

Un point précis sur le G.P.S.

Bruno WAITZMANN

Directeur Général d'Equipements Services Techniques

Introduction

Le système G.P.S. est maintenant quasi-opérationnel. On connaît précisément ses performances et les moyens pour y parvenir. Les traitements des données GPS et surtout les applicatifs connaîtront de grandes évolutions dans les mois et les années à venir. L'outil GPS est si diversifié qu'il permet aux utilisateurs de choisir en fonction de leurs besoins et de leur budget. De plus en plus de géomètres, par exemple, pensent aujourd'hui à l'investissement G.P.S. pour un gain de temps et une qualité optimisée de leur travail. Cet article a pour but essentiel de démystifier ce système en apportant au lecteur des ordres de grandeur de précision obtenus ainsi qu'une description des principales méthodologies nécessaires à l'utilisation du G.P.S.

Le système G.P.S. (Global Positioning System)

Description

Ce système a pour but :

- de fournir position, vitesse et temps de façon précise.
- d'avoir une couverture mondiale 24 h /24 h.
- de fonctionner sous toutes conditions climatiques.
- d'être passif et donc d'avoir un nombre illimité d'utilisateurs.

24 satellites (altitude $\approx 20\,000$ Km) permettant d'avoir en permanence 6 à 10 satellites en vue de n'importe quel point du globe, émettent en permanence deux signaux : les fréquences L1 ($\approx 1,5$ GHz) et L2 ($\approx 1,2$ GHz). Ces deux fréquences sont modulées par le code C/A pour la fréquence L1 et par le code P pour les fréquences L1 et L2. Ces modulations

véhiculent les messages des satellites. Deux cryptages peuvent éventuellement intervenir pour dégrader le système : La S/A (Select Availability) et l'A/S (Anti Spoofing). La S/A est une erreur d'horloge sur les satellites. L'Anti-Spoofing est une modulation additionnelle du code P qui devient alors le mystérieux code Y. Le code C/A donne accès au service SPS (Standard Positioning Service). Le code P donne accès au PPS (Precise Positioning Service) :

- Le SPS non dégradé (S/A off) vous offre en instantané avec un seul récepteur (mode naturel) une précision de 20 à 40 m (dépendant essentiellement du type de récepteur utilisé). En présence de la S/A cette précision passe à environ 100 m en horizontal 2D et environ 150 m en vertical.

- Le PPS non dégradé (S/A off et A/S off) vous donne en mode naturel une précision de 16 m en 3D. Cette précision peut être dégradée par le segment de contrôle (Centre de contrôle des satellites GPS de l' US DoD) jusque dans les mêmes proportions que le SPS (100 m en 2D).

Cependant cette dégradation nécessite la mise en activation de la S/A et de l'A/S. En fait pour voir l'A/S activée en permanence il faudrait une crise mondiale grave, nécessitant une sélection des utilisateurs du PPS.

Des dégradations supplémentaires sont improbables.

Les récepteurs GPS

Deux grands types de récepteurs sont aujourd'hui disponibles sur le marché :

- *Les récepteurs mono-fréquence* : Ils décodent C/A sur L1 pour la plupart, et pour certains P sur L1

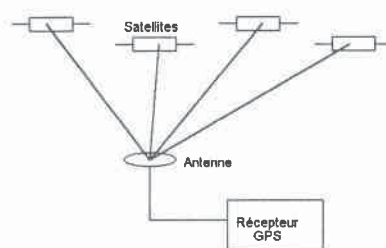
- *Les récepteurs bi-fréquence* : Ils décodent à la fois C/A sur L1 et P sur L1 et L2.

Le transit par la ionosphère génère une des erreurs majeures liée à l'acquisition GPS. En effet, dans ce milieu, les temps de trajet des signaux dépendent de leur fréquence. Cette caractéristique permet donc au récepteur bi-fréquence de mesurer précisément la ionosphère par une mesure de Δt entre L1 et L2, alors que le récepteur mono-fréquence se contentera de modèles mathématiques.

D'un point de vue électronique deux catégories de récepteurs sont en présence :

- *Les récepteurs multiplexés* : Le même canal poursuit successivement les satellites en vue. Cette technologie est vieillissante et dégrade sensiblement les performances du système.

- *Les récepteurs à canaux parallèles* : Plusieurs canaux (6 à 10) indépendants (1 satellite/canal) traitent simultanément les satellites en vue. Cette technologie permet une bien meilleure qualité d'acquisition (meilleur ratio signal à bruit). En d'autres termes le même satellite sur deux canaux différents donne simultanément sur chacun des deux canaux le même résultat. Les récepteurs GPS mesurent les distances (pseudo-distances) par une mesure des temps de trajet et les phases des signaux GPS. La position du point, résultant de la connaissance de la position des satellites en vue (message GPS), est alors calculée par une sorte de "triangulation".



Les erreurs GPS

- *Les erreurs troposphériques* : les modèles mathématiques utilisés donnent une bonne approximation de cette erreur. L'utilisateur pourra s'affranchir du modèle par la mesure physique des paramètres de troposphère : température, pression, humidité.

- *Les erreurs ionosphériques* : les effets ionosphériques sont dus aux molécules de gaz ionisées dans la ionosphère. Ils engendrent une perturbation importante sur la propagation des signaux.

- *Les multi-trajets et phénomènes de masquage* : l'environnement du récepteur est également important dans la mesure du GPS. La réflexion d'ondes sur un obstacle provoque un allongement non négligeable des temps de trajet (immeubles, pont, montagnes, etc).

- *Les erreurs d'horloge des satellites* : elles correspondent en grande partie à la SA.

- *Les erreurs d'horloge des récepteurs* : elles dépendent de la qualité des horloges des récepteurs utilisés.

- *Notion de GDOP* : elle correspond à la configuration géométrique des satellites en vue, les uns par rapport aux autres. On conçoit très bien que des satellites très rapprochés donneront une position nettement moins exacte qu'une répartition homogène des satellites. Le GDOP est un nombre naturel. On vérifie qu'un bon GDOP doit être inférieur à 3.

Comment utiliser le GPS?

Les deux modes d'utilisation sont :

- Le mode naturel :

Ce mode ne nécessite l'utilisation que d'un seul récepteur. Compte tenu des spécifications du système, ce mode est sensiblement dépendant des dégradations possibles. Cependant l'utilisateur dont les applications ne nécessitent pas des précisions meilleures que 100 m en instantané pourra utiliser ce mode sans aucune restriction. De plus il bénéficiera de périodes avec peu de dégradations pendant lesquelles sa précision sera bien meilleure (20 à 40 m) : l'exemple

type est la navigation de plaisance ou aérienne. Si par ailleurs, il n'a pas de contrainte cinématique et qu'il peut laisser son récepteur stationner en un point, la plupart des récepteurs lui donneront une solution de navigation moyennée sur le temps d'intégration. Par un traitement approprié et avec un récepteur bi-fréquence, il pourra obtenir des précisions de l'ordre du centimètre sur une acquisition d'au moins 48 heures. Ceci nécessite de se procurer les enregistrements de stations de référence implantées à travers le monde et d'effectuer un post-traitement différentiel.

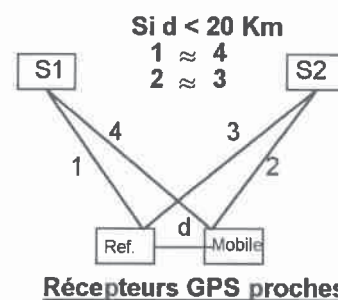
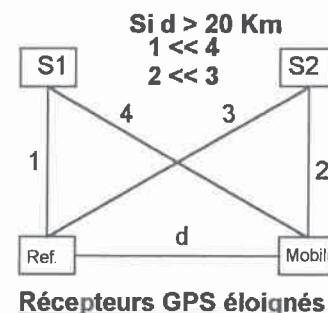
- Le mode différentiel :

Cette solution va permettre à l'utilisateur d'obtenir des performances exceptionnelles en fonction des récepteurs utilisés. Ce concept est basé sur l'utilisation de deux récepteurs : l'un en station de référence, l'autre en mobile. Chaque récepteur enregistre, en même temps, les mêmes satellites.

- Station de référence : L'utilisateur doit connaître à l'avance avec précision les coordonnées de cette station. De cette précision dépend la qualité des points mesurés avec le mobile. L'utilisateur s'attachera à trouver un point référencé (type IGN) sur lequel il viendra installer sa station de référence.

- Station mobile : Cette station est l'organe de mesure de la méthode. On positionne le récepteur sur le point inconnu.

Une fois l'acquisition simultanée terminée sur les deux récepteurs, un traitement des deux fichiers résultants permet de mesurer très précisément la distance entre les deux points. En effet grâce au mode différentiel la plupart des erreurs GPS pré-citées sont supprimées : la SA, les erreurs d'horloge des récepteurs et la ionosphère. Pour cette dernière, il est à noter que la distance séparant la station de référence du mobile est importante pour les récepteurs mono-fréquence, en effet, jusqu'à 20 Km on considère cette distance comme négligeable en regard de l'altitude du satellite.



En fait, pour les récepteurs mono-fréquence, la précision de la mesure GPS, au-delà d'une distance de 20 Km, varie comme le carré de la distance.

Les traitements :

Deux modes de traitement sont possibles :

- Le temps différé, ou post-traitement : les précisions dans ce cas varient en fonction du type de récepteur, de la distance séparant les deux points comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, mais aussi en fonction de la méthode d'acquisition.

Méthodes d'acquisitions :

- **Le statique** : le principe du statique est de laisser pendant plusieurs heures les deux récepteurs en fonctionnement. Cette méthode est celle qui donne la meilleure précision. Des répétabilité inférieures au millimètre ont été observées dans cette configuration avec des récepteurs bi-fréquence haute précision TurboRogue d'ALLEN OSBORNE AS.

- **Le rapide statique** : Compte tenu des impératifs industriels cette méthode a été développée pour obtenir de bonnes précisions tout en ne restant que très peu de temps (de 5 minutes à 1 heure

suivant les récepteurs utilisés) sur le point à déterminer. Ceci permet de lever plusieurs points dans une même journée à une précision centimétrique.

- **Le cinématique** : la plupart des traitements cinématiques nécessitent une initialisation statique, c'est-à-dire de rester stationné quelques minutes sur le point de départ de la trajectoire. Cependant une nouvelle technique de résolution d'ambiguïté en vol (OTF) permet de s'affranchir de cette initialisation tout en conservant le même type de précision (centimétrique).

Ces traitements s'effectuent sur les phases. Un traitement sur les pseudo-distances uniquement est également possible mais donne sur la solution de navigation des précision métriques.

- Le temps réel :

- **Le RTCM 104** : quelques récepteurs génèrent des corrections différentielles qui correspondent à la différence entre la position

mesurée par la station de référence et la position connue. Cette différence est alors transmise par liaison radio ou par modem à la station mobile sous un format standard RTCM 104 qui corrige alors sa propre position en temps réel.

- **Le traitement temps réel sur les phases** : des précisions centimétriques en temps réel sont aujourd'hui possibles grâce à ce mode de traitement, cependant il nécessite des liaisons de données puissantes (type QPSK), des récepteurs de bonne qualité et un traitement très poussé (logiciel SESAME de TERRASAT).

Conclusion

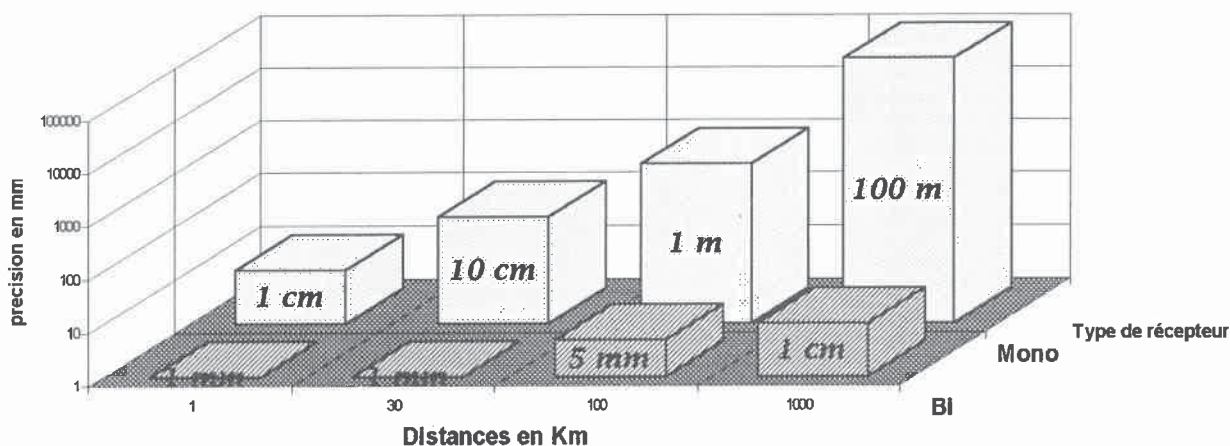
Comme nous venons de le constater à la lecture de cet article, le système GPS initialisé en 1981, devient le système de référence mondial de positionnement et de temps, validé par les services de recherche et développement des industries de pointe et la

communauté scientifique, nous assistons aujourd'hui à une véritable explosion de demandes dans des domaines aussi multiples que variés, notamment pour utilisation dans des applications professionnelles civiles (atterrissage d'avions, gestion de flottes, navigation, géodésie, cartographie...).

L'utilisation et la vulgarisation du système GPS nous font concrètement entrer dans le XXIème siècle. Le GPS devient l'outil permettant à l'homme d'étalonner son environnement dans des échelles de mesures fiables et ultra-précises pour des applications quotidiennes.

Le système, caractérisé et contrôlé par l'homme, évoluera dans les précisions et la fiabilité obtenues, mais offre d'ores et déjà des résultats dont l'exploitation nous apporte un gain de temps, une diminution des coûts et un luxe de précision en comparaison des outils de mesure du passé.

Comparaison Bi-fréquence / Mono-fréquence en fonction de la distance en différentiel statique



**TABLEAU RÉCAPITULATIF DES ORDRES DE GRANDEUR DE PRÉCISION GPS ACCESSIBLES EN MODE NATUREL,
SOIT AVEC 1 SEUL RÉCÉPTEUR**

Technologie	Cryptage	Temps d'intégration	Précision	Solutions matériels E.S.T. (NB: toutes sont dans le bas de la fourchette donnée)
Mono fréquence	S/A off	Instantanée 5mn d'intégration 1 heure d'intégration 48 heures d'intégration	20-40m 20-30m 20-25m 20m	TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5
	S/A on	Instantanée 5mn d'intégration 1 heure d'intégration 48 heures d'intégration	100m 80m 50m 20m	TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5
Bi fréquence	S/A off-A/S off	Instantanée 5mn d'intégration 1 heure d'intégration 48 heures d'intégration	16-20m 10-16m 1-10m cm	TurboRogue TurboRogue TurboRogue TurboRogue avec traitement EST
	S/A on-A/S off	Instantanée 5mn d'intégration 1 heure d'intégration 48 heures d'intégration	16-20m 10-16m 1-10m cm	TurboRogue TurboRogue TurboRogue TurboRogue avec traitement EST
	S/A on-A/S on	Instantanée 5mn d'intégration 1 heure d'intégration 48 heures d'intégration	20-100m 20-806m 10-30m cm-50cm	TurboRogue TurboRogue TurboRogue TurboRogue avec traitement EST

**TABLEAU RÉCAPITULATIF DES ORDRES DE GRANDEUR DE PRÉCISION GPS ACCESSIBLES EN MODE DIFFÉRENTIEL,
SOIT AVEC 2 RÉCEPTEURS (1 RÉF. + 1 MOBILE)**

Distances	Technologie	Méthode de traitement GPS	Précision	Solutions matériels E.S.T. (NB: toutes sont dans le bas de la fourchette données)
<30 km	Mono fréquence	Temps différé. Traitement sur les phases. Statique Rapide-Statique Cinématique avec ini statique Cinématique sans ini statique	1cm-10cm 5cm-20cm 5cm-50cm 5cm-80cm	(TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + OTF
		Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	1m-2m	NAVSTAR (XR4 ou XR5)
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	1m-5m	NAVSTAR et NOVATEL
		Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	5cm-80cm	NOVATEL + SESAME
	Bi fréquence	Temps différé. Traitement sur les phases Statique Rapide-Statique Cinématique avec ini statique Cinématique sans ini statique	<1mm-10cm <1cm-20cm <1cm-50cm <1cm-80cm	TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + OTF
		Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	50cm-2m	TurboRogue + logiciel adapté
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	40cm-5m	TurboRogue
		Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	1cm-1m	TurboRogue + SESAME

Distances	Technologie	Méthode de traitement GPS	Précision	Solutions matériels E.S.T. (NB: toutes sont dans le bas de la fourchette données)
30 à 100 km	Mono fréquence	Temps différé. Traitement sur les phases. Statique Rapide-Statique Cinématique avec ini statique Cinématique sans ini statique	10cm-2m 50cm-5m 1m-5m 1m-5m	(TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + OTF
		Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	1m-10m	NAVSTAR (XR4 ou XR5)
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	1m-10m	NAVSTAR et NOVATEL
		Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	1m-5m	NOVATEL + SESAME
	Bi fréquence	Temps différé. Traitement sur les phases Statique Rapide-Statique Cinématique avec ini statique Cinématique sans ini statique	<1mm-10cm <1cm-20cm <1cm-50cm <1cm-80cm	TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + OTF
		Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	50cm-2m	TurboRogue + logiciel adapté
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	40cm-5m	TurboRogue
		Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	1cm-1m	TurboRogue + SESAME

**TABLEAU RÉCAPITULATIF DES ORDRES DE GRANDEUR DE PRÉCISION GPS ACCESSIBLES EN MODE DIFFÉRENTIEL,
SOIT AVEC 2 RÉCEPTEURS (1 RÉF. + 1 MOBILE)**

Distances	Technologie	Méthode de traitement GPS	Précision	Solutions matériels E.S.T. (NB: toutes sont dans le bas de la fourchette données)
> à 100 km	Mono fréquence	Temps différé. Traitement sur les phases. Statique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Rapide-Statique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Cinématique avec ini statique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Cinématique sans ini statique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
	Bi fréquence	Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Temps différé. Traitement sur les phases Statique	<1mm-10cm	TurboRogue + Turbotopas
		Rapide-Statique	<1cm-20cm	TurboRogue + Turbotopas
		Cinématique avec ini statique	<1cm-50cm	TurboRogue + Turbotopas
		Cinématique sans ini statique	<1cm-80cm	TurboRogue + OTF
		Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	50cm-2m	TurboRogue + logiciel adapté
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	40cm-5m	TurboRogue
		Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	1cm-1m	TurboRogue + SESAME

Pascal BUTZBACH et René CALLIER
vous prient de noter la création de

INBC SYSTEMES, Sarl.

36, rue Cheveul
69007 LYON

TÉL. : 72 73 14 28

Fax : 72 73 22 08

spécialisée dans les domaines suivants :

- ☐ Commercialisation et intégration
S.I.G. - Assembler ASCODES
- ☐ Projiciel de topographie TOPOJIS
- ☐ Conception et Développement

- ☐ Photogrammétrie ROLLEIMETRIC
- ☐ Matériel informatique
installation et assistance
- ☐ Formation