

PRÉSENTATION DU GPS

Objectif du GPS : 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 :

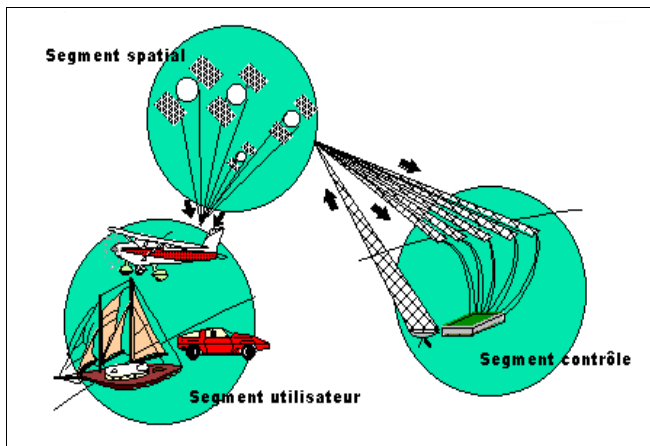


Illustration 1 : les segments du GPS

- **Le segment spatial :** il s'agit d'un réseau de 28 satellites qui émettent sur 2 fréquences, appelées L1 (1575.42 MHz) et L2 (1227.6 MHz) ; ils se meuvent sur 6 plans orbitaux, à environ 20 000 km d'altitude.
La fréquence L1 est modulée par les codes C/A et P, la fréquence L2 est modulée par le code P.
- **Le segment de contrôle :** il est constitué de 5 stations qui calculent l'orbite des satellites, contrôlent 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.

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 :

$$d = c \cdot t$$

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 (inclus dans le signal) et de réception de l'onde émise par le satellite (code C/A et/ou P). Cette distance est appelée **pseudo distance**.

Avec trois satellites on obtient trois pseudo distances qui permettent de déterminer la position.

Deux problèmes subsistent avec cette mesure :

- 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.
- le code C/A a une longueur d'onde de +/- 300 km, ce qui implique que les observations brutes ne peuvent théoriquement donner des distances qu'entre 0 et 300 km.
Hors, la distance à un satellite est de +/- 20 000 km.
La mesure doit donc être corrigée (par le récepteur) de 300 km modulo n. C'est ce qu'on appelle une ambiguïté entière.

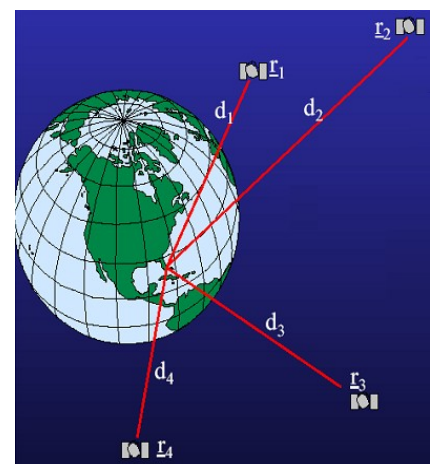


Illustration 2 : les pseudo-distances

Nécessité d'un temps précis

Le signal émis par le satellite se propage à la vitesse de la lumière (300 000 km/s). 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 US. Depuis le 1 ^{er} 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 ralentie 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

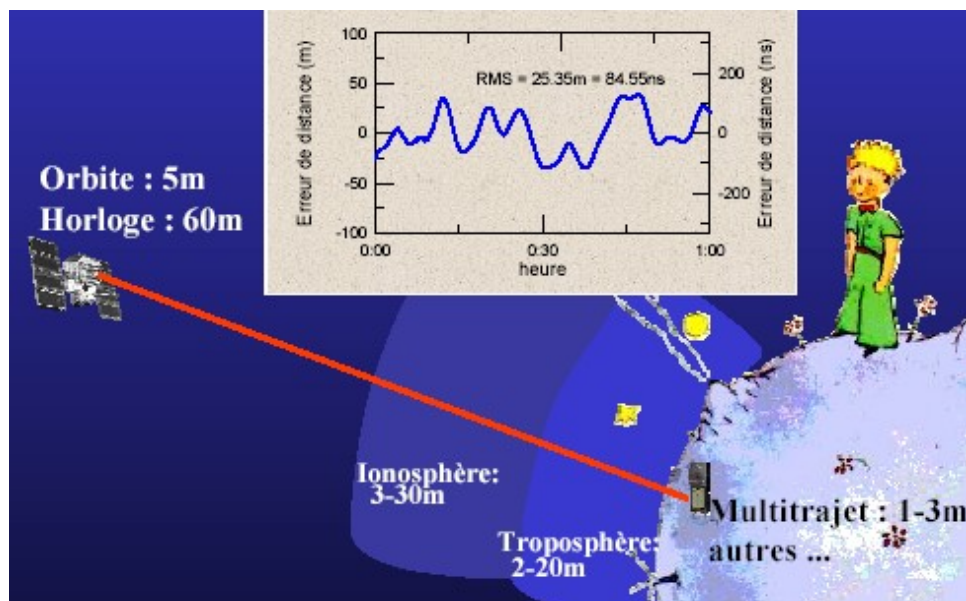


Illustration 3 : Les erreurs du GPS

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).

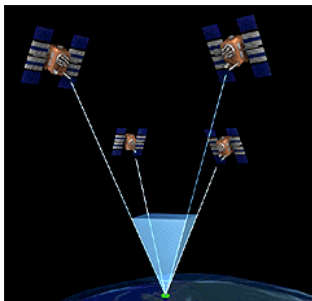


Illustration 4 : GDOP important
Trièdre étroit, GDOP important, faible précision

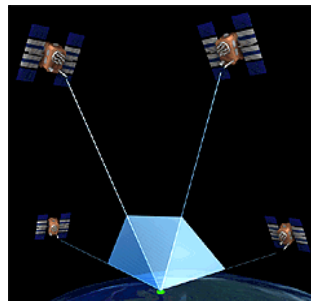


Illustration 5 : GDOP faible
Trièdre étroit, GDOP faible, bonne précision

GDOP = Geometric Dilution Of Precision se décompose en :

- PDOP = Position Dilution of Precision (3-D), sometimes the 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 :

- $GDOP \leq 10$
- $PDOP \leq 6$
- $HDOP \leq 4$

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

ENMM Le Havre	ÉQUIPEMENT DE RADIONAVIGATION	V1.2 – 09/05
A. Charbonnel	LE GPS	4/9

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 vers l'utilisateur. Cette correction est intégrée dans le calcul de la position.

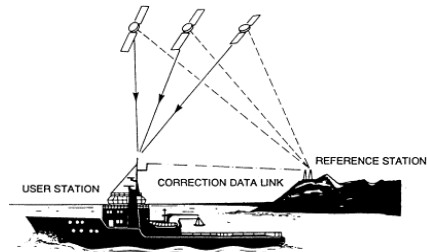


Illustration 6 : le DGPS

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**.

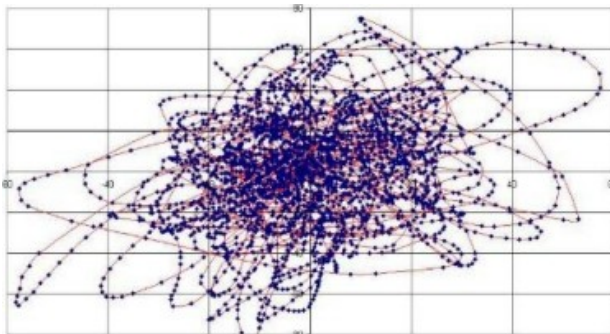


Illustration 7 : Variation d'un point fixe dans le temps vu par un GPS en mode naturel

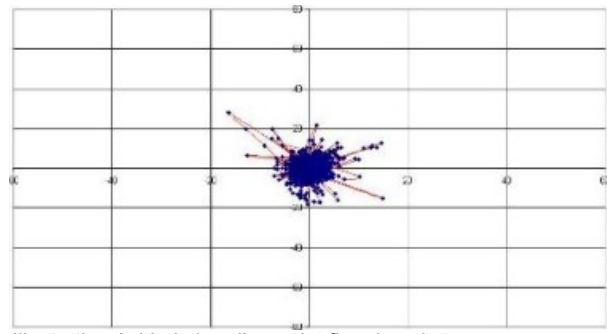


Illustration 8 : Variation d'un point fixe dans le temps vu par un GPS différentiel

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 : 100 km.

SBAS : EGNOS/WAAS, MSAS

Les SBAS : Satellite Based Augmented System :

- WAAS : Wide Area Augmentation system (USA) ;
- MSAS : Augmentation System (Asie) ;
- EGNOS : European geostationary Navigation Overlay System
précision de 3 m à 95 % du temps / intégrité assurée.

Les SBAS ont pour objectif de :

- fournir à l'aviation un service DGPS,
- augmenter la disponibilité des services GPS,
- fournir un service d'intégrité.

ENMM Le Havre	ÉQUIPEMENT DE RADIONAVIGATION	V1.2 – 09/05
<i>A. Charbonnel</i>	LE GPS	5/9

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 Data 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 près),
- hauteur d'antenne.

Configuration du récepteur

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

a) Configurer la référence géodésique

Systeme de la carte	Systeme sur le GPS	Autres configurations à effectuer
WGS 84	WGS 84	Vérifier que les offsets sont à zéro.
Systeme 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.
	Systeme 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 (avec SA)	1 à 7 m	NA

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

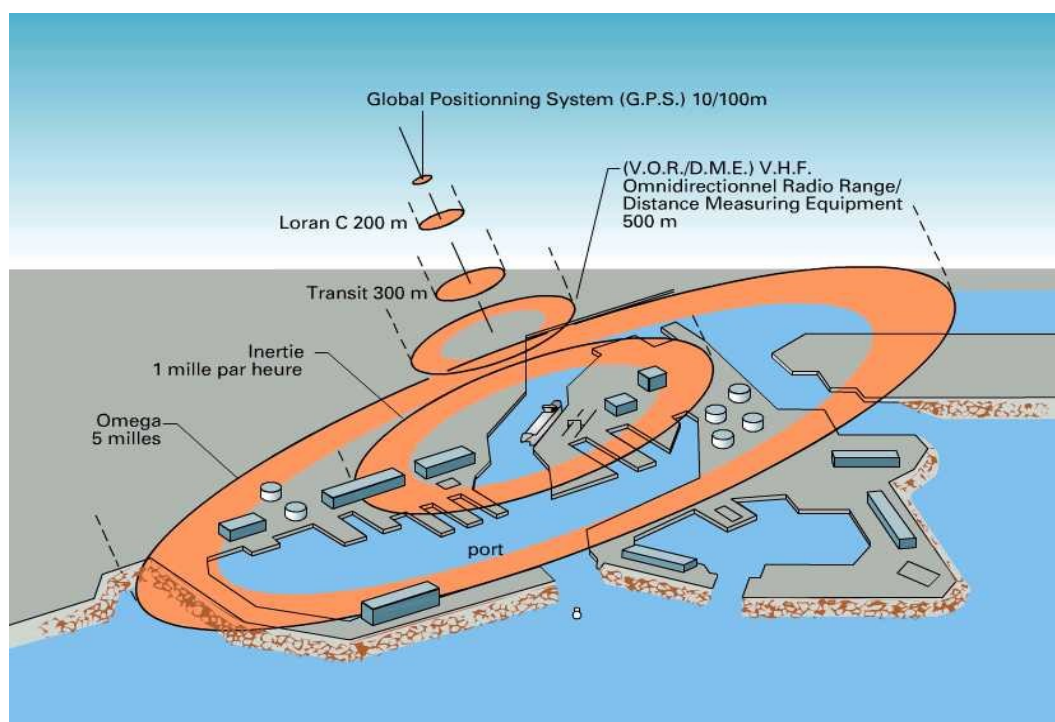


Illustration 9 : Précision des différents systèmes de radiopositionnement

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.

ENMM Le Havre	ÉQUIPEMENT DE RADIONAVIGATION	V1.2 – 09/05
A. Charbonnel	LE GPS	8/9

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.

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.**

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

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.

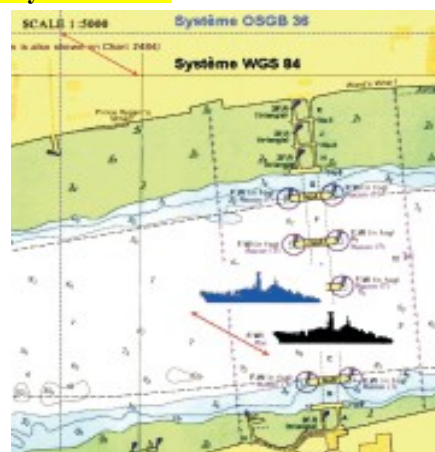


Illustration 10 : Ecart de position entre le WGS 84 et l'OSGB 86

RESSOURCES

Bibliographie

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 practical 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.

ENMM Le Havre	ÉQUIPEMENT DE RADIONAVIGATION	V1.2 – 09/05
A. Charbonnel	LE GPS	9/9

Crédit graphique

Ces illustrations sont propriétés de leur auteur sauf précision.

<i>ILLUSTRATION</i>	<i>SOURCE</i>
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	<u>GPS tutorial</u> de la société Topcons http://www.topconps.com/gpstutorial/Chapter3.html#Geometric%20Dilution%20Of%20Precision%20(GDOP)
Illustration 5: GDOP faible	<u>GPS tutorial</u> 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: Précision des différents systèmes de radiopositionnement	non référencée
Illustration 10: Ecart de position entre le WGS 84 et l'OSGB 86	La lettre du SHOM aux navigateurs – SHOM – décembre 2003