

Le GPS: quelques rappels

Réunion CdB

Samedi 17 novembre 2018

Levallois

Historique et objectifs

- ✓ **LE SYSTÈME NAVSTAR GPS** (« **NAV**igation **S**atellite **T**iming **A**nd **R**anging **G**lobal **P**ositioning **S**ystem ») est un système de positionnement radioélectrique par satellites conçu par le Département de la Défense des Etats-Unis d'Amérique.
- ✓ **LES OBJECTIFS INITIAUX DU CONCEPT GPS**
(Financé, réalisé et géré par l'armée américaine)
 - Prévu initialement pour une utilisation militaire
 - Précision initiale de la distance: 10 m de rayon (aujourd'hui < 1)
 - Précision initiale du temps = une microseconde (aujourd'hui 100 nanosecondes/décalage 1 nanoseconde = décalage 30 cm)
 - Possibilité d'utilisation civile (aviation, marine, police, ...) mais avec dégradation du signal et des mesures

Situation aujourd'hui

Regroupés sous l'appellation **G.N.S.S** (**G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem), plusieurs systèmes de navigation par satellite se partagent le créneau:

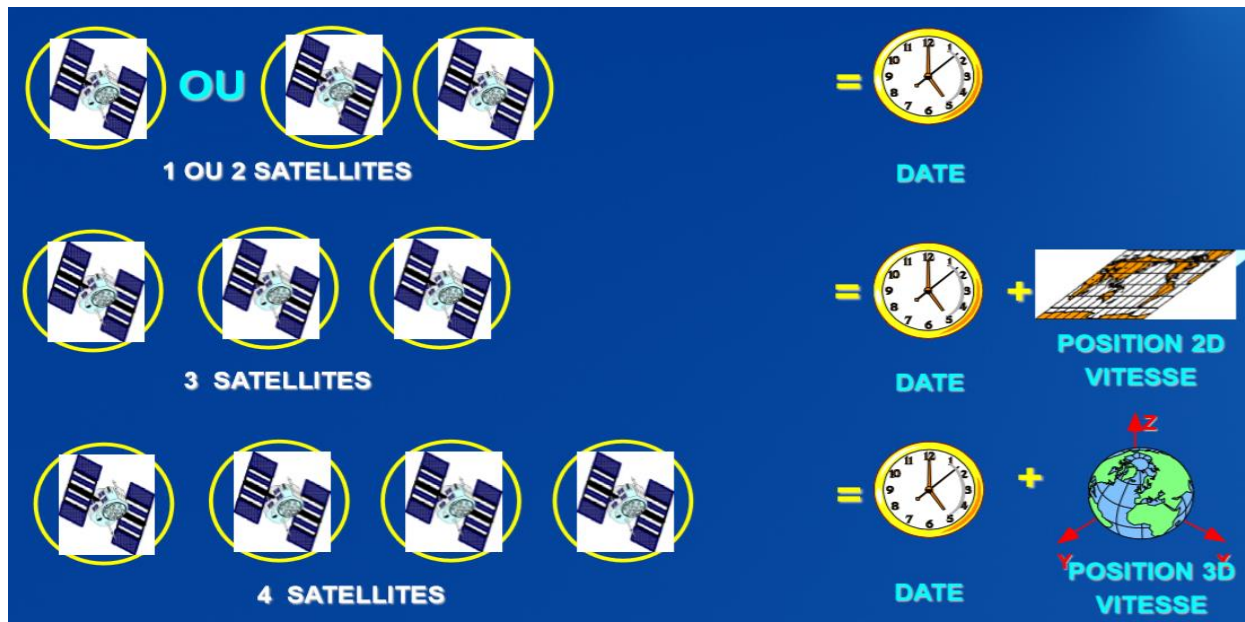
- ✓ Le NAVSTAR, système américain
- ✓ Le GALILÉO, système européen
- ✓ Le GLONASS, système russe
- ✓ Le BEIDOU, système chinois (limité, pour le moment, à la chine et pays limitrophes)
- ✓ Le NAVIC, système Indien (en phase de développement)

Le système de positionnement GPS est devenu universel et prend appui sur une modélisation de la terre suivant la norme **WGS84** (World Geodetic System 1984).

Cette norme de positionnement est reconnue comme standard mondial depuis 1998 et s'applique à toutes les cartes électroniques (ENC)

Principe de fonctionnement du GPS

- Basée sur le principe de calcul par triangulation entre les satellites et le récepteur
- La position est obtenue par le calcul de la distance entre le récepteur et les satellites (décalage entre l'heure d'émission et de réception)
- La précision des mesures dépend du nombre de satellites reçus. Quatre satellites minimum pour avoir une représentation 3D (Lat, Long & altitude) et la vitesse

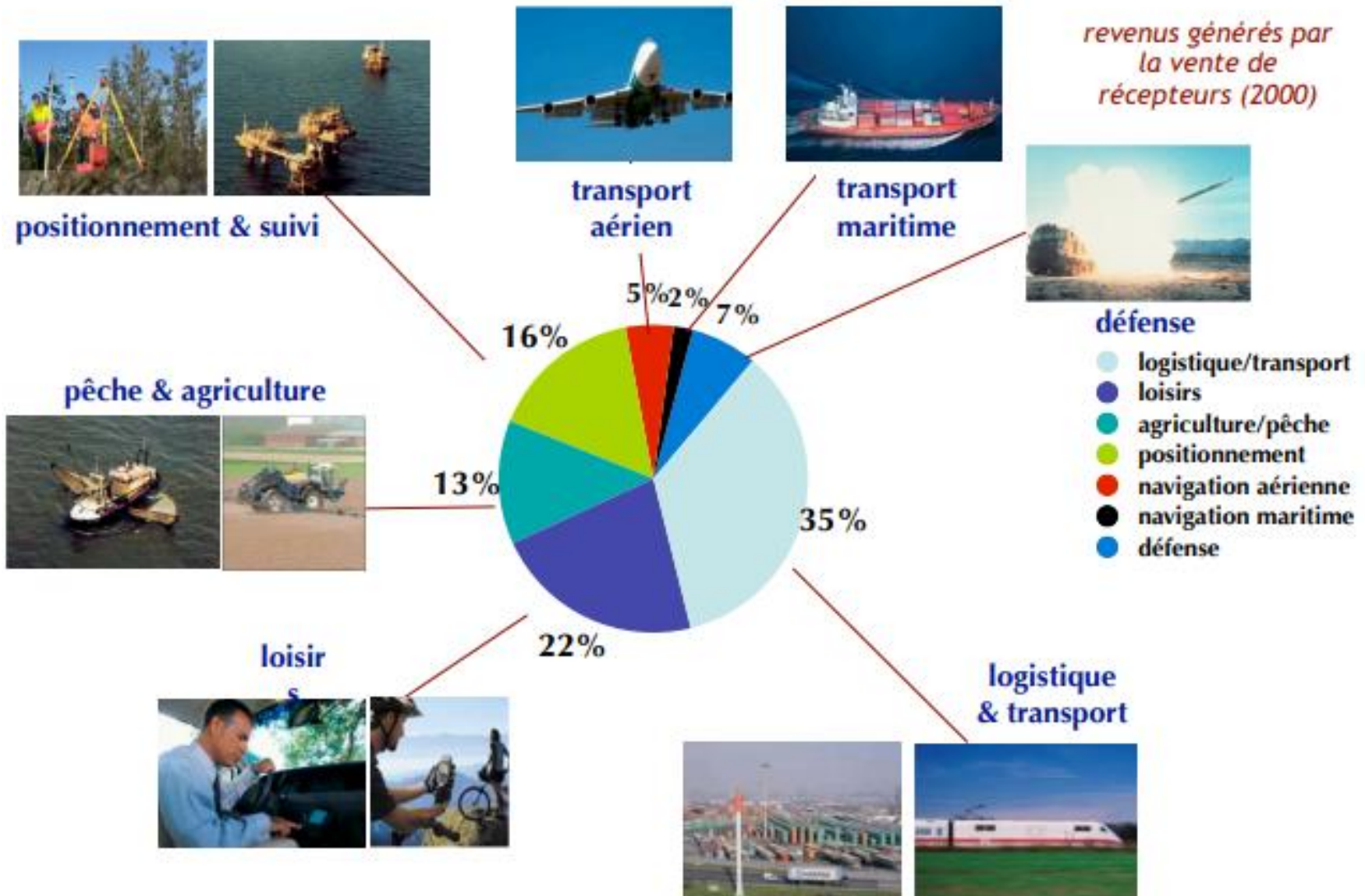


Composition du secteur spatial

	Galileo	GPS	Glonass	Bei Dou 1 et 2	IRNSS
Pays	Europe	États-Unis	Russie	Chine	Inde
Nombre de satellites	30	32	29	3 + 35 (en construction)	7 (en construction)
Orbite	23 222 km	20 200 km	19 100 km	Géostationnaire et non géostationnaire	Géostationnaire et géosynchrone
Plan orbital	3	6	3		
Inclinaison orbitale	56°	55°	65°		
Premier satellite sur orbite	2011	1978	1982	2000	2013



Secteurs utilisateurs



Quel service ?

Deux types de prestation (User accuracy):

- Le **SPS** (Navstar - Standard Position Service/Galileo - Open Service) mis à la disposition des utilisateurs civils
- Le **PPS** (Navstar - Précise Position Service) réservé aux militaires américains, à certains services spécialisés US et aux militaires des nations « autorisées » (OTAN, Israël) par le DOD (Department Of Defense). Les récepteurs doivent être équipés d'algorithmes de décryptage spécifiques.

Le signal GPS - SPS n'est plus dégradé depuis 2000, mais possibilité de dégradation du signal GPS - PPS sans préavis (SA = Selected Availability)

Pas de dégradation sur Galileo

Le système S.B.A.S

(Space Based Augmentation System)

Pour améliorer la précision du GPS (et se prémunir d'une dégradation sauvage du signal par les militaires US), les US (Aviation Civile - ICAO), le Canada, l'Europe, la Russie, le Japon et l'Inde ont mis en place un maillage de stations fixes au sol aux références 3D précisément connues (géoréférencées)

Articulation du système **SBAS**:

- Des stations au sol de traitement des données couvrant la totalité d'un continent
- Des mesures continues d'erreurs du système GPS transmises via un satellite géostationnaire
- Des récepteurs embarqués compatibles **SBAS** et équipé d'une fréquence dédiée pour recevoir les messages de correction

Ce système, en constante évolution, permet une précision de l'ordre de **2 à 3 m de rayon** en mode **SPS/Open Service** mais nécessite des équipements compatibles **SBAS**

Le système S.B.A.S (Space Based Augmentation System)

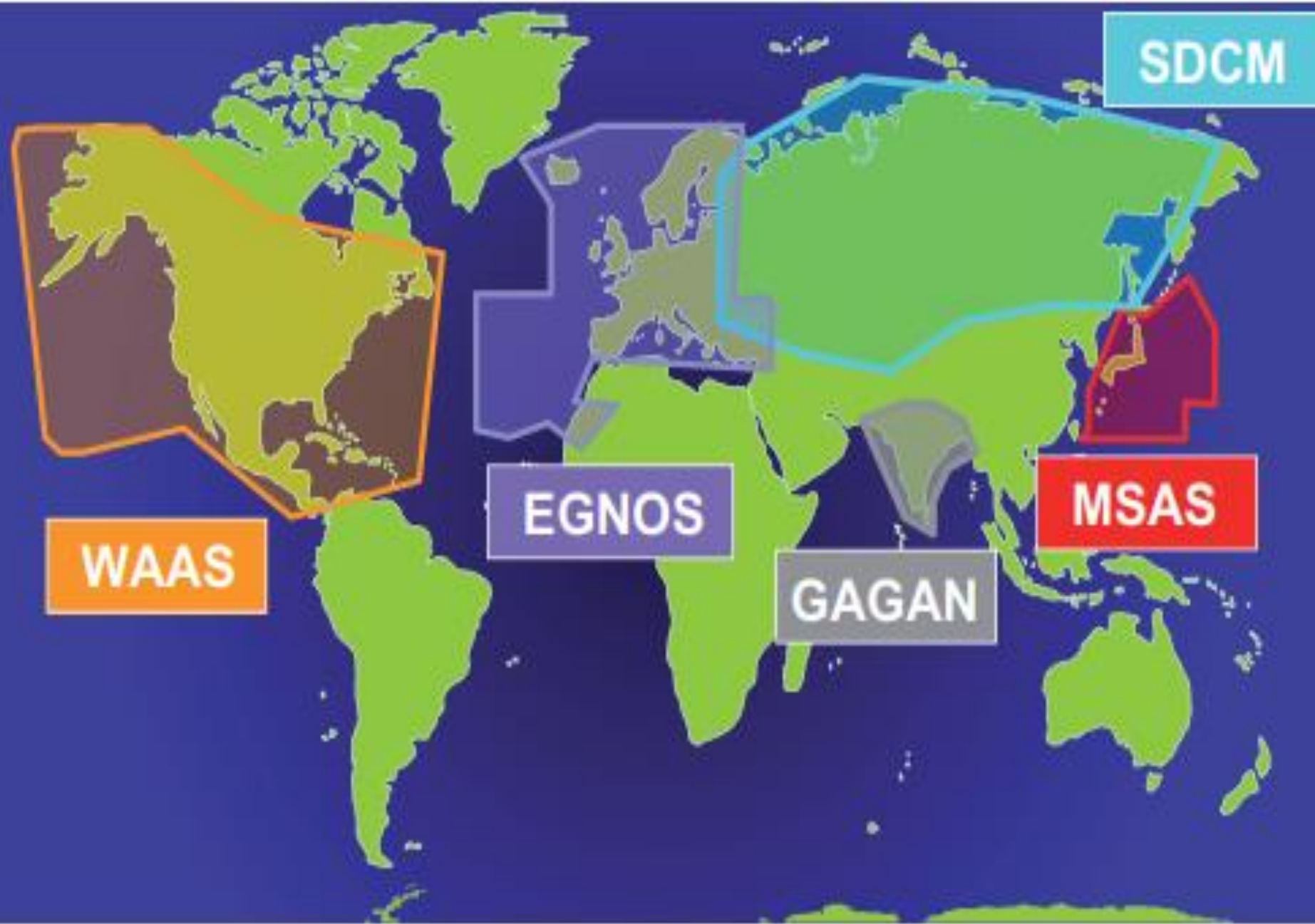
Cinq systèmes **SBAS** dans le monde, heureusement tous **compatibles**

(ce qui évite de changer de GPS en changeant de zone !)

- Le WASS couvre les Etats-Unis, une partie du Canada & le Mexique
- l'EGNOS couvre l'Europe de l'ouest et centrale
- Le MSAS couvre le Japon.
- Le SDCM couvre la Russie
- Et bientôt le GAGAN couvrira le continent Indien

Sur nos GPS « plaisance », cela se traduit par un **paramétrage SBAS** dans le menu, que l'on **active ou non**
(au choix)

Les GPS derniers nés ont tous cette option.



SDCM

WAAS

EGNOS

GAGAN

MSAS

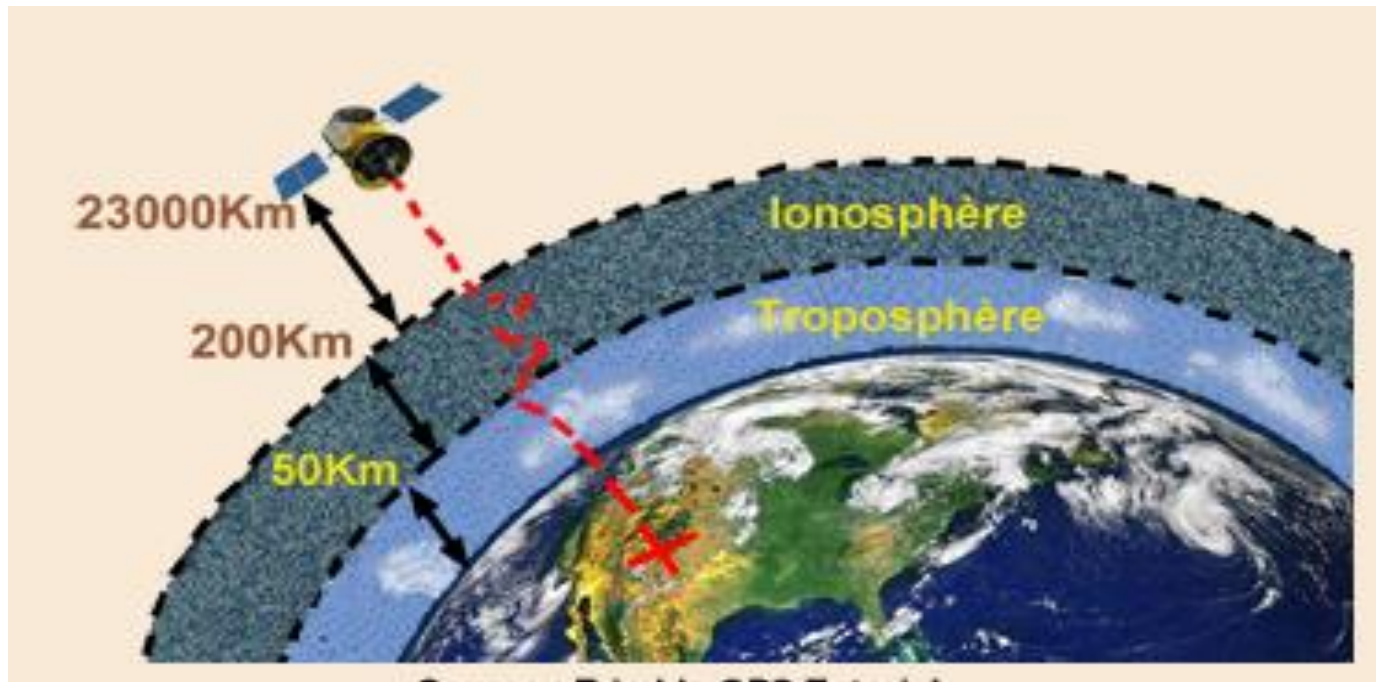
Équipement des petits navires et de la plaisance

- Les récepteurs sont équipés pour recevoir uniquement la fréquence SPS - L1 (1 575,42 MHz)
- Le **SPS** offre une précision de l'ordre de **10 à 20 m de rayon** dans le plan horizontal, 95 % du temps worldwide, **2 à 3 m de rayon** si le **SBAS** est activé dans les zones **SBAS**

(les 5% restant, le service fournit une précision de positionnement en dehors des 20 m ou en dehors des 3 m de rayon)

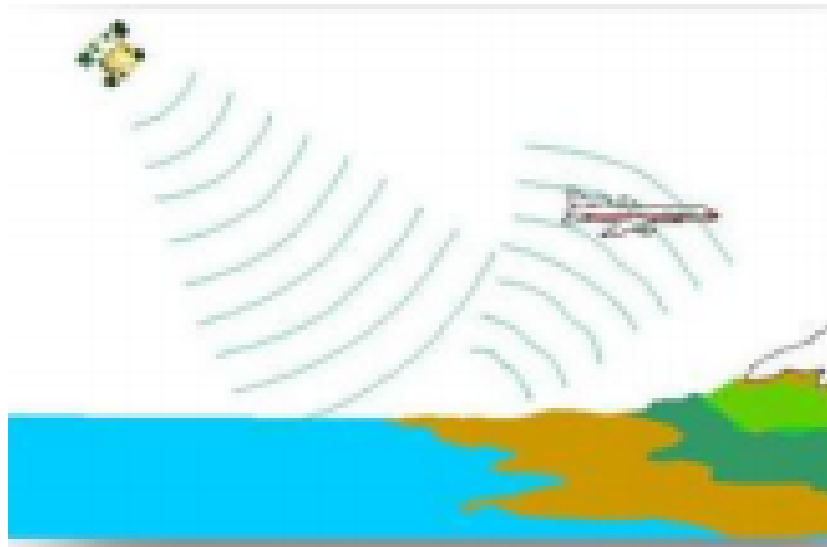
Les erreurs du système

- Les satellites peuvent avoir des perturbations dans leurs orbites. Ils peuvent avoir des erreurs d'horloge
- La propagation du signal peut s'altérer car la vitesse de l'onde varie un peu en passant l'ionosphère et la troposphère provoquant ainsi un retard



Les erreurs du système

- La réflexion (nappes d'eau, roches, falaises, relief, façades...) peut aussi provoquer des erreurs de mesure du temps (multipath effect). Le récepteur a alors quelques incertitudes dans le traitement des mesures du temps de voyage du signal



La somme des erreurs système appelé UERE (User Equivalent Ranging Error) est de **5,5 à 6 m**

Le coefficient de précision

Un autre facteur de positionnement précis dépend de la constellation de satellites utilisés avec le récepteur.

Ce facteur est appelé **HDOP** (Horizontal Dilution Of Precision). Plus petit est le **HDOP**, meilleure est la constellation de satellites utilisées.

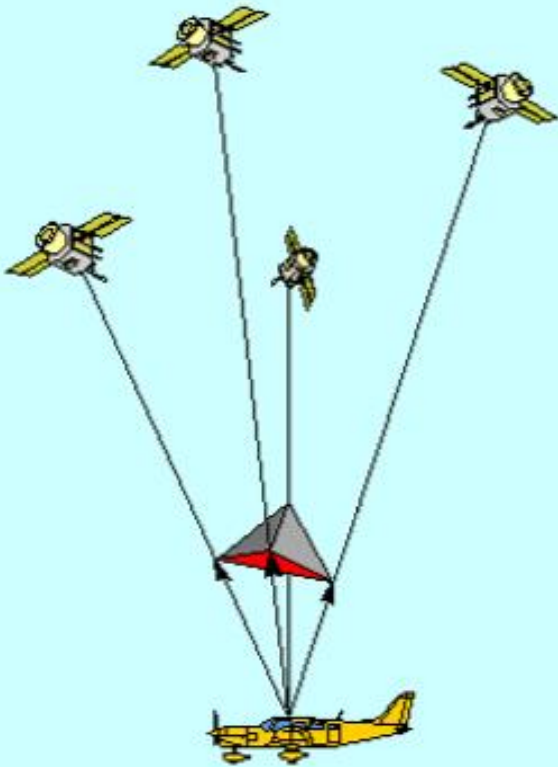
Si le **HDOP** indiqué est **supérieur à 6**, la position GPS ne peut pas être utilisée pour la navigation.

Quand le **HDOP** est dans une valeur raisonnable (**HDOP < 6**), l'erreur de position du GPS doit être inférieure à ...

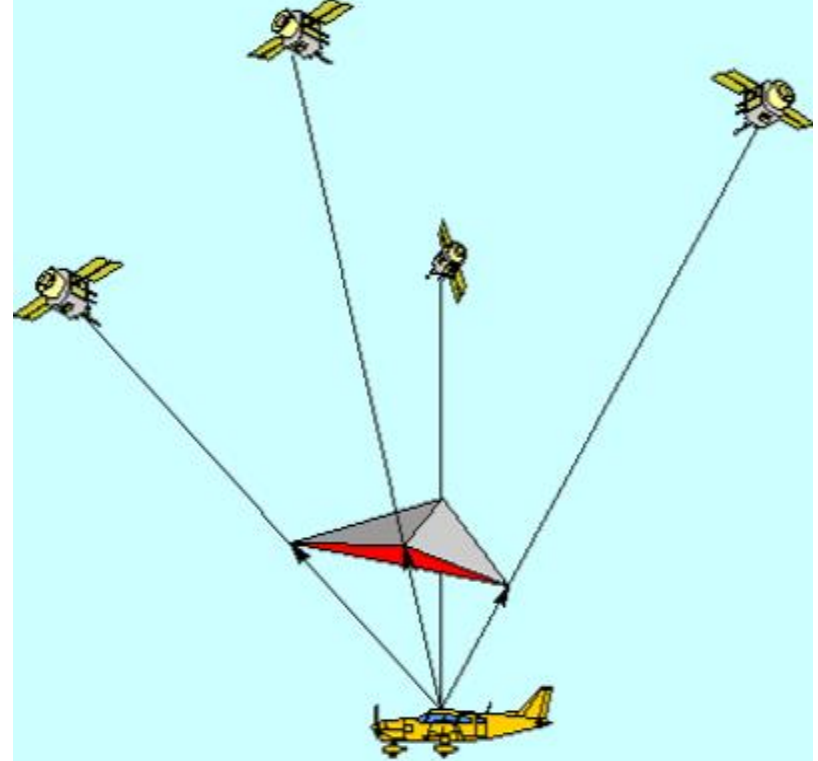
50 m (*)

(*) Récepteurs modernes travaillent avec les 3 systèmes garantissant une bonne constellation et un HDOP < à 3

Le coefficient de précision



DOP > à 6



DOP < à 6

Les erreurs du système

L'impact des erreurs système sur la précision du positionnement est égal à:

$$\text{VERE} \times \text{HDOP} \text{ (en m)}$$

VERE (User Equivalent Ranging Error)

$$= 5,5 \text{ à } 6 \text{ m}$$

HDOP moyen* (Horizontal Dilution Of Precision)

$$= 2,3 \text{ à } 2,4$$

Soit une erreur moyenne de positionnement de

$$12 \text{ à } 15 \text{ m}$$

(*) statistiques US établis tous les mois

Les erreurs liées à la réception

Ce sont les facteurs « locaux »:

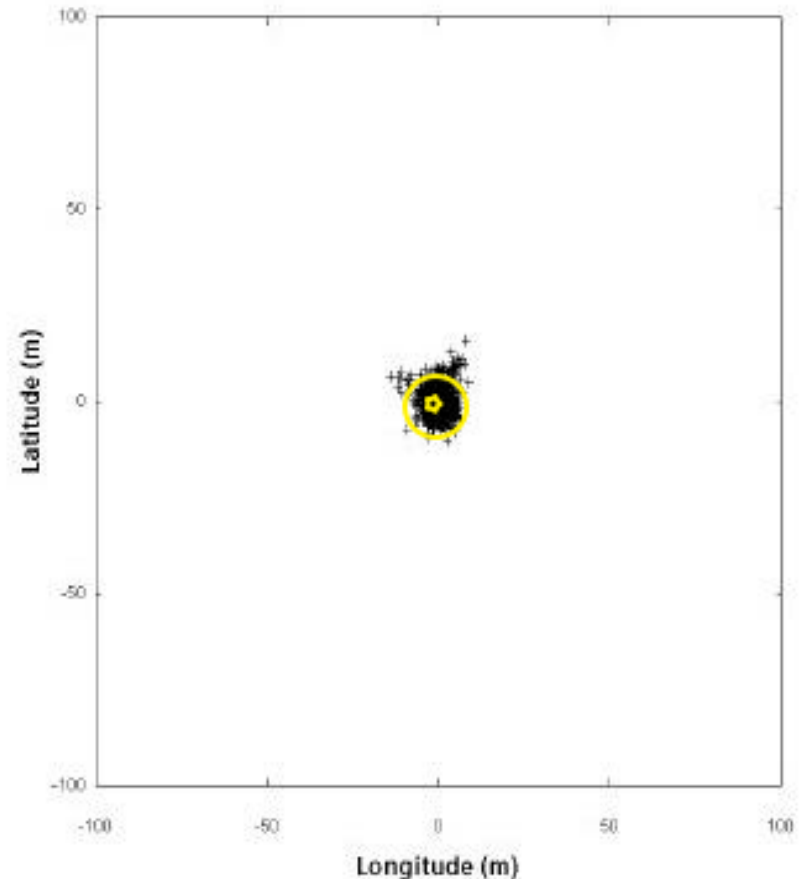
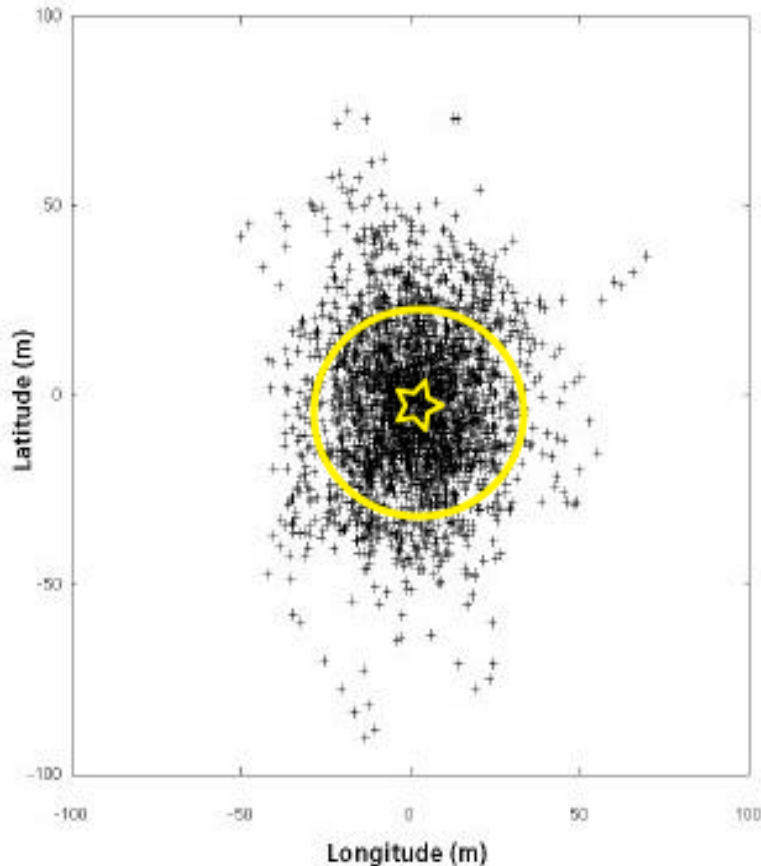
- Le blocage du signal par des masques (montagnes, vallées étroites, immeubles, ponts, arbres...)
- Les conditions atmosphériques
- La conception et la qualité du récepteur

Précision & exactitude

Dérive de la position au cours de 5h
de mesures (position en mètres)

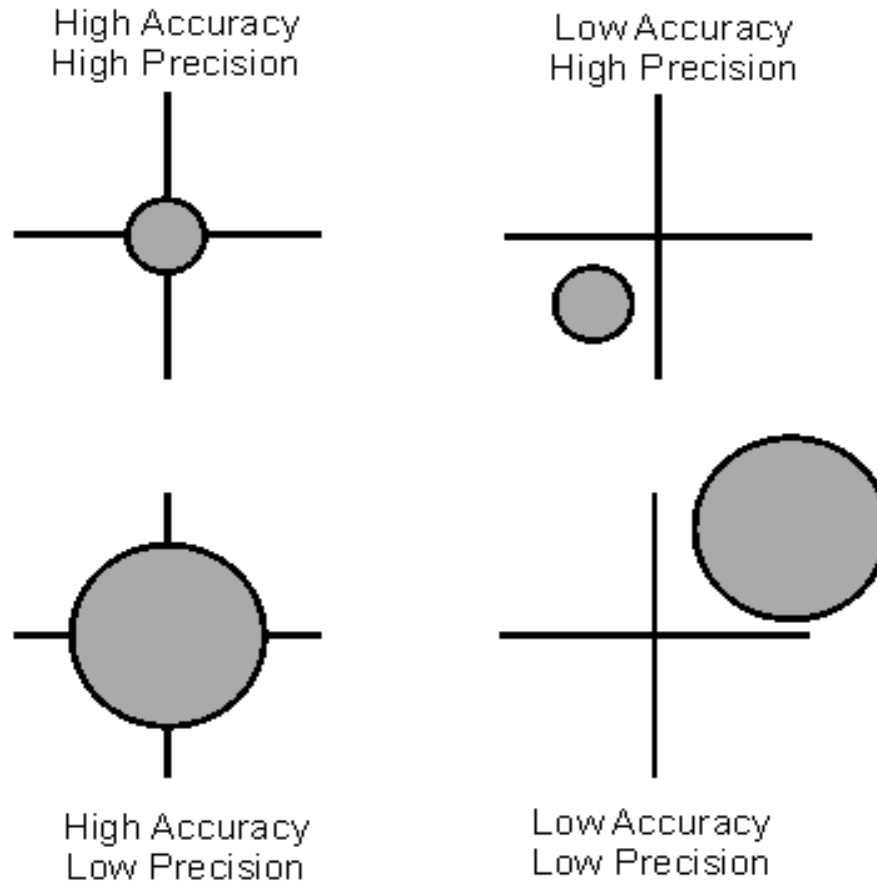


Précision & exactitude



Précision du GPS: à l'instant T, plus petit est le cercle des données « connues », plus grande est la précision

Précision & exactitude



Exactitude du GPS (accuracy): détermine le degré de proximité entre l'information donné par l'instrument et la position « vraie »

Erreurs non liées au système

➤ Fascination de l'appareil

- La formation des utilisateurs et la réactualisation des savoirs
- La conscience des limites du système
- Les erreurs de cartographie indépendantes du système GPS

➤ Excès de confiance dans l'outil

- Préparation de la navigation superficielle
- Décisions retardées ou inappropriées

➤ Dispersion de l'attention

- Au cours de la progression de la navigation
- Perte des repères sur l'eau

Utilisation du GPS & cartographie

- Le GPS ne donne aucune indication sur ce qui est « autour » du bateau
- La **carte marine** (papier ou numérique) et la **documentation** nautique (IN, Pilot Book, annuaire des marées, livre des Feux...) restent **indispensables**
- **La position des dangers** portés sur les cartes est connue avec **une précision généralement inférieure** à celle du récepteur GPS, en particulier en mode SBAS
- **L'incertitude de la position** d'un danger par rapport à sa position réelle peut **varier de 10 à 100 m**, voir 300 m pour les zones hydrographiées avant 1950 (dixit SHOM)

Utilisation du GPS & cartographie

- Avec les cartes numériques et en zoomant, ne pas confondre précision du détail avec exactitude du détail tant sur le plan vertical (profondeur) qu'horizontal (position)
- Dans un chenal étroit, la navigation se fait à vue. La vérification entre les données bathymétriques de la carte (papier ou numérique) et le sondeur doit être permanente
- Ne jamais user inconsidérément de l'excellente qualité de son positionnement GPS pour serrer de trop près les hautfonds (rase-cailloux à proscrire)

Utilisation du GPS & cartographie

- Continuer à prendre deux marges de sécurité:
 - L'une verticale, le « **pied du pilote** »
 - L'autre horizontale, la règle du « **pouce** »
- **Règle du « pouce »**: il s'agit de passer à plus d'un pouce (environ 25 mm) d'un danger immergé. Par exemple, à l'échelle 1/20 000, 10 mm représente 200 m, 25 mm représente donc une distance de sécurité de 500 m
- **Cercle de sécurité**: la position instrumentale peut-être située dans un cercle de rayon allant de 6 à 50 m (cumul des erreurs système). **En Europe et en Amérique du Nord**, il reste prudent de considérer la position donnée par le GPS comme le centre d'un **cercle d'incertitude de 15 m de rayon**

Systeme performant mais pas sans defauts

- **Sur-confiance** entraînée par la facilité d'emploi d'où risque de problème en cas de non fonctionnement intempestif (alimentation, programmation, signaux altérés, ...)
- **Préparation et suivi aléatoire de la navigation** d'où stress amplifié en cas de non fonctionnement (accumulation d'erreurs, perte de la capacité d'analyse) >>> importance du LDB
- **Perte de méthode et de jugement** dans la préparation et le suivi de la navigation
- **Attention trop soutenue sur les écrans** au détriment de la veille, du pilotage en zone côtière et des repères « terrain » (zoom, pb d'échelle...)
- Erreurs de trajectoire par **mauvaise configuration** des instruments, de la route, des Waypoints, ...
- **Méconnaissance** des paramétrages & réglages système (propre à chaque logiciel) altérant la précision des données
- **Windows** sur PC & tablettes reste un système fragile

Le GPS ne résout pas tous les problèmes

- Le GPS & systèmes associés ne pilotent pas le bateau. Seul le CdB ou le navigateur prennent les décisions
- L'utilisation du GPS & systèmes associés ne dispense pas de préparer sa navigation dans le détail
- La programmation d'une navigation demande du temps et de l'attention, deux éléments dont on ne disposera pas forcément une fois en route
- Activation du mode papier en parallèle, LdB, règle Cras, compas de relèvement, jumelle, autres senseurs du bateaux, IN, guides nautiques...etc.

Le GPS ne résout pas tous les problèmes

- **Rafraichir ses connaissances** du GPS et des systèmes associés (les logiciels dit de « navigation ») avant de partir en mer (doc dans l'espace CdB du site GIC)
- Le GPS et les systèmes associés sont **des aides** pour le confort du CdB et du navigateur en vue d'améliorer la

SECURITE

**et ne remplacera jamais
le « sens marin »**

Pour résumer

➤ Précision nominale du GPS

(Navstar - Standard Positioning Service ou Galileo - Open Service):

- En zone SBAS: 2 à 3 m de rayon
- En zone non-SBAS: 10 à 20 m de rayon

➤ Dégradation de la précision système

- Somme erreurs système: jusqu'à + 6 m
- HDOP: jusqu'à + 50 m

➤ Plus erreurs liées à la réception

En Europe et Amérique du Nord

>>> Cercle de sécurité = 15 m de rayon

Sources

<https://www.gps.gov/>

<https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>

<https://beebom.com/what-is-glonass-and-how-it-is-different-from-gps/>

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

<http://en.roscosmos.ru/>

https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/WAAS_Receivers

<https://www.gps.gov/systems/augmentations/>

<https://www.gsa.europa.eu/egnos/what-egnos>

https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/egnos-system/about-egnos

<https://www.sxbluegps.com/fr/technologie/le-gps-et-les-erreurs/>