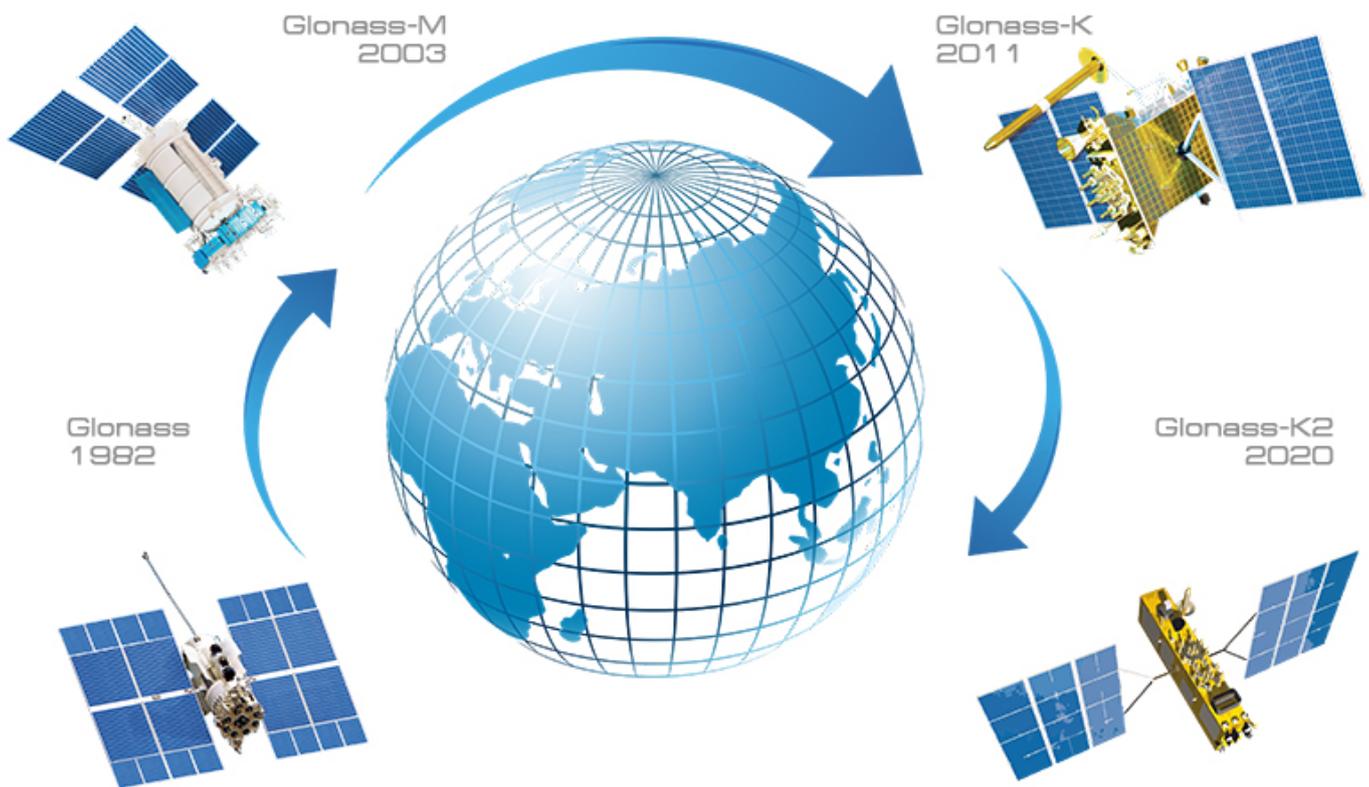
<sup>2</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS>

Devant l'urgence de la situation, les plus hautes autorités militaires et politiques sont forcées de réagir : il est décidé de partager la responsabilité du programme entre l'Agence Spatiale Civile (RKA) et les militaires. Il est compris qu'il sera impossible de maintenir en orbite de façon permanente une constellation de 24 satellites si chacun d'eux doit être remplacé tous les trois ans. On demande donc la mise au point à court terme des GLONASS-M, à durée de vie largement augmentée, et à moyen terme des GLONASS-K, plus légers et à durée de vie encore augmentée.

En novembre **2003**, une **déclaration d'intention** est signée entre l'Agence Spatiale Russe (Rosaviasmos) et l'**Organisation Indienne pour la Recherche Spatiale (ISRO)** pour étudier la possibilité de mettre en orbite certains satellites de prochaine génération (GLONASS-K) au moyen de lanceurs indiens : la Russie ne paiera que le transport des satellites en Inde et leur préparation au tir ; les Indiens auraient en échange le droit d'utiliser le système GLONASS, **y compris à des fins militaires**.

Fin 2005, le Président Poutine annonce ses plans : GLONASS devra être parfaitement complété (24 satellites) en 2008. De plus, les applications civiles devront être développées (l'Europe a lancé quelques semaines auparavant GALILEO).

Depuis fin 2011, GLONASS assure la couverture de 100 % de la surface terrestre et les principaux fabricants de mobiles ont depuis développé des appareils compatibles avec le réseau.



## COMPLÉMENTS SUR GALILEO

Les premiers services de Galileo sont **opérationnels depuis** le 15 décembre 2016 et le déploiement de nouveaux satellites suit son cours.

Le système est sous contrôle strictement civil, contrairement aux autres GNSS (contrôle militaire).

Galileo diffuse ses signaux sur 3 bandes de fréquences et en utilise des combinaisons variées pour distinguer 4 catégories d'utilisation :

- les services **gratuits** : précision horizontale de moins de 5 mètres et verticale de moins de 35 m ;
- le service **commercial** : précision inférieure à 1 m et peut être complété par des signaux provenant de stations terrestres pour atteindre une précision inférieure à 10 cm ;
- le service **public réglementé** : désigne les utilisateurs remplissant une mission de service public très dépendants de la précision, de la qualité du signal, et de la fiabilité de sa transmission, tels que les services d'urgence ou les gouvernements partenaires. Afin que ce service soit disponible en tout temps, il utilise deux signaux à part et dispose de plusieurs systèmes prévenant un brouillage du signal. Il est également chiffré et disponible seulement sur des récepteurs spécifiques ;
- le service de **recherche et secours** : bénéficie de fréquences dédiées pour les signaux de détresse (gérés par un organisme particulier).<sup>3</sup>

Afin de mieux comprendre la complexité du projet GALILEO et les difficultés rencontrées :



<https://youtu.be/DQakM2W3B0I> (≈ 11 min)

## COMPLÉMENTS SUR BEIDOU

Beidou (également nommé COMPASS) est un système de navigation et de positionnement par satellites **chinois** en cours de déploiement qui devrait devenir complètement opérationnel en 2020.

Beidou signifie « Grande Ourse » en chinois.

**Initié en 1983**, ses satellites ont été **lancés en 2000** et couvrent pour l'heure une zone s'étendant de la Russie à l'Indonésie. Le programme **COMPASS**, dont le premier lancement a été effectué en 2007, a pour objectif de le remplacer dès 2020 par un système global innovant doté de 35 satellites (durées de vie entre 12 et 15 ans), dont cinq satellites géostationnaires (voir [ici](#)) : les normes de performances actuelles sont d'une précision de 10 m au sol, 10 m en altitude et 0,2 m/s en vitesse.

La presse chinoise revendique déjà une précision de l'ordre de 2,5 mètres et il est prévu que la couverture s'étende à la Terre entière aux alentours de 2020. Le but, toujours le même : s'affranchir de la dépendance au GPS américain<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> <https://numerisation3d.construction/gnss-rtk-scan3d/?v=11aedd0e4327>

<sup>4</sup> <https://www.lesechos.fr/2014/08/satellites-gps-la-concurrence-chinoise-et-russe-sorganise-308296>

et <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/beidou.php>

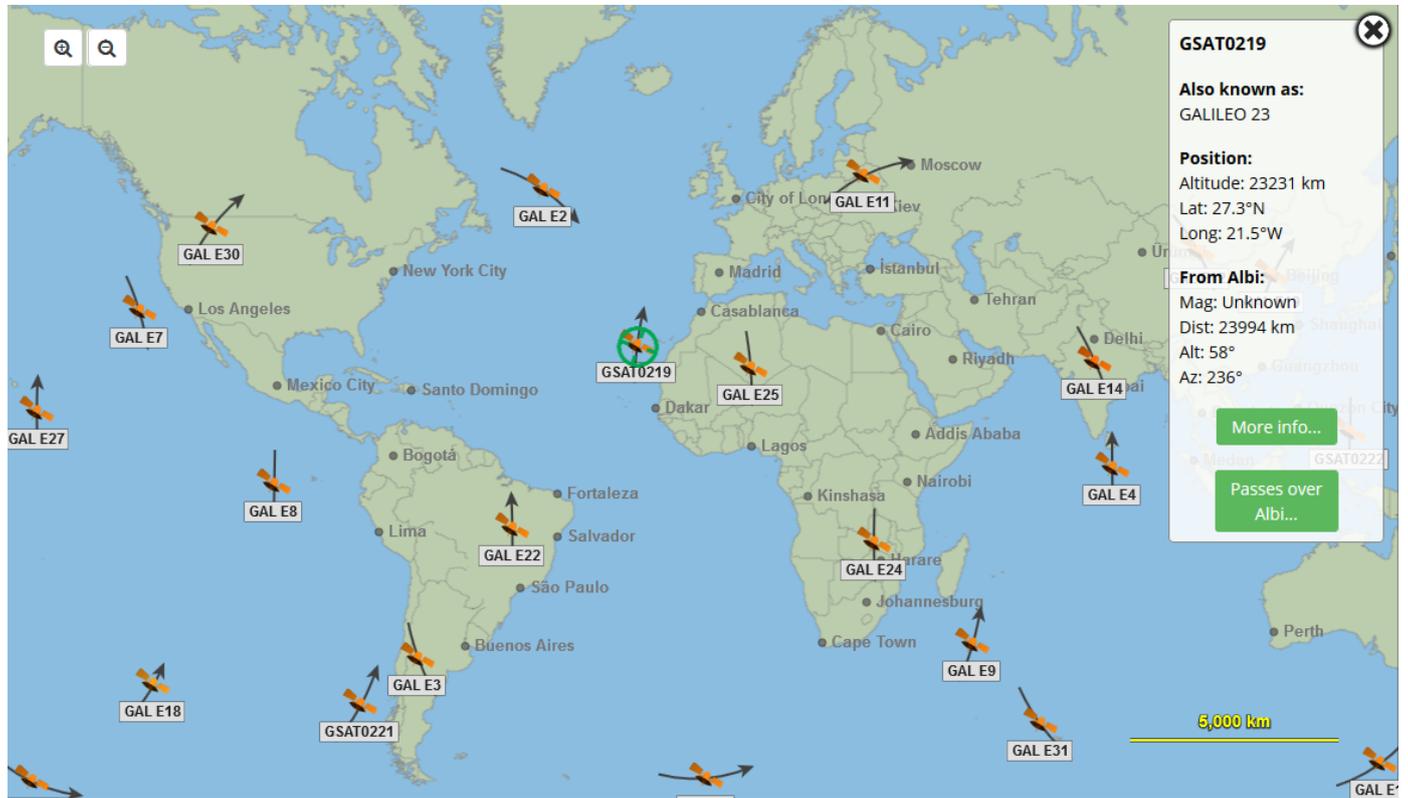
et <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>

## AU-DESSUS DE NOS TÊTES

Il existe un outil pour regarder quels satellites sont situés dans le ciel au-dessus de chez vous : rendez-vous sur le site [in-the-sky.org](http://in-the-sky.org), on peut voir en temps réel les satellites qui passent au-dessus de nos têtes.

Par exemple, ci-dessous sur une *world map* les satellites GALILEO. On peut cliquer sur un satellite et avoir des informations par rapport à ma position (ici, la ville d'Albi).

Dans l'onglet « Select Satellites », sélectionnez GPS, GLONASS, GALILEO ou BEIDOU...



Le site propose d'autres satellites mais aussi d'autres vues, comme un globe 3D :

