

GPS (Global Positioning System)

Système américain de positionnement et de navigation, conçu dans les années 60 par les militaires américains pour leur besoin propre. Ses possibilités ont fait que la communauté scientifique, puis la communauté des géomètres, et enfin la communauté civile s'est intéressée. Mais il est, et restera sous contrôle des militaires américains.

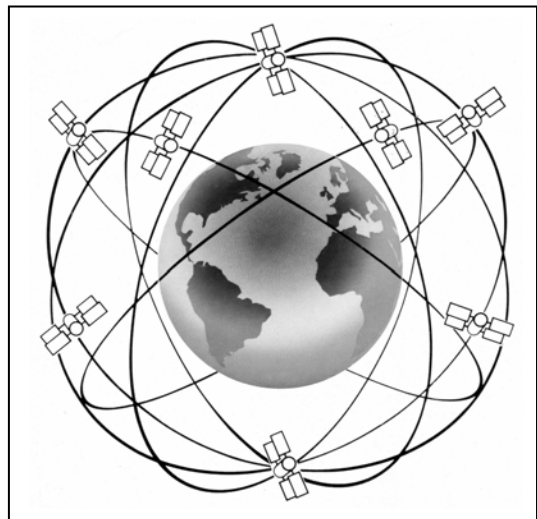
Le système comporte trois secteurs :

- Le secteur spatial
- Le secteur de contrôle
- Le secteur utilisateur

La constellation finale compte 24 satellites. Leurs orbites sont :

- Quasi-circulaires
- De rayon 26 500 km
- De période environ égale à 12 heures
- Dans six plans inclinés de 55° par rapport à l'équateur

Les satellites du block I sont ceux de la phase pré-opérationnelle et ont été lancés entre 1978 et 1986. Les satellites du block II sont ceux de la phase opérationnelle. La constellation est complète depuis 1993.



Le secteur de contrôle :

Master Control Station - Colorado USA

Monitor Stations – Colorado, Kwajalein, Diego Garcia, Ascension, Hawaii

Antennes - Kwajalein, Diego Garcia, Ascension

Le secteur utilisateur :

Il représente l'ensemble des utilisateurs du système GPS.

Les principaux constructeurs de récepteurs géodésiques sont : Trimble (USA)

Ashtech (USA) Leica-Wild (Suisse) Rogue (USA) Sercel (France)

Il existe aussi d'autres constructeurs de récepteurs de navigation.

Produits de la géodésie spatiale

- Positionnement absolu (X, Y, Z)
- Positionnement relatif (dX, dY, dZ)
- Rotation de la terre, position du pôle, précession, nutation
- Orbites des satellites
- Champs de gravitation
- Modèles d'ionosphère

Structure des signaux GPS

L'horloge interne de chaque satellite fournit une fréquence fondamentale

$$f_0 = 10,23 \text{ MHz}$$

Chaque satellite émet sur deux fréquences :

$$L1 = 154 \cdot f_0 = 1575,42 \text{ MHz (longueur des ondes de 19 cm)}$$

$$L2 = 120 \cdot f_0 = 1227,60 \text{ MHz (longueur des ondes de 24 cm)}$$

Les signaux sont modulés par des codes pseudo-aléatoires :

- Le C/A code, série de ± 1 de période 1ms à une fréquence de $f_0 / 10$ sur L1.
- Le P code, série de ± 1 de période 267 jours à une fréquence de f_0 sur L1 et L2.
- Le Y code, qui remplace le P code et qui n'est connu que des utilisateurs autorisés.
- Un message de navigation, 1500 bits à une fréquence de 50 Hz.

Le message de navigation contient :

- Les paramètres d'orbite du satellite et le temps de référence
- Les coefficients de correction de l'horloge du satellite
- L'état de "santé" des satellites
- Les almanachs de tous les satellites
- Les coefficients du modèle ionosphérique global
- Des informations sur la qualité des informations transmises

Les pseudo-distances

Corrélation entre le code émis par le satellite et le code généré par le récepteur. C'est une mesure faite avec une précision d'environ 10 mètres pour le C/A code et de 1 mètre environ pour le P code.

$$r = c \cdot \Delta t + d_{\text{ion}} + d_{\text{trop}}$$

r : distance géométrique satellite – récepteur

Δt : décalage de temps mesuré

$d_{\text{ion}} + d_{\text{trop}}$: correction ionosphérique et troposphérique

c : vitesse de la lumière

Mais la mesure de Δt comporte deux erreurs dus aux décalages des horloges du satellite et récepteur, donc : $\Delta t = DT + dt + dT$

DT : temps de propagation vrai

dt : correction d'horloge satellite

dT : correction d'horloge récepteur.

La correction d'horloge satellite est modélisée à partir des données du message de navigation. La correction d'horloge récepteur est estimée lors du calcul.

Pour un calcul pseudo-distance sur une époque donnée (positionnement instantané), il y a donc 4 inconnues : les 3 coordonnées du point et le décalage d'horloge récepteur. Il faut donc au moins quatre mesures sur quatre satellites.

La mesure de phase

On utilise les phases pour obtenir une précision de l'ordre de millimètre.

Le problème est qu'il est impossible de mesurer à un instant donné le nombre de cycles entre le satellite et le récepteur. On ne peut mesurer que la partie fractionnaire de la phase à un instant donné et le nombre de cycles entre deux instants. La mesure de phase est donc une mesure de variation de distance entre le satellite et le récepteur entre deux instants.

Un autre problème limitant la précision des calculs GPS avec les phases sont les sauts de cycle. Le saut de cycle est une discontinuité dans l'enregistrement des phases qui donne entre deux époques un nombre de cycles aberrant. Tous les logiciels aujourd'hui disposent des programmes qui éliminent les sauts de cycle.

Les différences

Différence simple – élimine les corrections d’horloge satellite et certains erreurs systématiques

Différence double – élimine aussi la correction d’horloge récepteur

Différence triple – élimine l’ambiguïté des sauts de cycle

Dégradations militaires

- S.A. (Selective Availability) – accès sélectif

But : ne pas permettre aux utilisateurs non autorisés de se positionner en temps réel à mieux que 100 m. Pour cela, ils ont mis en place des dégradations des éléments d’orbite et d’horloges dans le message de navigation, et des dégradations des performances des oscillateurs, par ajout d’un déphasage à la phase de l’oscillateur. S.A. a été éliminée à partir de mai 2000.

- A.S. (Anti-spoofing) – anti-brouillage

Le code P est remplacé par le code Y, donc il n’y a pas de code sur L2 pour des utilisateurs non autorisés. On peut récupérer P par traitement postérieur.

Analyse des postes d’erreurs

Orbite des satellites : l’ordre de grandeur de l’erreur sur une ligne de base du à l’erreur sur l’orbite d’un satellite est bien représenté par $dr / r = db / b$, avec r : le rayon du vecteur et b : la longueur de la ligne de base. Pour une erreur de 1 cm sur une base il faut :

b (km)	dr (m)
1	250
10	25
100	2,5
1000	0,25

La troposphère : couche basse de l’atmosphère (0 – 50 km). C’est un milieu non dispersif, donc le retard électronique ne dépend pas de la fréquence. La valeur du retard dépend du site du satellite : au zénith, 2 m environ ; à 5 degrés, plus de 20 mètres.

On modélise le retard troposphérique à partir des données météos prises au sol.

L’ionosphère : la couche haute de l’atmosphère (50 – 1000 km). Le retard ionosphérique est compris entre 0 et 50 mètres et varie en fonction de l’agitation ionosphérique. L’ionosphère est un milieu dispersif : le retard dépend de la fréquence.

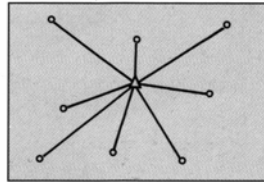
On peut calculer la valeur de la correction ionosphérique en utilisant deux fréquences, car la valeur du retard ionosphérique est proportionnelle à l'inverse du carré de la fréquence.

Trajets multiples : reflétions des ondes sur des bâtiments.

Le Statique Rapide

La nouvelle technique

Courts temps d'observation pour lignes de base jusqu'à 15 km environ



△ Stations de référence provisoire: Mesure en continu
○ Récepteur itinérant: se déplace rapidement d'un point à l'autre. Courts temps d'observation sur une ligne de base de 5 à 10 mm + 1 ppm (EMQ), avec 4 à 5 satellites, un bon GDOP et des conditions ionosphériques favorables.

Applications

Canevas de base, densification.

Remplace polygonation et la triangulation complémentaire. Délimitations, réseau de détail.
Toute application nécessitant de nombreux points.

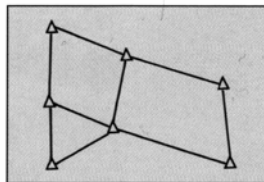
Avantages

Facile, rapide, efficace. Nul besoin de maintenir le 'contact' satellite. Eteignez puis partez! Economise les batteries.

Le Statique

La méthode classique

Pour les grandes lignes et la plus haute précision



Mesures classiques de lignes de base par GPS.

Pour la plus haute précision.

Et pour les grandes lignes de base. Temps d'observation plus longs. Ligne de base à 5 mm + 1 ppm EMQ.

Méthode standard pour des lignes supérieures à 20 km.

Applications

Réseaux géodésiques couvrant de grandes étendues. Réseaux nationaux et continentaux. Suivi des mouvements tectoniques.

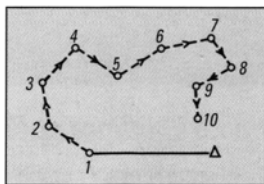
Avantages

Plus précis, plus efficace et plus économique que les méthodes géodésiques traditionnelles.

Stop & Go

L'approche rapide

Pour le levé de détails



△ Station de référence provisoire: Mesure en continu
○ Récepteur itinérant: quelques minutes au point 1 pour une détermination en Statique Rapide.

Ensuite, déplacez-vous tout en gardant le 'contact' satellite. Arrêtez-vous quelques instants sur les points de détails 2, 3, 4...n
1 à 2 cm + 1 ppm (EMQ)

Applications

Levés de détail en zone dégagée
Levés de points proches les uns des autres.

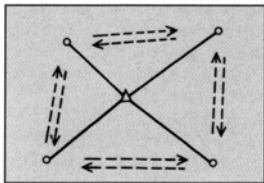
Avantages

Rapide et économique
La plus rapide des méthodes de levé de détail par GPS
Le 'contact' satellite doit être maintenu.

La Réoccupation

Le mode de réserve

Combine les occupations de site



△ Station de référence provisoire: Mesure en continu

○ Récepteur itinérant: quelques minutes par point

Réoccupation après au moins une heure

Précision d'une ligne de base: 5 à 10 mm + 1 ppm (EMQ)

Applications

Identiques au Statique Rapide.

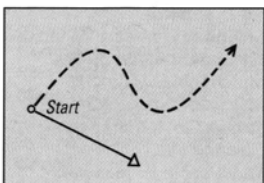
Avantages

La constellation satellite est moins fondamentale que pour le Statique Rapide. Des résultats sont possibles avec 4 satellites par occupation de site. Méthode idéale quand le Statique Rapide ne peut être mis en œuvre.

Le vrai Cinématique

Le système dynamique

Pour toute plate-forme en mouvement



△ Station de référence: Mesure en continu

○ Récepteur itinérant à bord d'un bateau, véhicule, etc... Quelques minutes en station fixe au point de départ pour une détermination en statique rapide.

Ensuite, déplacement en continu avec mesures à des intervalles fixes, ex.: 1 seconde.
1 à 2 cm + 1 ppm (EMQ)

Applications

Trajectographie d'objets en mouvement
Relevés de routes, relevés hydrographiques.

Avantages

Mesures continues, rapides et économiques
Le 'contact' satellite doit être maintenu.