

## RADIOCOMPAS AUTOMATIQUE OU ADF

### Caractéristiques générales :

- Aide à la navigation courte et moyenne distance.
- Fréquence : LF – MF (190 kHz à 175 kHz).
- Information fournie : Gisement (Gt) que l'on transforme en  $Zm_A$  ( $Cm + Gt$ ).

### Principe :

La radiogoniométrie est l'étude des procédés permettant le repérage des émissions radioélectriques. Ils font tous appel au cadre de réception.

Lorsque la mesure est effectuée **au sol**, l'information est le **relèvement** de l'avion par la station (gonio VHF).

Lorsque la mesure est effectuée **à bord**, l'information est le **gisement** de l'émetteur situé au sol (radiocompas).

### Equipement au sol (NDB) :

#### **Constitution :**

- 1 antenne à polarisation verticale.
- 1 émetteur LF / MF en fonction + 1 metteur LF / MF en attente.
- 1 circuit de surveillance.

#### **Caractéristiques :**

- Fréquences : 190 à 1750 kHz ( la plupart des balises < 420 kHz).

***Puissance :***

- Varie de 10 / 25 W (locator) à 5 Kw (en route). En France les puissances se chiffrent en centaines de Watts, certaines atteignent 1kw.

**Equipement de bord :**

***Constitution :***

- 1 antenne.
- 1 cadre
- Un ensemble récepteur
- Une boîte de commande
- Un indicateur (RMI)



**Portée :**

*La portée d'un radiocompas dépend du radiophare utilisé (fréquence, puissance) du trajet (mer, terre), du niveau des parasites.*

*De jour la portée sera de quelques centaines de km.*

*De nuit, la présence de l'onde d'espace a tendance à diminuer la portée, il y a risque d'erreur, risque d'autant plus important qu'on se trouve près du lever ou du coucher du soleil (effet Heiligtag). La portée sera limitée à*

moins de 200 km, de façon à ce que le champ correspondant à l'onde sol soit très supérieur au champ reçu après une réflexion sur les couches ionisées.

### **Causes d'erreur – Précision :**

- **Effet d'antenne** : Rerayonnement par l'antenne de réception et le cadre.

Remède :

- Blindage partiel du cadre

- Equilibrer les capacités parasites cadre-fuselage.

- **Erreur quadrantale** : Elle correspond à l'effet de la structure (rerayonnement du fuselage et des ailes). Le rerayonnement de la cellule est équivalent à celui de 4 cadres.

L'erreur est dite quadrantale car elle s'annule 4 fois aux gisements 0, 90, 180, 270. Elle ne dépend que de la géométrie de l'avion.

Erreur de propagation :

- De jour :

Il y a peu de troubles dus à la propagation  
Effet de côte

- De nuit :

Polarisation circulaire ou elliptique  
Fading  
Effet Heiligtag

### **Précision :**

Compte tenu des différentes causes d'erreur :

**Erreur moyenne :  $\pm 3^\circ$**

## RADIOGONIOMÉTRIE VHF

### Caractéristiques générales :

- *Aide à la navigation courte et moyenne distance.*
- *Fréquence : 118 – 136 MHz (communications VHF).*
- *Information fournie : Relèvement de l'avion par la station ( $Z_{VS}$  ou  $Z_{mS}$  suivant le Nord choisi).*

### Principe :

*Pour faire de la radiogoniométrie il faut utiliser un cadre, or un cadre ne fonctionne plus dans la gamme VHF. On utilise un aérien de type ADCOCK.*

*Antenne ADCOCK : 2 antennes verticales demi-onde distantes de  $\lambda/6$  permettant d'obtenir dans le plan horizontale un diagramme de réception analogue à celui d'un cadre.*

### Équipement au sol :

#### **Constitution :**

- *2 paires d'antennes Adcock formant 2 aériens disposés perpendiculairement.*
- *1 antenne omnidirectionnelle.*
- *Un écran de lecture à tube cathodique*
- *Un émetteur de liaison (VHF)*

### Équipement de bord :

#### **Constitution :**

- *Un émetteur-récepteur VHF permettant de travailler dans la gamme 118 - 136 MHz.*

**Portée :**

Portée optique gamme VHF :  $d(NM) = 1,23\sqrt{h(ft)}$

**Causes d'erreur – Précision :**

- **Effet de réflexion** : lorsque la station reçoit une onde directe et une seconde onde réfléchi (construction, relief, etc).
- **Erreur de polarisation** : Apparaît lorsque la composante horizontale devient comparable à la composante verticale. Entraîne un cône d'incertitude à la verticale de la station (60°).

**Précision :**

Il y a peu d'erreur possible car on travail en onde directe. Il faut cependant placer les aériens en des endroits très dégagés pour éviter les réflexions sur des obstacles.

**Précision moyenne :  $\pm 1^\circ$**

Remarque (inconvénients du gonio VHF) :

- Nécessité d'une liaison air-sol
- Station sol saturée avec un seul avion.
- L'avion n'est pas autonome.
- Délais entre la mesure et la réaction.

## V.O.R. (VISUAL OMNI RANGE)

### Caractéristiques générales :

- Aide à la navigation courte et moyenne distance.
- Utilise la gamme VHF :
  - 108 - 112 MHz décimale paire (tout les 1/10 de MHz paire).
  - Et 112 à 117,99 MHz
- Information fournie : Une information de  $Zm_s$ .
- Il permet de suivre une route passant par une station au sol.

### Principe :

Le principe du VOR est de créer une émission dont la phase dépend de l'azimut du récepteur par rapport à l'émetteur. Le VOR émet une porteuse sur laquelle deux actions sont appliquées :

- Une rotation du diagramme d'émission qui donne à la réception une modulation ayant une phase caractéristique de l'azimut (signal de position).
- Une modulation qui a une phase indépendante de l'azimut (signal de référence).

La différence de phase entre signal de position et signal de référence fournit l'information de  $Zm_s$ , les deux modulations étant en phase au  $N_m$  ou au  $N_v$  de la station.

### Signal de position :

La station au sol émet un signal VHF non modulé dont le diagramme de rayonnement dans le plan horizontal est une pseudo-cardoïde. Un goniomètre capacitif permet de faire tourner ce diagramme à 30 t/s.

- Le signal reçu est modulé en amplitude, la fréquence étant de 30 Hz.

Le signal à 30 Hz reçu par l'avion et dont la phase dépend de la position du récepteur par rapport à la station s'appelle le **signal de position**.

*La position angulaire de l'avion est trouvée par une mesure de phase ; il faut disposer d'un signal de référence, analogue au signal de position, émis de manière omnidirectionnelle.*

#### Signal de référence :

*Le signal de référence doit être fabriqué par la station au sol. Il ne peut être constitué par un signal 30 Hz, modulant directement la porteuse VHF, sinon le récepteur ne pourrait distinguer le signal de référence du signal de position.*

*On doit donc passer par une modulation intermédiaire :*

- Le 30 Hz de référence module en fréquence une sous porteuse de 10 KHz.*
- La porteuse VHF (108, 118 MHz) est modulée en amplitude par la sous porteuse 10 KHz modulée.*

#### Comparaison des signaux de position et de référence :

*La comparaison de phase s'effectue au niveau du récepteur :*

- L'information position est contenue dans la modulation d'amplitude 30 Hz du signal reçu.*
- L'information référence est contenue dans la modulation 10 KHz de la porteuse VHF.*

*A la sortie du récepteur, on compare la phase des deux signaux : position et référence.*

*Dans le cas général : **différence de phase =  $Zm_s$***

#### Equipement au sol :

##### **Constitution :**

- Un émetteur de liaison VHF :
  - fréquences : 108 – 112 MHz par 1/20 MHz pairs pour les TVOR (utilisées comme aide à l'approche).*
  - Puissance : 50 W pour les TVOR*
  - fréquences : 112 – 118 MHz par 1/20 MHz pour les VOR.*
  - Puissance : 200 W pour les VOR**

- 1 aérien produisant une onde de polarisation horizontale.
  - 5 cadres Alford (4 utilisés en 2 paires), 1 surélevé émet un signal de référence de façon omnidirectionnelle.
  - 1 antenne à fentes
- 1 goniomètre
- Un bloc de modulation

Performances :

**TVOR :** utilisée comme aide à l'approche.

**Fréquences :** 108 – 112 MHz par 1/20 MHz décimales paire

**Puissance :** 50 W

**Portée minimum :** 25 NM à 6250 ft

**VOR :** Aide à la navigation en route.

**Fréquences :** 112 – 117,95 MHz par 1/20 MHz

**Puissance :** 200 W

**Portée optique :** 200 NM à 30 000 ft

Indentification :

Signal morse correspondant à l'indicatif de la balise modulé à 1020 Hz.

Erreurs dues à l'émission :

- **Erreur octantale :** ne peut guère dépasser  $\pm 2,5^\circ$
- **Erreur d'axe due à l'environnement :**  $\pm 3^\circ$

Equipement de bord :

**Constitution :**

- Une antenne
- Un récepteur VHF
- Une boîte de commande d'affichage de la route sélectionnée.
- Indicateur :
  - RMI
  - HSI – barre de tendance verticale TO / FROM
  - Ecran cathodiques.



## RADAR SECONDAIRE

### Caractéristiques générales :

Le radar secondaire ou SSR (Secondary Surveillance Radar) est une aide à la circulation aérienne.

Il complète le radar primaire.

Il utilise la technique des impulsions (gamme UHF) mais à la différence du radar primaire, un équipement de bord (**transpondeur**) est nécessaire.

L'interrogation est la réponse se font sur deux fréquences différentes ce qui élimine les échos fixes (1 030 MHz et 1 090 MHz).



### Principe :

Une station au sol émet des impulsions selon un certain mode dans une direction bien définie. Un transpondeur situé à bord dans cette direction répond en émettant une information codée pouvant inclure certains renseignements.

### Interrogation :

Fréquence porteuse : **1 030 MHz**

L'émission est constituée de 2 impulsions  $P_1$  et  $P_3$  ou 3 impulsions  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$ .

La largeur des impulsions est de 0,8 us.

La fréquence de récurrence est de 450 Hz maximum.

Chaque mode est déterminé par l'intervalle entre  $P_1$  et  $P_3$ .

- Mode A            8us (civils)
- Mode B           17 us (civils)
- Mode C           21 us (report d'altitude)

**Réponse :**

Fréquence porteuse : **1 090 MHz**

Le signal comprend deux impulsions d'encadrement. Entre ces deux impulsions, possibilités de 12 impulsions + 1 impulsion X.

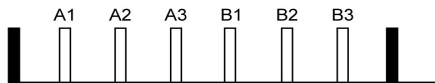
Les 12 impulsions sont repérées par une lettre A, B, C, D et un chiffre 1, 2 ou 4.

Cela permet de disposer de 4096 combinaisons possibles.

Chaque combinaison est identifiée par 4 chiffres.

- 1<sup>er</sup> chiffre : somme des indices A des impulsions A
- 2<sup>ème</sup> chiffre : somme des indices B des impulsions B
- 3<sup>ème</sup> chiffre : somme des indices C des impulsions C
- 4<sup>ème</sup> chiffre : somme des indices D des impulsions D

Par exemple, le code représenté sur cette figure est :



- 1<sup>er</sup> chiffre :  $1 + 2 + 4 = 7$
- 2<sup>ème</sup> chiffre :  $1 + 2 + 4 = 7$
- 3<sup>ème</sup> chiffre : 0 (pas de C)
- 4<sup>ème</sup> chiffre : 0 (pas de D)

Le code est 7700 (code de détresse).

**Remarque :**

- Suppression des lobes secondaires (SLS) : le diagramme de rayonnement du radar secondaire montre que le lobe principal est accompagné d'un certain nombre de lobes secondaires plus petits.

La présence de ces lobes amènerait le déclenchement intempestif du transpondeur de bord. Pour remédier à ceci on utilise le procédé suivant :

- système 2 impulsions  $P_1$  et  $P_3$  : le transpondeur ne doit répondre que si l'amplitude de  $P_3$  est  $>$  à celle de  $P_1$ .

- système 3 impulsions  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$  : le transpondeur ne doit répondre que si l'amplitude de  $P_1$  et  $P_3$  est  $>$  à celle de  $P_2$ .

- Transmission automatique d'altitude : l'interrogation en mode C permet la transmission automatique (alti codeur) de l'altitude pression. 11 impulsions sont utilisées (toutes sauf X et  $D_1$ ) ce qui permet 2048 altitudes possibles.

### **Equipement au sol :**

Emetteur :

- fréquence 1 030 MHz
- Puissance de crête : 150 Kw maxi
- fréquence de récurrence : 450 Hz)
- Modes A, B (civils), C (altitude)

Récepteur :

- fréquence 1 090 MHz

Décodeur :

- permet le filtrage des divers codes de réponse utilisés.

Antenne :

- commune à l'émission et à la réception est très directive ( $3^\circ$  en azimut et  $45^\circ$  en site) et tourne en synchronisme avec l'antenne du radar primaire.

Indicateur :

- écran radar PPI

### **Equipement de bord :**

Récepteur :

- fréquence : 1 030 MHz

Décodeur :

- élimine les interrogations parasites.

Codeur :

- élabore la réponse (2 impulsions d'encadrement + impulsions  $A_1, \dots, D_4$ ).

Emetteur :

- fréquence : 1 090 MHz  
- Puissance de crête : 500 W

Boîte de commande :

Mode S



Codes particuliers à afficher :

- 7 000 – s'identifier lorsqu'on n'a pas reçu de code.
- 7 700 – en cas de détresse
- 7 600 – en cas de panne radio
- 7 500 – en cas de détournement

### Causes d'erreur :

**Réponses parasites non synchrones** (en anglais **FRUIT** : *Falses Responses of Unsynchronized Interrogations*).

Ceci se produit lorsqu'un avion est en situation de recevoir plusieurs interrogations de radars sol il répond à toutes ces interrogations. Chaque radar utilisera un filtre synchronisé sur sa fréquence qui éliminera les signaux non synchrones. Les stations radar non pas la même fréquence de récurrence.

**Réponses parasites synchrones.**

Réponses aux lobes secondaires, réflexions sur les obstacles (modification du codage, impulsions fluctuantes, dédoublement de réponses).

### **Absence de réponse.**

Lorsque l'antenne de bord est masqué (virage), lorsqu'un radar secondaire de bord est interrogé par plusieurs radars sol il ne pourra répondre si il est en émission.

### **Superposition des réponses (GARBLING).**

Lorsque deux avions distants de moins de 2 NM, leurs signaux se superposent à la réception.

Techniques utilisées pour combattre se problème :

- wisper shout
- utilisation d'un diagramme d'interrogation plus directif
- le mode S du radar secondaire.

### **Performances :**

Portée : 200 NM de 0,5° à 45° en site et jusqu'à une altitude de 100 000 ft.

Précision : ± 2° en azimut

### **Amélioration du radar secondaire :**

#### **Radar secondaire monopulse :**

- définition plus précise de l'azimut sur une seule impulsion
- réduction des erreurs dues au GARBLING, aux réflexions sur des obstacles et au FRUIT.
- possibilité de réduire le nombre d'interrogations.

#### **Mode S :**

Le mode S (sélectif) permet des interrogations soit générales soit sélectives et la possibilité de transmission d'informations supplémentaires.

Chaque avion a une adresse constituée d'une combinaison unique de 24 bits (plus de limitation à 4 096 codes du mode A).

En mode S, il est possible de transmettre des données sous forme de blocs de données numériques (56 ou 112 impulsions) pour formés des messages.

- **messages courts SLM** (Short Length Message) 56 bits.

- **message longs ELM** (*Extended length Message*) 1 280 bits (16 msg x 80 bits).

Les transpondeurs sont classés en 5 niveaux :

Niv 1 : msg SLM dans le sens Sol → Air uniquement

Niv 2 : msg SLM dans les 2 sens (mini pour aviation commerciale)

Niv 3 : Niv 2 + msg ELM dans le sens Sol → Air uniquement

Niv 4 : Niv 2 + msg ELM dans les 2 sens

Niv 5 : Niv 4 possible simultanément avec plusieurs stations.

Interrogation Mode S :

Fréquence : 1 030 MHz

Réponse Mode S :

Fréquence : 1 090 MHz

Le code réponse se compose d'un préambule (4 impulsions) et d'un bloc de données de 56 ou 112 bits d'information.

Avantage du Mode S :

- permet des interrogations sélectives
- réduction de la fréquence des interrogations
- transmission possible de données
- quasi suppression du GARBLING et du FRUIT
- gestion plus efficace et plus sûr du trafic
- nombre d'adresse avion disponible très important

Inconvénient du Mode S

- matériel sol et embarqué plus complexe et plus cher.

**Caractéristiques générales :**

*Aide à la navigation en route à couverture mondiale basée sur la réception de satellites militaires. L'aide à l'approche et l'atterrissage est à l'étude pour obtenir la précision exigée dans ces phases de vol.*

*Les deux principaux systèmes sont :*

- *GPS (Global Positioning System) NAVSTAR proposé par les Etats-Unis,*
- *GLONASS (Global Navigation Satellite System) proposé par la Russie.*

*Ces systèmes travail en UHF :*

*- GPS :  $L_1 = 1\,575,42\text{ MHz}$   
 $L_2 = 1\,227,6\text{ MHz}$*

*- GLONASS : 24 fréquences espacées de 0,5 MHz dans la bande 1 602 à 1 615 MHz.*

*Les informations fournies sur un écran sont la position et l'altitude plus la vitesse-sol et la route vraie.*

**Principe :**

*Le principe est simple mais nécessite une très grande précision et stabilité des horloges utilisées.*

*Le système est composé de trois parties nommées segments :*

- *le segment spatial ou **SS** (Space Segment),*
- *le segment de contrôle ou **CS** (Control Segment),*
- *le segment utilisateur ou **US** (User Segment).*

*Le principe de la mesure revient à mesurer l'écart de temps entre l'instant  $t_1$  de l'émission d'un signal par un satellite et l'instant  $t_2$  de réception par l'utilisateur de ce signal.*

$\Delta t$  correspond au temps de parcours par l'onde électromagnétique de la distance «  $d$  » satellite / utilisateur à une vitesse de  $c = 300\,000\text{ km/s}$ .

Avec trois satellite on peut connaître un positionnement en 2D : latitude et longitude. Un quatrième satellite permet d'obtenir un positionnement en 3D : latitude, longitude et altitude.

Pour exploiter les données, il faut situer l'utilisateur par rapport à la terre. On utilise la représentation terre centrée, terre fixe ou **ECEF** (**E**arth **C**entered, **E**arth **F**ixed), associée au modèle géodésique mondial **WGS84** (**W**orld **G**eodesic **S**ystem of 1984).

Dans le modèle **WGS84** les coordonnées sont : latitude, longitude et l'altitude.

Il existe d'autres modèles géodésiques, ex : **ED50** (**E**uropean 1950), **RGF93** (**R**éseau **G**éodésique **F**rançais 1993) etc... qui servent à établir des cartes.

Dans tous les cas il convient de vérifier que la carte utilisée pour reporter les coordonnées GPS est adaptée au modèle géodésique utilisé par celui-ci.

### Segment Spatial - SS :

Le système GPS comporte 24 satellites ou SV (*Space Vehicule*) qui tournent autour de la terre sur 6 plans d'orbites décalés en longitude de  $60^\circ$ , chaque orbite étant incliné de  $55^\circ$  par rapport à l'équateur. Les orbites sont circulaires et situées à 20 200 km d'altitude. Chaque satellite effectue un tour de la terre en 12 heures (- 2 min).

Les satellites émettent en permanence des messages de navigation sur  $L_1$  (1 575,42 MHz) et  $L_2$  (1 227,6 MHz). Ces messages comportent le code pseudoaléatoire ou PRN (*Pseudo Random Nimber*) qui permet d'identifier chaque satellite, puis une émission modulée par des codes pseudoaléatoire (code C/A et code P).

Le code C/A est accessible aux civils avec le SPS (*Standard Position Service*), le code P est réservé aux militaires autorisés sur le PPS (*Precision Position Service*).



*La différence entre SPS et PPS réside dans la précision.*

*Le système GLONASS comporte 24 satellites répartis sur seulement 3 plans d'orbites circulaires à 19 100 km d'altitude. Ils font un tour de la terre en 11 h 15'.*

*Le GLONASS assure une meilleure couverture au niveau des pôles. Il nécessite un récepteur particulier.*

### **Segment de Contrôle - CS :**

*Un réseau de 5 stations au sol permet de contrôler le bon fonctionnement des satellites et de corriger les erreurs d'heure ou de position de chacun des satellites.*

### **Segment Utilisateur - US :**

*Compte tenu des informations (position 3D, vitesse et heure) que peut fournir un GPS et, de sa précision, il existe de nombreuses utilisations :*

- *l'aviation ;*
- *la marine ;*
- *terrestre.*

*Les résultats fournis par le calculateur sont les **coordonnées** et **l'altitude** de l'utilisateur ainsi que le recalage de son horloge. Par effet Doppler, la **Route vraie** et la **vitesse sol**. Pour une bonne mesure les satellites doivent être vus sous des angles très différents.*

### **Equipement de bord - GPS :**

- *une antenne,*
- *un récepteur GPS.*

*Il existe deux types de récepteurs :*

- *les récepteurs à canaux parallèles ou multicanaux qui reçoivent et traitent simultanément plusieurs satellites.*
- *les récepteurs GPS de bord suivent jusqu'à 12 satellites.*

*L'intégrité du système représente :*

- **la confiance** dans la validité de l'information ;
- **la capacité du système** à prévenir une défaillance.

*Pour cela différentes techniques ont été développées :*

- *le RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) ;*
- *l'AAIM (Aircraft Augmented Integrity Monitoring).*

*Grâce au procédé RAIM, le récepteur GPS surveille l'intégrité du système. Pour cela il lui faut recevoir au moins 5 satellites. Pour identifier un satellite défectueux, il doit recevoir 6 satellites.*

### **Différents mode de travail du récepteur GPS :**

#### **- Mode d'acquisition :**

- **Mode de veille** soit au départ, soit après la perte de signaux.
- **Mode d'acquisition normale**, le récepteur commence les calculs. Si ceux-ci se déroulent normalement il passe en mode navigation.

#### **- Modes navigation :**

- **Mode navigation normale** (au moins 4 satellites). Si la constellation de satellites n'est pas jugée suffisante le récepteur passe en :
- **Mode navigation dégradée** (au moins 3 satellites) mais il ne fournit plus que **l'altitude** et **l'heure** au FMC.

### **Différentes classes de GPS :**

**GPS de classe A :** incorporant à la fois le récepteur GPS avec un contrôle d'intégrité (RAIM) et la capacité de navigation.

**GPS de classe B :** constitué d'un récepteur GPS fournissant des informations à un système de navigation intégré (FMS).

**GPS de classe C** : constitué d'un récepteur GPS fournissant des informations à un système de navigation intégré (FMS) couplé à un PA ou un DV afin de réduire l'erreur technique de vol.

**GPS de classe V** : incorporant à la fois le récepteur GPS et la capacité de navigation mais sans un contrôle d'intégrité (RAIM).

### **Performances :**

- *Avantages :*

- *Très grande précision de navigation ;*
- *Information d'altitude très précise ;*
- *Possibilité d'approche sur n'importe quel terrain ;*
- *Grande sécurité d'utilisation ;*
- *Disponibilité d'une information d'heure très précise ;*
- *Système qui ne risque pas la saturation ;*
- *Coût très faible du service pour les utilisateurs.*

- *Inconvénients :*

- *Système sous tutelle militaire ;*
- *Intégrité insuffisante (détection des pannes ou des signaux erronés) ;*
- *Actuellement, précision insuffisante pour réaliser des approches de précision.*

- *Causes d'erreur :*

- *Erreur due à la SA, provient de la dégradation volontaire du système mis à la disposition des civils (30 m) ;*
- *Erreur ionosphérique, la propagation des ondes est retardée lors de la traversée de l'ionosphère (50 m), mais limitée par une correction. Erreur résiduelle de l'ordre de 7 m ;*
- *Erreur troposphérique, retard de propagation lié aux caractéristiques de l'air (de l'ordre du mètre) ;*
- *Erreur d'éphémérides, erreur entre la position réelle du satellite et la position prévue ;*

- Erreur d'horloge qui avec l'erreur d'éphémérides représente environ 4 m ;
- Erreur liée aux parcours multitrajets des ondes (de l'ordre du mètre) ;
- Erreur due au bruits internes des récepteurs ( 1 à 2 m).

L'ensemble des erreurs donne un coefficient d'erreur appelé UERE (User Equivalent Range Error). Elle est disponible dans les données de navigation GPS.

### **Précision :**

La précision de la mesure est directement liée à la position des satellites utilisés, le coefficient qui caractérise la diminution de précision est le **DOP** (Dilution Of Precision).

- **HDOP** (Horizontal DOP) pour la position horizontale ;
- **PDOP** (Position DOP) pour la position en 3D ;
- **TDOP** (Time DOP) pour l'heure ;
- **VDOP** (Vertical DOP) pour l'altitude.

Le coefficient global pour toutes les composantes mesurées est le **GDOP** (Géométric DOP). Un **GDOP inférieur ou égal à 10** signifie que la configuration des satellites est bonne.

**En mode C/A la précision prévue est meilleure que 100 m dans 95 % des cas et meilleure que 300 m dans 99,99 % des cas.**

La précision de calcul se détériore quand GDOP augmente.

### **GPS Différentiel ou DGPS :**

Le DGPS permet d'obtenir un positionnement plus précis grâce aux informations de corrections transmises par une station de référence.

*On obtient une précision de l'ordre de 10 m dans un rayon de 100 km autour de la station. De plus le DGPS détecte les mauvais fonctionnements des satellites et les pannes et en informe les utilisateurs.*

***Ce type de DGPS est dit à différence de code.***

*Il existe deux autres types de DGPS :*

- *le DGPS à différence de phase ;*
- *les pseudosatellites ou pseudolites.*

*Suivant la zone couverte, les émetteurs DGPS sont dits LDGPS (Local DGPS, moins de 250 km) ou WADGPS / WWDGPS (World Aera DGPS / World Wide DGPS) ; ces derniers travaillent en général en réseaux.*

*Il existe plusieurs systèmes DGPS notamment :*

- *Eurofix (usage maritime) ;*
- *Balises NDB côtières (usage maritime) ;*
- *Veripos (usage maritime) ;*
- *DCI (Differential Corrections Inc) usage terrestre système privé ;*
- *Starfix tous usages ;*
- *OMNISTAR accès avec abonnement ;*
- *EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), système européen prévu pour améliorer les signaux GPS et GLONASS en attendant que les Européens deviennent (2008) autonomes avec l'ENSS (European Navigation Satellite System) ; Tous usages.*