



Auteur: Professeur de l'enseignement maritime H.Baudu  
 herve.baudu@supmaritime.fr  
 Version validée département Navigation:  
 - 1.0 septembre 2017

- Erreurs d'origine naturelle
- Erreurs d'origine technique
- Erreurs d'origine volontaire
- Erreurs récepteur
- Influence géométrie
- Système géodésique

#### Bibliographie:

- guide du Shom sur le GPS

## NAVSTAR - GPS\* - Précision / erreurs

\* Navstar (Navigation Satellite Timing and Ranging) - GPS (Global Positioning System)

L'auteur dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas des cours proposés, et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni des conséquences liées à la mise en oeuvre des informations et schémas contenus dans ce cours. La diffusion de ce support est soumise à l'autorisation de l'auteur et ne doit, en aucun cas servir à des fins commerciales.

page d'accueil



[www.traitedemanoeuv्रे.fr](http://www.traitedemanoeuv्रे.fr)

 Traité de Manœuvre

Accueil

Ouvrages

App Colregs

Cours

Code Polaire

News

Contact

### COURS DE NAVIGATION

#### Cours de navigation L1, L2 et L3

En version Pdf:

*En cours de rédaction pour les versions .pdf*

1. Cours de Navigation L1:
2. Cours Navigation L2:
3. Cours de Navigation L3:

En version Flash:

**Vous pouvez télécharger les fichiers des cours de Navigation en Flash.swf sur votre PC et les lire avec le plugin Flash player ou Internet (uniquement sur PC). Pour cela, décompresser les fichiers ZIP à télécharger ci-dessous. Mettre tous les fichiers L1, L2 et L3 dans un même dossier pour bénéficier des liens à partir de la page « passerelle.swf » (vous pouvez également mettre les fichiers Colregs – voir menu « Cours Colregs »):**

#### Cours sur Youtube: [Cours de navigation Hervé Baudu](#)

## NAVSTAR - GPS

### - Sources d'erreurs



#### Introduction

Les **sources d'erreurs** affectant la précision de la position GPS ont 4 origines:

- **naturelle**: retards de propagation du signal;
- **technique**: erreurs horloges des satellites; précision des éphémérides
- **volontaire**: dégradation du signal SA;
- **récepteur**: choix d'un mauvais système géodésique de référence, (*mauvais paramétrage du récepteur*); erreurs inhérente au récepteur.

La précision de la position dépend non seulement de l'erreur induite par chaque satellite, mais également de la **répartition des satellites dans le ciel: la géométrie des satellites**.

#### Erreurs d'origine naturelle

Les différentes couches de l'atmosphère font subir un retard aux signaux qui les traversent.

##### Retard ionosphérique:

L'indice de réfraction dans cette couche de l'atmosphère (entre 50 et 300km) varie en fonction de la fréquence et de l'état d'ionisation de la couche lié à l'activité solaire notamment. **La traversée de l'ionosphère courbe la trajectoire des ondes électromagnétiques en les ralentissant** (diminution de la longueur d'onde). Les pseudo-distances mesurées sont donc plus grandes (jusqu'à 50m) en raison de l'**augmentation du temps de transit**. Elles varient en fonction de la fréquence, de la date et de l'heure.

Il est difficile de modéliser tous les retards induits par l'ionosphère. Deux techniques possibles sont néanmoins utilisées.



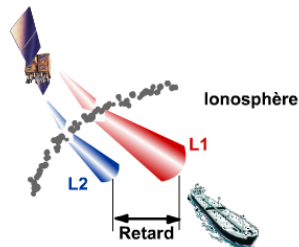
## NAVSTAR - GPS

### - Sources d'erreurs



##### Retard ionosphérique:

- **Techniques bi-fréquences**: les erreurs ionosphériques peuvent être supprimées efficacement grâce à la technique bi-fréquence dont seuls les utilisateurs autorisés bénéficient. En utilisant 2 fréquences distinctes, la **différence de temps d'arrivée** de chacune d'elles est due uniquement à leur traversée dans l'ionosphère et **s'exprime alors comme une différence de retard** sur chacune de ces fréquences. Par cette technique, on corrige les pseudo-distances mesurées. Ce principe de bi-fréquences améliorant sensiblement la précision, il est surtout utilisé avec le système RTK (*Real Time Kinematic*) qui nécessite d'autres antennes locales terrestres (Géodésie).



- **Récepteur mono-fréquence**: Le système utilise un **modèle de corrections** qui dépend de l'heure et de la latitude. Transmis dans le Nav -msg, il est périodiquement rafraîchi. Cette technique ne permet de corriger que 50% de ces erreurs car cette méthode **ne tient pas compte des conditions réelles de propagation au moment de l'observation**.



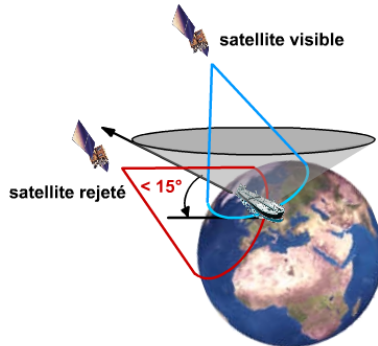
## NAVSTAR - GPS

### - Sources d'erreurs



#### Retard troposphérique:

La couche troposphérique (0 à 20km) qui est en contact avec le sol conduit également à **dévier la trajectoire des ondes électromagnétiques**, donc à les ralentir. Ces retards se traduisent par une **augmentation des pseudo-distances mesurées**. Contrairement à l'ionosphère, la technique de bi-fréquences n'est pas utilisable car l'indice de réfraction est **indépendant de la fréquence et ne dépend plus que de l'élévation du satellite et des conditions météorologiques** (température, pression et humidité de l'air). Des **modèles de corrections troposphériques** sont utilisés. Les satellites dont l'élévation est inférieure de 10 à 15° sont rejetés par le récepteur. Cet angle est paramétrable dans l'**option "Mask Angle"** (élévation).



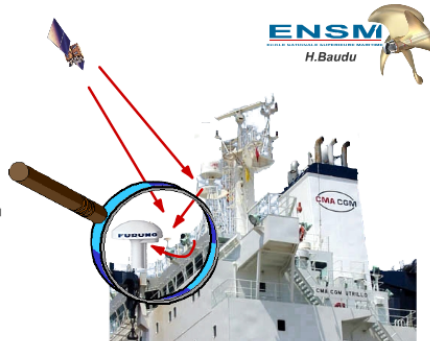
## NAVSTAR - GPS

### - Sources d'erreurs



#### Trajets multiples:

Lorsque l'antenne est située **trop près d'obstacles**, les **signaux émis par les satellites sont réfléchis**, provoquant une altération du signal. La recombinaison dans l'antenne des signaux directs et réfléchis induit des **erreurs de mesure des pseudo-distances** qui peuvent atteindre jusqu'à 20m.



Surface réfléchissante

Il n'y a **pas de modélisation de ces erreurs** car elles sont propres à l'environnement de l'antenne de chaque récepteur. Les seuls moyens d'atténuer ces effets sont:

- utilisation d'une **antenne hélicoïdale** qui n'accepte que les ondes polarisées circulairement à droite, la réflexion changeant la polarisation du signal émis par le satellite;
- disposer l'**antenne sur un plan absorbant**;
- utilisation des calculateurs qui ne prennent en compte que les ondes ayant le plus faible temps de propagation;
- installer l'antenne dans un **endroit dégagé**;
- choix des **satellites visibles > 15°** (Mask Angle)



antenne hélicoïdale



## NAVSTAR - GPS

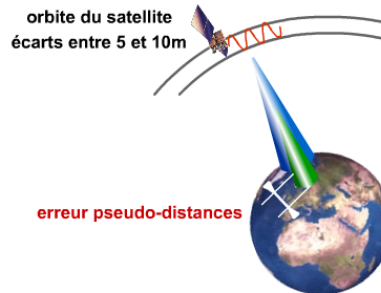
### - Sources d'erreurs



### Erreurs d'origine technique

#### Erreurs d'éphémérides:

La tenue de la **trajectoire des satellites sur leur orbite oscille entre 5 et 10m**. Cet écart se traduit par des **erreurs sur la mesure des pseudo-distances**.



#### Erreurs d'horloge des satellites:

En raison d'une **inévitabile dérive en fréquence**, l'horloge du satellite n'est qu'imparfaitement accordée sur le temps GPS. Ce décalage mesuré par la station de contrôle est en partie corrigé dans le récepteur via le Nav-msg.



## NAVSTAR - GPS

### - Sources d'erreurs



### Erreurs d'origine volontaire

#### Dégradation volontaire - Selective Availability S/A

**Jusqu'en mai 2000**, afin de se prémunir d'une utilisation hostile du signal précis du GPS, le Département de la Défense américain introduisait une **dégradation volontaire** des performances du GPS sur le code C/A, le seul accessible aux civils. Cette dégradation est **obtenue par**:

- **variation de la fréquence de l'horloge;**
- **envoi d'éphémérides erronées.**

Ces erreurs, de caractère aléatoire, diminuaient la précision du Standard Positioning Service (code C/A):

**Précision** (2 drms ou 95%):

	S/A on	S/A off
Code C/A	100m	30m
Code P	15m	8m

Bien que la Nasa ait annoncé la fin de cette pratique, l'objectif étant au contraire de fournir au monde civil une seconde fréquence pour accroître la précision, **le DoD peut remettre en oeuvre sans délai la S/A**, globalement ou régionalement suivant les besoins.

**Le GPS différentiel**, dont la précision atteint 1 m est **l'unique moyen de s'affranchir en toutes circonstances de ces erreurs**.



## NAVSTAR - GPS

### - Sources d'erreurs



#### L'anti-leurrage - A/S (Anti Spoofing)

Afin d'éviter de confondre de faux signaux envoyés en code P, le DoD fait crypter le code P par un code Y classifié dont seuls les récepteurs militaires US peuvent accéder. A terme, le code P/Y n'est connu que ce certains utilisateurs, pays de l'OTAN.

#### Erreurs récepteur

##### Bruit du récepteur:

- Le bruit sur la réception du code peut induire des erreurs jusqu'à 1m;
- Les erreurs propres au matériel sont en général négligeables.

##### Erreurs de calcul:

- Les erreurs de calcul provenant d'approximations dans les algorithmes mathématiques utilisés.

#### UERE - User Equivalent Range Error

nature de l'erreur	$\sigma$ de l'erreur sur la distance (m)	
	Code A	Code P
Dégradation volontaire S/A	$\sigma = 24m$	/
Retards ionosphériques	$\sigma = 7m$	$\sigma = 0,1m$
Retards troposphériques	$\sigma = 2m$	$\sigma = 2m$
Horloge et éphémérides	$\sigma = 2,3m$	$\sigma = 2,3m$
Bruit récepteur	$\sigma = 1m$	$\sigma = 1m$
Trajets multiples	$\sigma = 1,5m$	$\sigma = 1,5m$

L'UERE, calcul statistique matérialise l'écart type  $\sigma$  de la distance mesurée récepteur-satellite.

Ce paramètre issue du Nav-msg de chaque satellite permet d'évaluer la précision du point.



## NAVSTAR - GPS

### - Imprécision



#### Influence géométrie

La précision de positionnement va dépendre essentiellement de la position des satellites entre eux.

Pour connaître la précision de la position, on va multiplier l'erreur induite par les satellites (UERE) par un facteur qui dépend de la géométrie des satellites sélectionnés à la la position du récepteur:

##### le GDOP - Geometric Dilution Of Precision

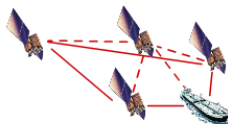
A partir du GDOP, on détermine 4 autres facteurs de dilution de précision DOP:

- PDOP - Position Dilution Of Precision pour la position 3D;
- HDOP - Horizontal Dilution Of Precision;
- VDOP - Vertical Dilution Of Precision;
- TDOP - Time Dilution Of Precision.

##### GDOP - Geometric Dilution Of Precision

Le GDOP tient compte de 4 paramètres: latitude, longitude, altitude et erreur d'horloge. Parmi les satellites visibles, les 4 meilleurs sont sélectionnés avec:

- un GDOP élevé, donc mauvaise précision du point correspond à un faible volume formé par le récepteur et les 4 satellites:



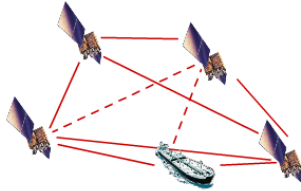
**NAVSTAR - GPS**  
- Imprécision



**Influence géométrie**

**GDOP - Geometric Dilution Of Precision**

- Un GDOP faible, donc bonne précision du point correspond à un fort volume formé par le récepteur et les 4 satellites:



- Le GDOP peut être très élevé lorsque les satellites bas sur l'horizon sont masqués par les reliefs (fjord, falaise, infrastructures portuaires)

**PDOP - Position Dilution Of Precision**

Le PDOP ne tient plus compte de l'erreur sur l'horloge et ne constitue plus que le terme de précision sur un point en 3D:

- 1 < PDOP < 3: excellent;
- 4 < PDOP < 6: moyen;
- 6 < PDOP < 10: inexploitable.



**NAVSTAR - GPS**  
- Imprécision



**Influence géométrie**

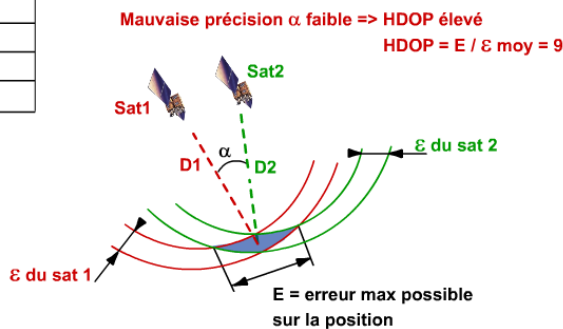
**HDOP - Horizontal Dilution Of Precision**

Le HDOP permet de définir la précision en 2D, en latitude et en longitude. Il s'apparente à la zone d'incertitude sur la position calculée à partir d'observations radioélectriques:

$$HDOP \times UERE = drms$$

Le marin est particulièrement sensible à cette indication de précision (Navigation 2D):

HDOP	Précision (m)
1	25
3	75
6	150
12	300

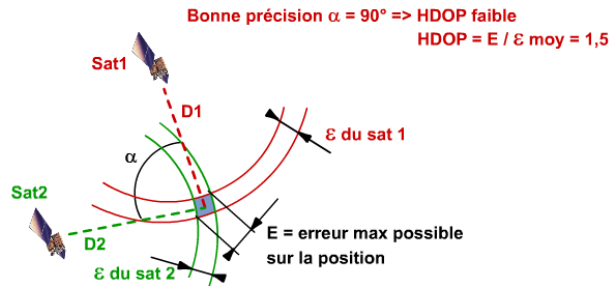


**NAVSTAR - GPS**  
- Imprécision



**Influence géométrie**

**HDOP - Horizontal Dilution Of Precision**



Le **HDOP** est généralement **inférieur à 4 pendant 95% du temps**. Un HDOP supérieur à 12 ne permet plus de donner une position fiable.

**VDOP - Vertical Dilution Of Precision**

permet de définir la précision de l'altitude.

**TDOP - Time Dilution Of Precision**

permet de définir la précision de l'heure.



**NAVSTAR - GPS**  
- Imprécision





## NAVSTAR - GPS - système géodésique



### Système géodésique et cartes marines

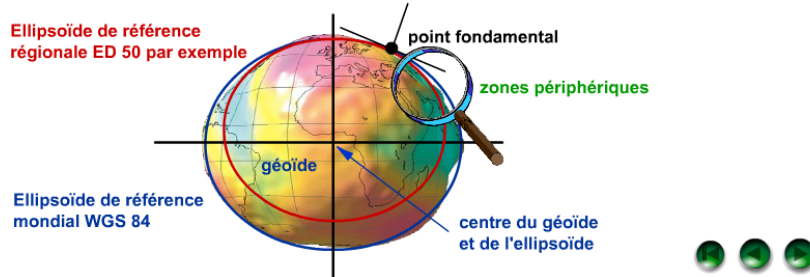
Le système GPS donne à tout moment la position absolue du navire rapporté au système géodésique mondial WGS 84. Pour le moment, encore peu de cartes marines se réfèrent à ce système. L'écart horizontal moyen entre le système WGS 84 et le système ED 50 auquel sont rapportées toutes les cartes des côtes européennes postérieures à 1960 peut atteindre 150m.

Avant de porter une position GPS sur la carte, il est donc impératif de prendre en compte les corrections à apporter aux coordonnées WGS 84 pour les ramener dans le système géodésique local de la carte:

Positions géographiques rapportées au système géodésique européen compensé (ED50)  
(voir nota - Positionnement relatif au système géodésique WGS 84)

Sur le cartouche des cartes, un nota indique les corrections à effectuer.

### Rappel: Système géodésique WGS 84 - système géodésique régional



## NAVSTAR - GPS - système géodésique

La plupart des récepteurs GPS (notamment les DGPS) proposent des options régionales qui permettent d'obtenir directement la position dans des systèmes géodésiques régionaux. Il faut modérer leur utilisation:

- Les formules de passage sont bien adaptées autour du point fondamental mais se dégradent pour les zones périphériques,
- absence de normes officielles pour fixer la précision des transformations des coordonnées qui sont définies par chaque fabricant.

Il est recommandé d'utiliser le récepteur avec l'option WGS 84 plutôt qu'avec l'option régionale et appliquer ensuite les corrections aux latitudes et longitudes qui sont indiquées sur la carte:

#### Positionnement relatif au système géodésique WGS 84

Les positions rapportées au système géodésique mondial WGS 84 obtenues au moyen de systèmes de navigation tel que le GPS (positionnement par satellites) doivent être corrigées de 0,06' vers le Nord et de 0,09' vers l'Est pour être en accord avec cette carte.

Exemple :

Position récepteur (WGS 84)	48°19,50'N	004°38,50'W
Corrections lat/long	+ 0,06'	- 0,09'
Position corrigée (compatible avec le système géodésique de la carte)	48°19,56'N	004°38,41'W

#### Ecart de la position en mètres:

$$\Delta L = 0,06' \text{ soit } 0,06\text{M}$$

$$\Delta G = 0,09' \text{E soit } 0,09 \times \cos 48^\circ 19,5' = 0,06\text{M}$$

L'écart entre les 2 positions est donc de:

$$\Delta = \sqrt{0,06^2 + 0,06^2} = 0,085\text{M}$$

$$\text{soit } \Delta = 0,085 \times 1852 = 157\text{m}$$



La position des dangers immergés figurant sur les cartes étant assez souvent connue avec une précision nettement inférieure à celle que donne le DGPS, le navigateur devra toujours passer à une distance raisonnable des dangers.

