



UNITE MIXTE DE RECHERCHE N° 6575
Archéologie et territoires

ECOLE THEMATIQUE
Système d'Information à Référence Spatiale et Archéologie
Tours - 8/13 septembre 2003

Atelier

GPS

par L. Saligny

Archéologie et territoires (UMR 6575)

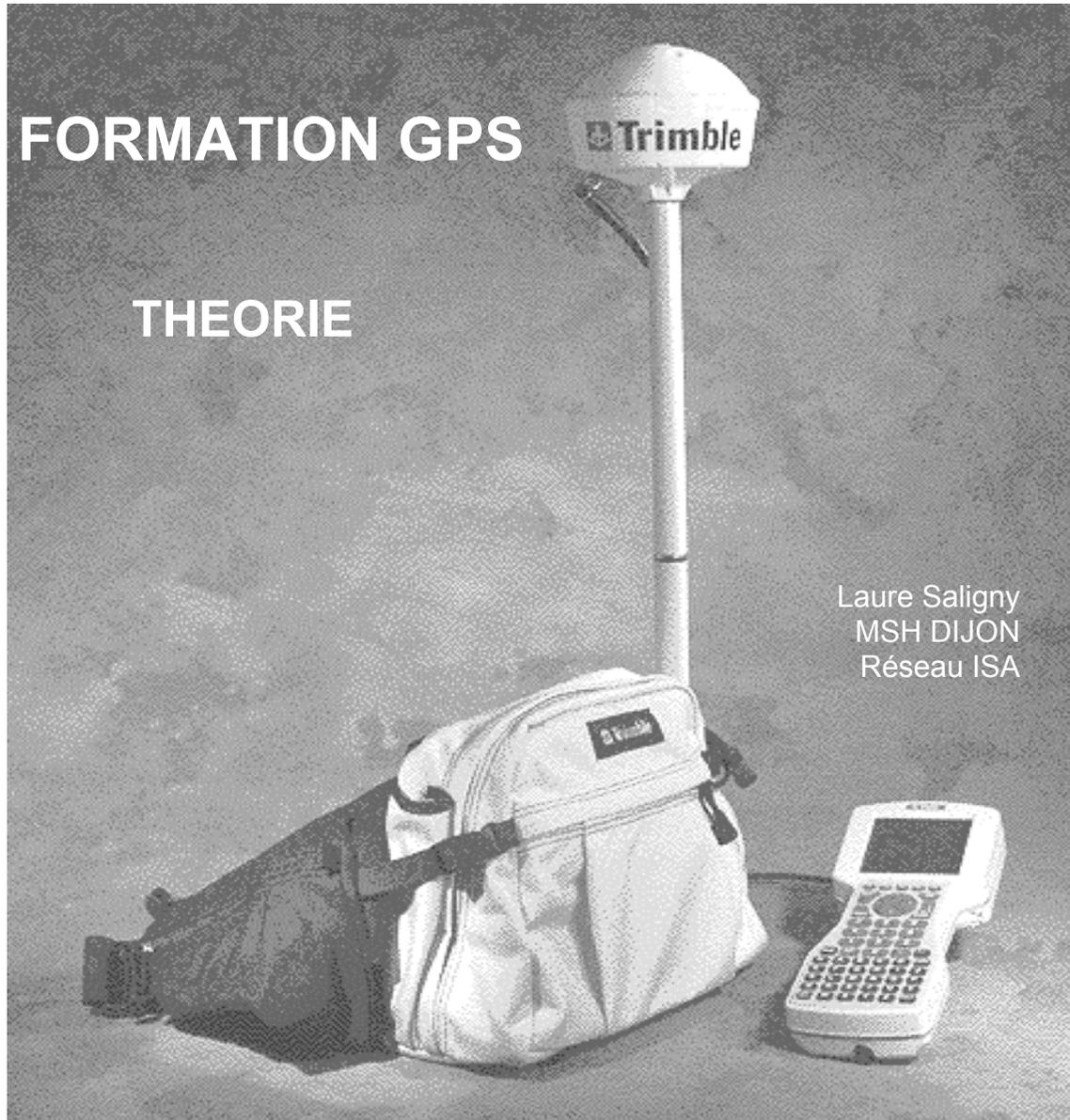
UNIVERSITE DE TOURS – 3, PLACE ANATOLE FRANCE – 37000 TOURS – FRANCE

TELEPHONE 02 47 36 81 12 – TELECOPIE 02 47 36 81 04

FORMATION GPS

THEORIE

Laure Saligny
MSH DIJON
Réseau ISA



I) Définition et principes

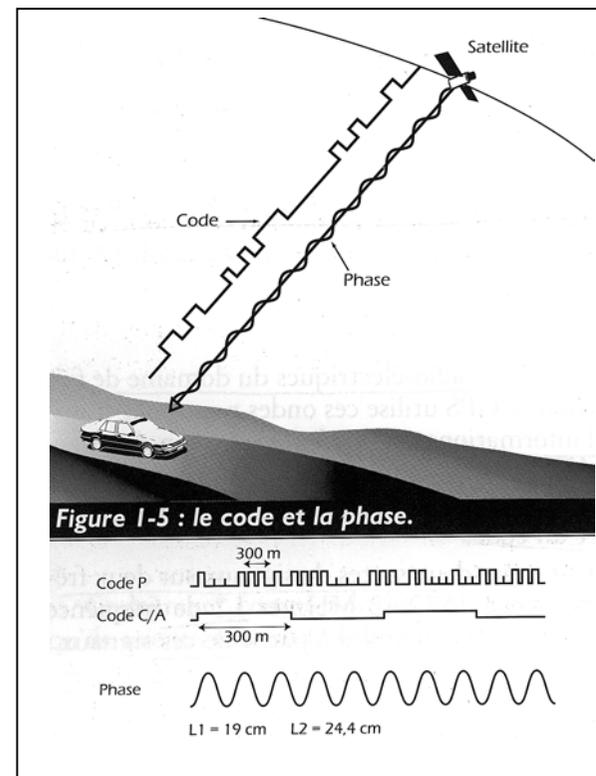
Le système NAVSTAR (NAVigation System by Timing and Ranging) GPS (Global Positioning System) est un système de positionnement par satellites développé par le Département de la Défense américain.

Le système GPS donne des informations de temps, de position et de vitesse n'importe où et n'importe quand sur la surface de la terre.

Le premier satellite a été lancé en 1978. Aujourd'hui composé de 24 satellites en orbite à plus de 20 000km, le système est opérationnel depuis 1994.

Les satellites émettent des ondes radio-électriques sur deux fréquences différentes L1 et L2. Deux codes sont issus de ces signaux, ils sont appelés codes pseudo-aléatoires. Il s'agit du code P (Precise code) sur les fréquences L1 et L2, généralement réservé à l'armée américaine (longueur d'onde 30m) et, le code C/A (Coarse/Acquisition Code) sur la fréquence L1 (longueur d'onde 300m). Chacun des satellites émet ses propres codes pseudo-aléatoires C/A et P. Le récepteur GPS a en mémoire la liste complète des codes afin d'identifier les satellites dont il reçoit les signaux. La précision maximale pouvant être obtenue par le code C/A (seul accessible) est de l'ordre du mètre. C'est pourquoi, parallèlement, à ces codes, les GPS utilisent aussi la phase de ces ondes radio-électriques afin d'améliorer la précision.

Schéma : Andréani, 2001, p.18



Il existe 2 modes d'utilisation du système GPS :

- **Le positionnement absolu ou la pseudo-distance ou le mode autonome**

Il est calculé par le récepteur de l'utilisateur qui mesure la distance entre lui et les différents satellites à l'aide des codes C/A ou P. Ce positionnement est peu précis, il varie de quelques mètres à 100 mètres.

Son utilisation principale est la navigation maritime ou terrestre. On l'emploie avec les GPS dits de 1^{ère} catégorie.

- **Le positionnement relatif ou différentiel**

La distance est calculée soit à partir des codes ou de la phase simultanément en deux stations (récepteurs). Un récepteur est fixe, appelé la station et, l'autre est mobile.

Le résultat est le vecteur entre ces deux GPS. Ce mode permet de corriger en grande partie les sources d'erreur. La précision est ainsi améliorée, pouvant atteindre le subcentimétrique. Ce positionnement peut être :

- *en temps différé* (avec un post-traitement)
- *en temps réel* : les observations de la station sont envoyées grâce à un équipement radio au récepteur mobile pour permettre une correction et une précision instantanées sur le terrain.

Il sert à la localisation précise et aux relevés.

Le calcul de la distance entre le satellite et le récepteur se fait selon 4 principes :

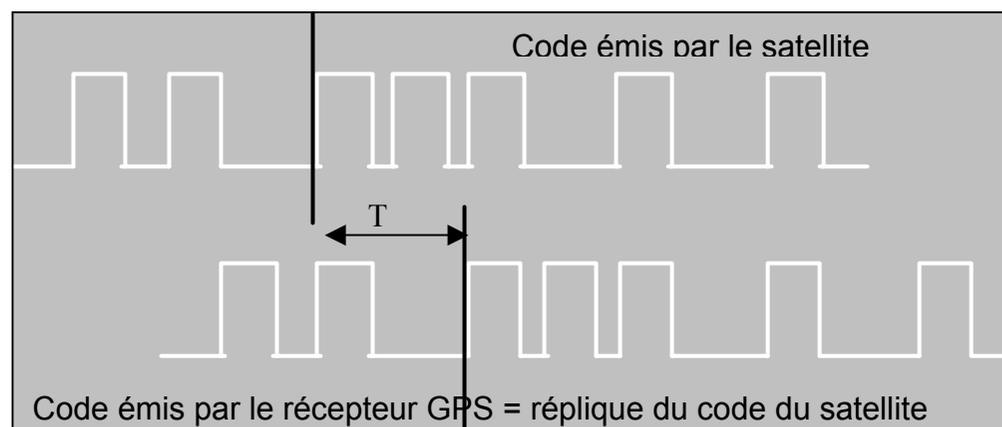
- ***l'intersection spatiale ou la trilatération*** : Il faut 4 satellites minimum pour résoudre les 4 inconnues, X, Y, Z et le temps.

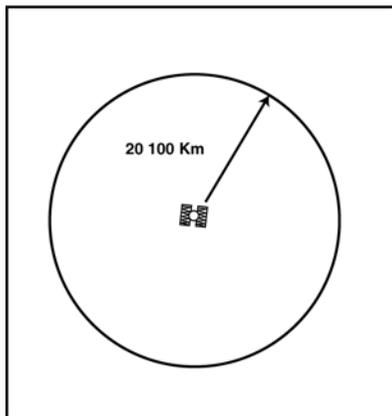
- le signal se propage à la vitesse de la lumière, soit ***l'équation*** :

$$\text{Distance} = \text{Temps de trajet} \times \text{Vitesse de la lumière}$$

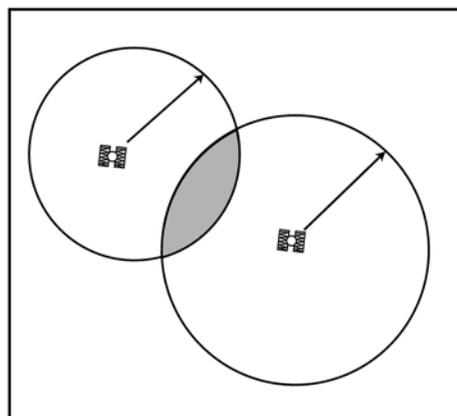
- ***un système d'horloge*** servant à connaître la variable temps de l'équation précédente.

La subtilité du système GPS repose sur un système d'horloges atomiques parfaitement synchronisées et précises dont sont équipés les satellites. Pour connaître le temps mis par le signal pour parvenir au récepteur, ce dernier doit déterminer le moment où le signal a commencé d'émettre. Pour cela, chaque satellite génère son propre code qui doit être reconnu par le récepteur. Celui-ci calcule alors ce que l'on nomme le déphasage, c'est-à-dire la différence entre le signal émis par le satellite et ce même signal reproduit par le récepteur. Ainsi les résultats des calculs dépendent de la précision de l'horloge, puisque le code doit être généré simultanément par le récepteur et le satellite. Pour pallier aux décalages d'horloge des récepteurs GPS, il est nécessaire d'utiliser les mesures d'un 4^{ème} satellite pour ajuster l'erreur de son horloge.

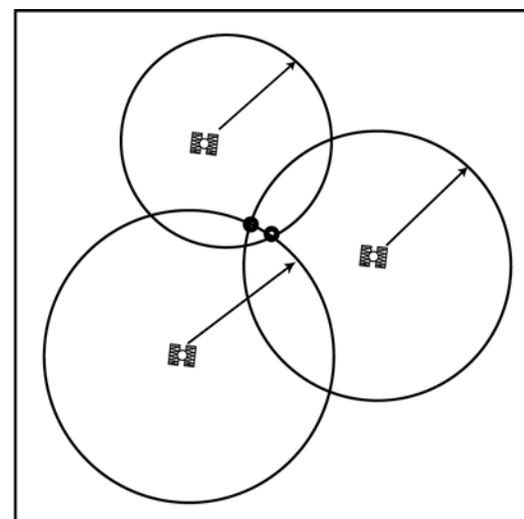




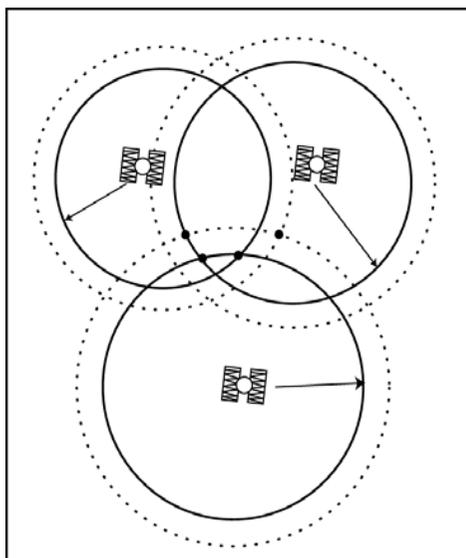
1 Satellite = localisation sur une sphère



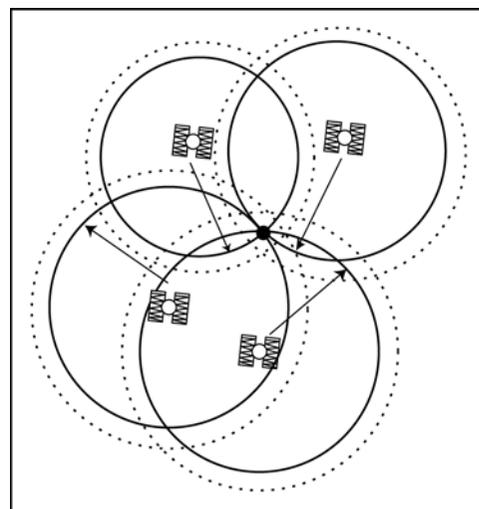
2 Satellites = localisation sur l'intersection de 2 sphères



3 Satellites = intersection de 3 sphères soit 2 points dont 1 improbable



3 Satellites avec erreurs d'horloge = intersection de 3 sphères décalées soit 4 points (dont 2 improbables)



4 Satellites avec erreurs d'horloge = intersection de 4 sphères décalées soit 1 point

- **Une correction des erreurs** en mode relatif :

Les principales sources d'erreurs liés au systèmes sont :

- les couches atmosphériques (troposphère et ionosphère) : elles peuvent engendrer des erreurs sur les résultats de localisation ; le signal radio peut être retardé ou accéléré quand il traverse ses couches.
- Les erreurs du système tel que des problèmes de trajectoire des satellites (erreurs d'éphéméride) ou les erreurs d'horloge
- La SA (Selective Availability) : il s'agit d'une dégradation volontaire du ministère de la défense américaine sur les signaux. Cette dernière a été supprimée fin 2000 mais l'armée américaine se réserve le droit de la ré-instaurer à tout moment.

D'autres sources d'erreurs sont possibles, elles sont liées à l'environnement dans lequel se trouve le GPS :

- le multi-trajet, on le rencontre dans des contextes non-dégagés type forêt ou milieu urbain. Les arbres ou les bâtiments étant des obstacles sur la trajectoire du signal, ce dernier est alors absorbé, atténué, réfléchi ou réfracté.
- La dilution de la précision ou DOP : il s'agit de la configuration géométrique ou géométrie que forment les satellites au moment de la transmission. L'indicateur de qualité est d'une manière générale (pour les appareils trimble) le PDOP (Position dilution of position) pour la position en 3 D. Il en existe d'autres : le HDOP, pour la position horizontale, le VDOP, pour la position verticale, le TDOP, pour le temps.
- La qualité du récepteur GPS

Ces erreurs peuvent être en partie corrigées par le type de récepteur employé et par la méthode de la correction différentielle ou du DGPS.

II) La Correction différentielle : le DGPS

Le principe de la correction différentielle repose sur le fait que 2 récepteurs peu éloignés l'un de l'autre observent les mêmes satellites ainsi les erreurs observées sur les 2 GPS sont identiques.

L'un de ces récepteurs est statique, il est appelé station de référence. Il est placé sur un point de coordonnées connues, ce, qui lui permet de déterminer les corrections (PRC, Pseudorange corrections) à appliquer sur les mesures de distances aux satellites.

Les PRC calculées par la station de référence pour chaque satellite sont la différence entre les distances observées à l'instant t et les distances calculées à partir des coordonnées connues de la station et celles des satellites.

Soit l'équation :

$$\text{PRC} = \text{PR observées} - \text{PR calculées}$$

Un nombre illimité de récepteurs mobiles peuvent utiliser ses corrections afin de les appliquer à leurs observations. Ces corrections sont utilisées

- soit en temps réel : les corrections sont transmises par signal radio de la station au mobile
- soit en post-traité : l'ensemble des données (base et mobile) est intégré ultérieurement dans un logiciel de traitement afin de restituer un fichier corrigé des relevés réalisés.

La correction différentielle peut se faire soit sur le code, soit sur la phase.

Pour travailler sur le code, on pourra utiliser les fichiers des stations permanentes implantées un peu partout comme celles du RGP (Réseau Géodésique Permanent) de l'IGN pour la France.

Pour travailler sur la phase, il sera nécessaire d'installer sa propre base soit sur une borne référencée type IGN, soit sur un point arbitraire (si la précision recherchée est relative).

III) La Précision

La précision des mesures par GPS varie de façon statistique. C'est pourquoi il existe plusieurs méthodes statistiques créant chacune, une méthode de mesure.

Chez Trimble et PathFinder, on utilise la mesure σ . Cette mesure repose sur la théorie statistique selon laquelle les erreurs aléatoires suivent une distribution normale (loi de Gauss). La dispersion des valeurs de part et d'autre de la moyenne est quantifiée par l'écart-type, σ .

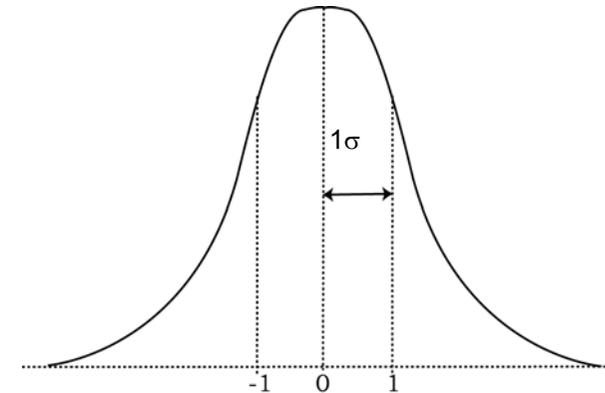
C'est pourquoi lorsque l'on donne une précision, il faut toujours l'associer à la probabilité correspondante.

A 1σ correspond 68.27% , cette précision est appelée RMS (Root mean Square)

à 2σ : 95.45%, appelée aussi 2drms

à 3σ : 99.73%.

Ainsi si l'on donne une précision de 1m à 1σ , cela équivaut à dire que 68.27% des mesures sont précises à 1 mètre.



La précision du positionnement dépend :

- De la technique utilisée : mode autonome, mode relatif (DGPS sur le code ou la phase, en temps réel ou post traité)
- Du type de récepteur

NB : Il en existe 3 types :

- les récepteurs de navigation sont utilisés pour les applications peu précises et sont peu chers. Ils ne font que des mesures sur les pseudo-distances sur les codes C/A, offrant des précisions de l'ordre de une ou plusieurs dizaines de mètres.
- Les récepteurs mono-fréquences
- Les récepteurs bifréquences

Tous deux effectuent des mesures sur les codes ou sur la phase permettant ainsi une meilleure précision : métrique pour les premiers et centimétriques pour les deuxièmes.

Le récepteur utilisé par notre équipe est bifréquence.

- De la position (géométrie) et du nombre de satellites
- Du temps d'observation
- Du milieu dans lequel on se trouve (le multi-trajet). Plus les antennes et les récepteurs sont performants, plus l'effet est réduit (mais il existe toujours)

Précision attendue selon la méthode :

- *en planimétrie* :

- mode autonome sans correction : Inf à 50m (2σ)
- différentiel sur le code en temps réel : 50cm à 1m (1σ)
- différentiel sur le code post traité : inf 50cm +1ppm* (1σ)
- différentiel sur la phase : de 1 à 30cm + 5 ppm (1σ)

*1ppm = 1 partie par million = 1 mm par Km

Cela correspond à la distance entre la base et le mobile : plus la base est proche, meilleure est la précision.

- *en altimétrie* : de l'ordre environ à, 3 fois inférieure à la précision planimétrie

- mode autonome sans correction : Inf à 156m (2σ)
- différentiel sur le code : inf à 3m (1σ)
- différentiel sur la phase : inf à 1m (1σ)

Bibliographie et références internet sur le GPS

Cours et ouvrages généraux :

S. Botton, F. Duquenne, Y. Egels, M. Even, P. Willis, CNIG, Groupe Positionnement Statique et Dynamique, GPS, localisation et navigation, éd. Hermès, Paris, 1997, 159p.

A.Adréani, Le GPS : une révolution, éd. Jean Jary, Paris, 2001, 160p.

P.Correia, Guide pratique du GPS, éd. Eyrolles, 3^{ème} édition, 2002

P.-Y. Gilliéron, Le GPS vers une banalisation du positionnement ?,
<http://sic.epfl.ch/SA/publications/FI98/fi-5-98/5-98-page1.html>

Cours détaillé de Peter Dana de l'université du Texas
http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html

Le site d'Y. Pratter : présentation du GPS, précision
<http://perso.club-internet.fr/ypratter/gps/>

Introduction aux applications GPS
<http://ares.redsword.com/gps/>

Magazine mondial sur le GPS (glossaire important) : <http://www.gpsworld.com>

Cours divers et portails : [Sam Wormley's GPS Page](#) et [Alfred Leick's GPS Page](#)

GPS et archéologie (Rares exemples d'utilisations) :

Y.Pautrat, *Archéologie et forêt : l'expérience bourguignonne*, Nouvelles de l'Archéologie, n°86, Paris, 2001

Archéologie de l'archipel de Molène (Bretagne) :
http://www.molene.net/rubrique_sciences/archeologie/archeologie.htm?

Early Agricultural Remnants and Technical Heritage - Groupement de Recherche (GDR 2517)
<http://www.earth.arts.gla.ac.uk/Activities/gdr.htm>

Géoarchéologie de la plage de Bolonia (Tarifa, Espagne)
<http://geolittomer.univ-nantes.fr/Axes/Bolonia.html>

Pour récupérer des données de stations de base gratuites :

Station de base de l'INRA Nancy :
<ftp://ftp.nancy.inra.fr/pub/gps/>

Sur le site du Réseau GPS Permanent de l'IGN :
<http://lareg.ensg.ign.fr/RGP/index.html>