OBJECTIFS ET STRUCTURE

L'objectif du GPS est de permettre à un nombre illimité d'utilisateurs de **déterminer leur position** et de **synchroniser leur montre en tout point du globe**, à tout instant et indépendamment des conditions climatiques en se basant sur une référence géographique et temporelle universelle.
Le système GPS se compose de 3 segments fonctionnels :

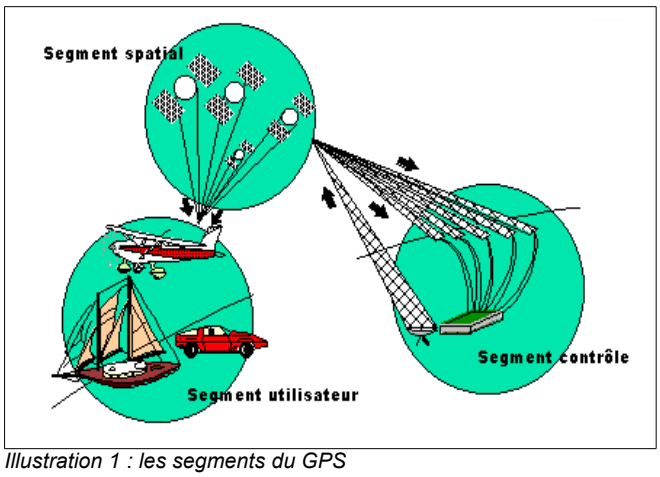


Illustration 1 : les segments du GPS

- **Le segment spatial :** il s'agit d'un réseau d'une trentaine de satellites qui émettent sur 2 fréquences, L1 (1575.42 MHz) et L2 (1227.6 MHz) ; les satellites se meuvent sur 6 plans orbitaux, à environ 20 000 km d'altitude.
- **Le segment de contrôle :** il est constitué de 5 stations qui calculent l'orbite des satellites, contrôle leur bon fonctionnement ainsi que la qualité de l'horloge à bord de chaque satellite.
- **Le segment utilisateur :** il est composé des récepteurs GPS, appareils permettant de calculer la position, la vitesse et l'heure d'un observateur, partout et à tout moment sur Terre et dans ses environs, quelles que soient les conditions climatiques.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU GPS

Le principe de base de la détermination GPS d'un point est similaire au principe de triangulation, si ce n'est que l'on utilise non pas des angles mais des distances.

Principe de la mesure

Les satellites envoient des ondes électromagnétiques qui se propagent à la vitesse de la lumière. Connaissant la vitesse de propagation de la lumière, on peut alors calculer la distance qui sépare le satellite du récepteur en connaissant le temps que l'onde a mis pour parvenir du satellite au récepteur grâce à la formule suivante :

d = c.t

d : distance,
c : vitesse de la lumière ou célérité,
t : temps mis par l'onde pour arriver du satellite au récepteur.

Pour mesurer le temps mis par l'onde pour lui parvenir, le récepteur GPS compare l'heure d'émission (codé dans le signal) et de réception de l'onde émise par le satellite.
Cette distance est appelée pseudo-distance.

Avec trois satellites, on obtient trois pseudo-distances qui permettent théoriquement de déterminer la position.Néanmoins les horloges du récepteur et du satellite ne sont pas parfaitement synchronisées ; cela introduit un délai d'horloge qui apparaît comme une erreur sur la mesure de distance au satellite.
C'est pourquoi **quatre satellites** sont nécessaires pour déterminer trois coordonnées et un délai d'horloge.

Il faut donc :
- **4 satellites** pour obtenir une **position en 3 D** (latitude, longitude et altitude)
- **3 satellites** pour obtenir une **position en 2D** (latitude/longitude)

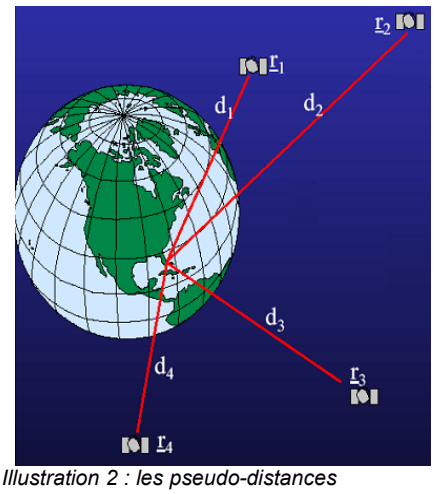


Illustration 2 : les pseudo-distances

Nécessité d'un temps précis

Le signal émis par le satellite se propage à la vitesse de la lumière (300 000 km.s^{-1}). Ainsi une erreur de 1 ms sur le temps entraîne une erreur de positionnement de 300 km. Les satellites disposent d'horloges atomiques ayant une précision 1 ns sur laquelle doit se caler le récepteur GPS (le récepteur ne disposant pas actuellement d'horloges atomiques, pour des raisons de coût).

Nécessité d'orbites fines

Les satellites GPS suivent des trajectoires quasi elliptiques.
Ces trajectoires subissent des perturbations (attraction lunaire, soleil, rayonnement solaire) ; c'est pourquoi les stations de contrôle mesurent les écarts des trajectoires, les corrigent et les mettent à jour par les éphémérides radiodiffusées.
La précision des orbites est de l'ordre de 2,5 m.

Les erreurs

Source d'erreur	Description	Erreur type
Selective Availability	Le "Selective Availability " (SA) est une dégradation volontaire du signal par les USA. Depuis le 1er mai 2000 le SA a été supprimé, mais il pourrait être réactivé.	30 m
Erreur d'orbite	Bien que les stations de contrôle réactualisent la position des satellites, il se peut que de faibles erreurs subsistent.	2,5 m
Erreur d'horloge au satellite	La précision des horloges atomiques embarquées à bord des satellites est de l'ordre de quelques nanosecondes ; cette imprécision peut générer une erreur.	Ordre du m
Erreur d'horloge au récepteur	Dépend de la qualité de l'oscillateur.	Non évalué
Erreurs atmosphériques	**Erreurs ionosphériques** : L'onde électromagnétique se propage moins vite dans un milieu chargé que dans le vide ; hors l'ionosphère est chargée en ions et électrons de manière très variable (fonction de l'heure et des cycles solaires).	5-30 m
	Erreurs troposphériques : L'onde électromagnétique est ralentit par l'atmosphère concentrée dans cette couche (8 km à 17 km d'au-dessus du pôle à l'équateur).	5-30 m
Trajet multiple	Absorption, atténuation, réflexion ou réfraction des signaux sur des obstacles.	0-20 m

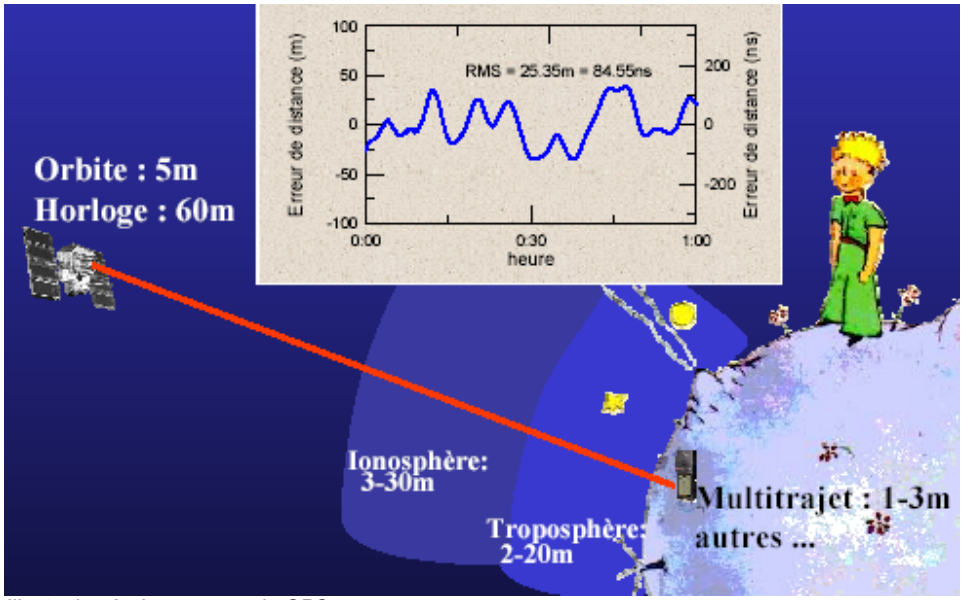


Illustration 3 : Les erreurs du GPS

La géométrie des satellites

La précision du point GPS dépend en partie de la géométrie des satellites. Elle est évaluée par le facteur GDOP (Geometric Dilution Of Precision).

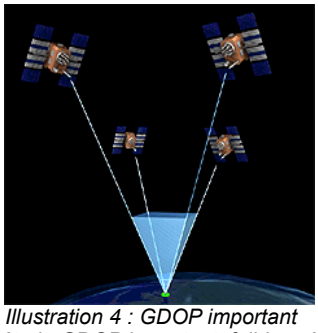


Illustration 4 : GDOP important
Trièdre étroit, GDOP important, faible précision

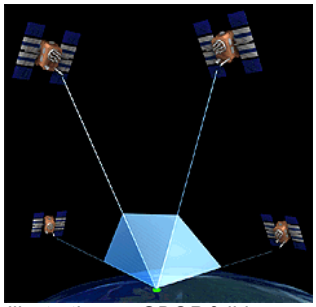


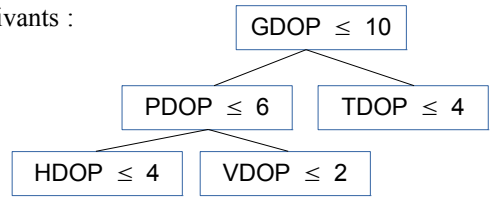
Illustration 5 : GDOP faible
Trièdre large, GDOP faible, bonne précision

GDOP = Geometric Dilution Of Precision se décompose en :

- PDOP = Position Dilution of Precision (3-D), des fois appelé le Spherical DOP.
- HDOP = Horizontal Dilution of Precision (Latitude, Longitude).
- VDOP = Vertical Dilution of Precision (Height).
- TDOP = Time Dilution of Precision (Time).

Les critères pour avoir un point acceptable sont les suivants :

HDOP	Précision
1	25 m
2	50 m
3	75 m
4	100 m



Plus les DOP sont faibles, meilleure est la précision du point.

Performance

- Le service est assuré 95% du temps
- L'obtention d'un point se fait de quelques minutes à 30 min.
- La précision assurée est la suivante :

Précision GPS	Horizontal	Vertical
En mode standard (avec SA)	100 m	160 m
En mode standard (sans SA)	30 m	50 m

LE DGPS

Le GPS différentiel (DGPS) a pour objectif d'améliorer la précision du positionnement GPS.

Principe

Des mesures sont effectuées en un lieu de position connue ; ces mesures sont comparées aux valeurs théoriques et leur différence fournit une correction transmise ver l'utilisateur. Cette correction est intégrée dans le calcul de la position.

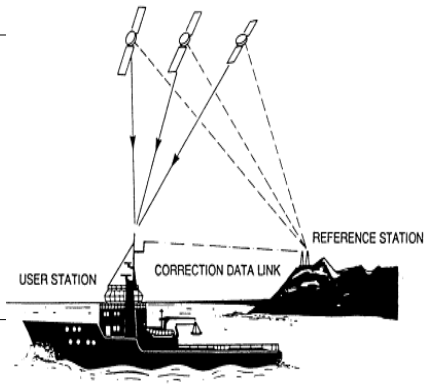


Illustration 6 : le DGPS

Comparaison GPS/DGPS

Les courbes suivantes représentent les mesures qui ont été faites toutes les 10 s, pendant une nuit entière, en un point fixe. La première correspond à des mesures en GPS "normal" ; les mesures présentent une erreur qui peut atteindre 80 m. La deuxième correspond à des mesures en mode différentiel, en envoyant les corrections toutes les 20 s ; les erreurs de mesure sont alors pratiquement toutes **inférieures à 10 m**.

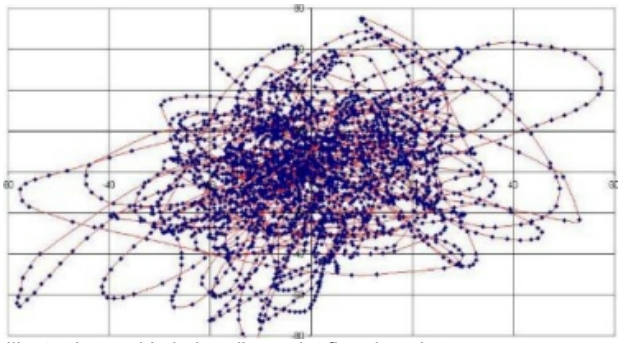


Illustration 7 : Variation d'un point fixe dans le temps vu par un GPS en mode naturel

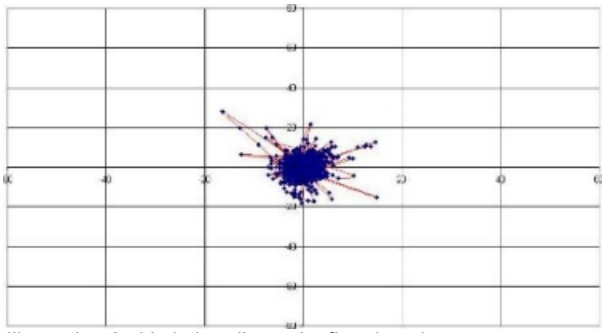


Illustration 8 : Variation d'un point fixe dans le temps vu par un GPS différentiel

Les services publics

- **Le réseau maritime des phares et balises**

  Le DGPS a été adopté par le ministère des transports comme aide radioélectrique à la navigation.
  Sept stations situées sur le littoral français ont été mises en place.
  Ce service offre une précision de 5 m dans 95 % du temps.
  D'autres stations équivalentes existent dans de nombreux pays et sont exploitables directement et automatiquement par les GPS.
  Portée : de 100 à 400 M

- **SBAS : EGNOS/WAAS, MSAS**

  Les SBAS : Satellite Based Augmented System :
  Les SBAS ont pour objectif de :
  - fournir à l'aviation un service DGPS,
  - augmenter la disponibilité des services GPS,
  - fournir un service d'intégrité.

- **Le GBAS :**

  Grounded Based Augmentation System idem SBAS mais limité à l'approche des aéroports.

- **EUROFIX :**

  Loran C double source d'information
  Loran + émission DGPS des corrections DGPS, DGLONASS, DloranC, messages d'intégrité, messages d'alerte.
  Précision : 1,5-2 m (horizontal).
  Portée : 1000 km.

Les services privés

Étant donné le nombre limité de stations DGPS mises en place par les services publics, des sociétés privées proposent des services de corrections à l'échelle mondiale (ou régionale).

- **OmniSTAR/Landstar/Seastar**

  Les systèmes Landstar /Omnistar /Seastar possèdent des stations de références dans de nombreux pays. Ces stations calculent les corrections à apporter puis ces corrections sont envoyées par satellites aux utilisateurs.

- **Le réseau RDS (application terrestre)**

  Le RDS (Radio Date System) est un service de transmission de données digitales sur bande FM.
  Des corrections différentielles sont diffusées par RDS (limité à 60/90 km).

- **Veripos**

  Veripos est un système DGPS dédié à l'environnement maritime qui couvre le nord ouest de l'Europe.
  La transmission des corrections se fait par l'intermédiaire d'une liaison HF.
  Précision : 5 m.
  Portée : 800 km.
  L'accès à ce système est gratuit (équipement GPS intégrant un récepteur HF).
  Ce système est utilisé pour les applications off-shores, les levés hydrographiques, et la navigation hauturière.

EXPLOITATION DU GPS

L'initialisation du récepteur

*L'initialisation du récepteur doit être effectuée lors de la **première** mise en service ou si la mémoire du calculateur a été effacée :*

- date,
- heure approximative,
- position estimée (à quelques degrés prés),
- hauteur d'antenne.

Configuration du récepteur

La configuration du récepteur doit être vérifiée à chaque relève de quart.

a) Configurer la référence géodésique

Système de la carte	Système sur le GPS	Autres configurations à effectuer
WGS 84	**WGS 84**	Vérifier que les offsets sont à zéro.
Système XXX *(Autre que WGS 84)*	**WGS 84**	Entrer les corrections en latitude et longitude indiquées sur la carte (pour passer de XXX en WGS84) dans les **offsets** du GPS.
	Système XXX	Vérifier que les offsets sont à zéro

Nota : Il est préférable de configurer le GPS en mode WGS 84 et d'utiliser les corrections de la carte que de configurer le GPS dans le même système géodésique de la carte.
Pourquoi ?: le GPS adopte des corrections globales pour passer de WGS 84 à un autre système.
*Les corrections **locales** indiquées sur la carte sont plus précises (cf. § report point GPS/carte).*

b) Configurer la référence horaire

- Soit en heure locale soit en heure UTC.

c) Configurer les unités de distance

- Ne pas confondre mi (mille terrestre) et nm (mille marin).

d) Configurer la référence des caps

- Choisir le type de cap affiché (cap vrai, compas, magnétique).
- Paramétrer la déclinaison magnétique.

e) Vérifier le mode simulation

- Lors de son exploitation en navigation, le mode simulateur doit être désactivé.

f) Vérifier le fonctionnement en mode différentiel

- Vérifier qu'un port d'entrée est en réception des signaux DGPS.
- Vérifier que le mode DGPS est activé.
- Vérifier si l'on reçoit des informations DGPS.

Si mode auto et pas de réception , passer en mode manuel et sélectionner la station la plus proche en portée.

g) Configurer les alarmes

h) Configurer la mémorisation de la route

Cadence d'enregistrement de points.

Fonctions du récepteur

La fonction principale du récepteur GPS est de calculer **la position, la vitesse et le temps**.
Les autres fonctions sont des fonctions secondaires (tracé de route, point tournant, prédiction de passage de satellites, conversions géodésiques, ...).

Précision

- **Précision du GPS**

Précision GPS	Horizontal	Vertical
En mode standard (avec SA)	100 m	160 m
En mode standard (sans SA)	30 m	50 m
En mode différentiel	1 à 7 m	NA

SA : dégradation volontaire du système par le DoD (propriétaire du GPS)

- **Imprécision des cartes/précision du GPS**

  L'imprécision de la cartographie de nombreux dangers immergés si elle résulte de travaux anciens, peut atteindre quelques centaines de mètres. Dans ces conditions il peut être dangereux de prétendre se positionner avec précision par rapport aux dangers en utilisant les informations du GPS ou du GPS différentiel.
  La règle du pouce comme marge de sécurité est à appliquer.

- **Informations erronées**

  Un satellite peut émettre un signal erroné pendant 1 ou 2 heures avant d'être neutralisé, ce qui entraîne une erreur de positionnement.
  Comparé à d'autres systèmes d'aide à la navigation, le GPS peut être considéré comme particulièrement fiable car la réception n'est pas affectée par les conditions météorologiques (hors tempêtes magnétiques).
  Ce n'est pas une raison pour lui faire totalement confiance.
  Une bonne navigation estimée reste indispensable.

Report de point GPS/Carte

Lorsque la carte et le récepteur GPS n'ont pas le même système géodésique, des corrections sont à apporter pour reporter le point GPS sur la carte.

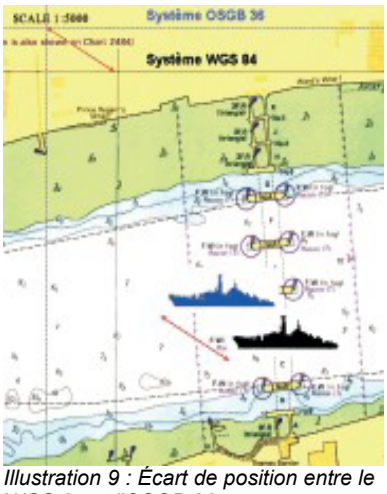


Illustration 9 : Écart de position entre le WGS 84 et l'OSGB 86

Attention, de nombreux récepteurs GPS permettent des configurations régionales qui d'obtenir directement la position dans certains systèmes géodésiques nationaux, régionaux ou continentaux tels que l'ED 50 ou le NAD 83 ;
Néanmoins, un système géodésique étendu tel que l'ED 50, peut avoir été établi initialement à partir d'une zone centrale et ensuite étendue loin de cette zone entraînant des déformations importantes du réseau géodésique sur la périphérie. C'est pourquoi**, il faut mieux utiliser le récepteur GPS en WGS 84 et exploiter les valeurs de corrections mentionnées sur la carte que de configurer le récepteur dans le système local.**

Système	Écart	remarques
ED 50	150 m	Système utilisé pour la plupart des cartes des côtes de France entre 1960 et 2001.
IGN 51	500 m	Pour les cartes de Guadeloupe (système IGN 51).
IGN 47	1500 m	Pour les cartes de la Réunion jusqu'en 1996.

Valeurs d'écart entre le WGS 84 et d'autres systèmes géodésiques

LE GPS ET LES AUTRES GNSS

Les différents GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite System) est l'acronyme pour désigner l'ensemble des systèmes de navigations par satellites. Le GPS est le premier GNSS qui a été créé

Fonctionnalités

Un GNSS permet de :

- déterminer la géolocalisation (longitude, latitude, altitude) de petits récepteurs électroniques en utilisant les signaux émis par les satellites en vue.
- déterminer une référence le temps précise à l'aide de récepteurs dont la position est connue.

Ces deux fonctionnalités sont généralement désignées par l'acronyme PNT (Positioning and Timing).

État de l'art

USA	**GPS (GLOBAL NAVIGATION SYSTEM)** *Le GPS est un GNSS totalement opérationnel.*
RUSSIE	**GLONASS** (**GLO**bal'naya **NA**vigatsionnaya **S**putnikovaya **S**istema) *Le GLONASS est un GNSS totalement opérationnel*
EUROPE	**GALILEO** *Galiléo est un GNSS partiellement opérationnel* *Il est prévu d'être pleinement opérationnel en 2020.*
CHINE	**BEIDOU/BIG DIPPER /BEIDOU 1** *(4 satellites)* *La Chine a déployé un système de navigation régional (couverture satellitaire de la Chine uniquement).* **COMPASS/BEIDOU2** *(35 satellites)* *Le système de navigation régional BEIDOU évolue en un système global ;Le système Compass beidou devrait etre pleinement opérationnel en 2020*
INDE	**NAVIC (NAVIGATION INDIAN CONSTELLATION *),* ex IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System)** Ce système est un système régional opérationnel/

Les systèmes complémentaires aux GNSS

GNSS différentiel

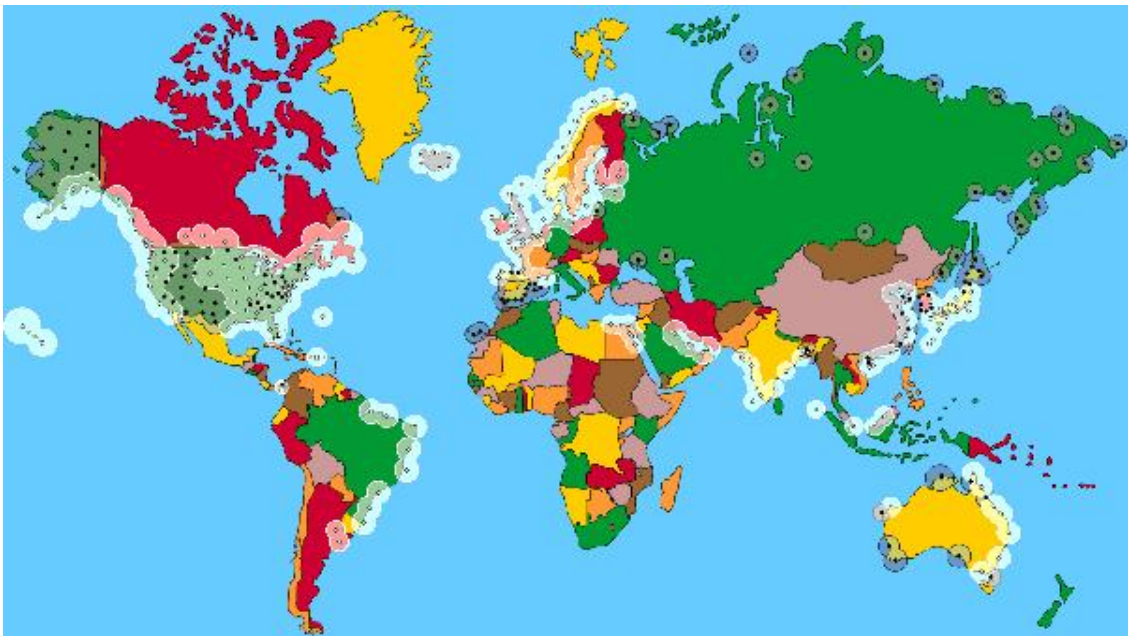


Illustration 10 : Couverture du DGPS

Le système différentiel du GNSS (DGNSS : Differentiel Global Navigation Satellite System) est une amélioration du GNSS qui utilise des stations terrestres de référence. Ces stations différentielles diffusent des corrections (différence entre la position donnée par le système satellitaire et la position connue de la station).

Ces informations sont diffusées vers les utilisateurs finaux :

- soit par des stations terrestres en bande VHF pour l'aviation : on parle alors de **GBAS**, Grounded Based Augmented System
- soit par satellites : on parle alors de **SBAS**, Satellites Based Augmentation System.

Les systèmes d'augmentation : SBAS/ GBAS

Les systèmes d'augmentation du GNSS utilisent des informations externes aux GNSS afin d'améliorer la précision, la disponibilité et la fiabilité du signal émis par les satellites.

Ces systèmes diffusent des informations diverses : certains diffusent des informations relatives les sources d'erreurs (dérive de l'horloge, éphémérides, retard ionosphérique), d'autre fournissent des mesures du retard du signal (DGNSS) et un troisième groupe fournit des informations sur la navigation ou sur les satellites à intégrer dans le processus de calcul de la position.

Satellite Based Augmentation System *(SBAS)*

Le SBAS est un système couvrant une large zone (région). Ce système utilise des satellites. Il est composé par des satellites géostationnaires destinés à renseigner en temps réel les utilisateurs de GPS sur la qualité de signaux qu'ils reçoivent.

Ce type de système se compose généralement de plusieurs stations à terre connaissant parfaitement leur position. La station terrestre mesure les signaux d'un ou plusieurs satellites et/ou les paramètres environnementaux qui peuvent influer sur le signal reçu par les utilisateurs.
A partir de ces mesures, la station réalise et diffuse vers un ou plusieurs satellites des messages d'informations qui seront rediffusées aux utilisateurs finaux.

SBAS = diffusion de corrections + information d'intégrité par satellites géostationnaires pour le GPS

Il existe différents SBAS :

USA	**WAAS :** Wide Area Augmentation System
CANDA	**CWAAS** : Canadian Wide Area Augmentatoin System
EUROPE	**EGNOS :** European Geostationary Navigation Overlay System
INDE	**GAGAN :** GPS Aided Geo Augmented Navigation *GAGAN est prévue d'être opérationnel en 2011.*
CHINE	**SNAS** : Satellite Navigation Augmentation System
JAPON	**MSAS :** Multi-functional Satellite Augmentation System
NAVCOM	**Starfire Navigation** (payant) Système commercial développé par John's DeereNavCom and Precision Farming groups. Ce système est un système commercial
	Omnistar (payant) Système commercial développé par Fugro http://www.omnistar.com/

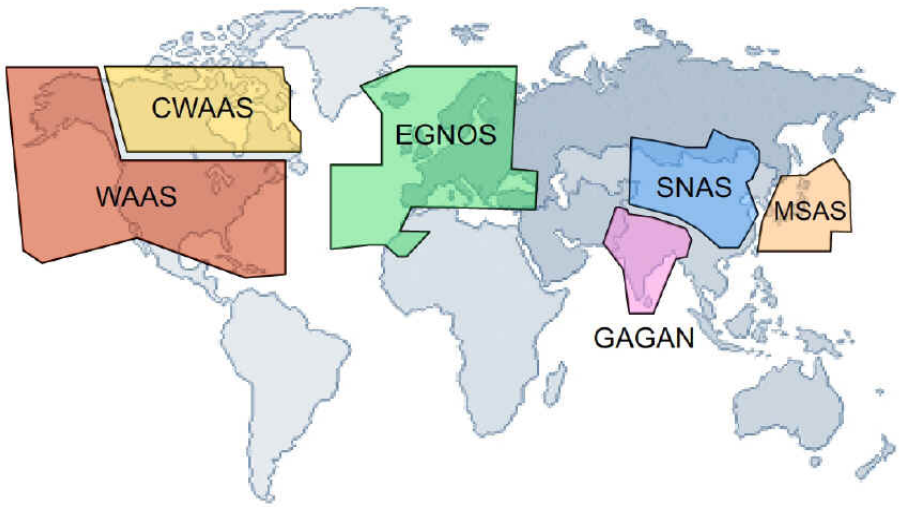


Illustration 11 : Les SBAS

RESSOURCES

Monographie

A. Andréani - *Le GPS : une révolution* – édition Jean Jarry (Juin 2001) – 20 €.
Une livre didactique et complet sur les applications du GPS.

Marin Breton - *Almanach du marin breton 2003* – œuvre du marin breton (2003) – 15 €.

Bodwitch - *The american pratical navigator* – NIMA.

SHOM – *Le guide du navigateur* – volume 2 – SHOM - 2000.

SHOM -*GPS et navigation maritime* – les guides du SHOM – SHOM – 2000.

SHOM – *La lettre du SHOM aux navigateurs* – SHOM - décembre 2003.

Wikipedia – *Goba navigation satellite system* [en ligne]. Disponible sur : <http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation_system> (consulté le 08/07/2008)
Wikipedia – *GLONASS* [en ligne]. Disponible sur : <http://en.wikipedia.org/wiki/Glonass> (consulté le 13/07/2008)

CRÉDIT GRAPHIQUE

Ces illustrations sont propriétés de leur auteur sauf précision.

ILLUSTRATION	*SOURCE*
Illustration 10 : Couverture du DGPS	http://www.puertos.es/export/pics/puertos/1021370998260.jpg
Erreur : source de la référence non trouvée	http://pagesperso-orange.fr/jean-paul.cornec/gnss.htm
Illustration 1 : les segments du GPS	non référencée
Illustration 2 : les pseudo-distances	non référencée
Illustration 3 : Les erreurs du GPS	non référencée
Illustration 4 : GDOP important	*GPS tutorial* de la société Topcons http://www.topconps.com/gpstutorial/Chapter3.html#Geometric%20Dilution%20Of%20Precision%20(GDOP)
Illustration 5 : GDOP faible	*GPS tutorial* de la société Topcons http://www.topconps.com/gpstutorial/Chapter3.html#Geometric%20Dilution%20Of%20Precision%20(GDOP)
Illustration 6 : le DGPS	non référencée
Illustration 7 : Variation d'un point fixe dans le temps vu par un GPS en mode naturel	non référencée
Illustration 8 : Variation d'un point fixe dans le temps vu par un GPS différentiel	non référencée
Illustration 9 : Écart de position entre le WGS 84 et l'OSGB 86	non référencée
Illustration 11 : Les SBAS	La lettre du SHOM aux navigateurs – SHOM – décembre 2003

Ce document est téléchargeable sur :www.ressources.profmarine.fr ou sur https://vega.supmaritime.fr
Licence : Creative Commons Attribution-Non Commercial-ShareAlike 4.0 International hors crédit graphique