

Le système GPS et son impact sur les travaux topographiques

par C. BOUCHER, P. WILLIS
IGN, Institut Géographique National

Résumé

Le système GPS a déjà largement montré sa puissance pour les travaux topographiques.

Un panorama des types d'emploi, qu'ils soient déjà opérationnels ou en cours de développement, est donné : navigation absolue ou différentielle, trajectographie ; géodésie mono ou bi-fréquence, avec orbites radiodiffusée ou recalculées.

Concernant les réseaux officiels de géodésie et de nivellement développés par l'IGN en France métropolitaine, l'impact de GPS est étudié sous deux aspects successifs :

- l'utilisation de GPS avec les réseaux actuels : possibilités et restrictions,*
- la définition et réalisation de nouveaux réseaux nationaux permettant le plein emploi de GPS : possibilité, choix.*

INTRODUCTION

Le système de satellites américains du Global Positioning System a été depuis plusieurs années étudié par les géodésiens. De nombreux programmes de recherche ont été développés de part le monde et ont démontré de nouvelles applications à ce système de positionnement militaire pour la géodésie. Le but de cet article n'est pas de refaire une description du système GPS mais plutôt de faire le point actuel sur l'état d'avancement des recherches sur les applications du GPS aux travaux topographiques.

Pour chaque type d'application du GPS nous décrivons le caractère actuel d'opérationalité et les perspectives futures de développement. Dès à présent, certains utilisateurs, à commencer par l'Institut Géographique National lui-même, ont commencé par utiliser le GPS pour leurs travaux topographiques de production. Cet état de fait ne va pas sans poser quelques problèmes théoriques relatifs à la bonne utilisation des résultats GPS et des réseaux officiels de géodésie et de nivellement. Dans un premier temps, on montrera comment utiliser le GPS avec le réseau géodésique national actuel ainsi que les limites de restrictions actuelles de cette utilisation.

Enfin, on montrera qu'il est possible dans un futur proche d'utiliser le GPS et le réseau national sans restriction à condition que le réseau national évolue. Quelques éléments de réflexion sur ce nouveau réseau permettront de mieux faire comprendre les problèmes qui se posent à son établissement.

1 - APPLICATION DU SYSTEME GPS

Le système GPS est actuellement, jusqu'à 1991, en phase pré-opérationnelle. Ceci signifie, qu'il n'est pas utilisable partout 24 heures sur 24. En revanche, durant ses périodes d'utilisation (2 à 3 heures en France), la qualité des résultats obtenue est la même que la qualité finale lorsque la constellation des satellites sera complète.

Ce système qui a déjà été décrit dans de nombreuses publications (C. Boucher, P. Willis — revue Navigation, Colloque Localisation en mer, XYZ...) permet deux types de mesures : les pseudo-distances (distance satellite-récepteur au sol biaisé par un terme d'horloge) et les phases (phase de battement très précise mais ambiguë).

1-1 - LES APPLICATIONS DES MESURES DE PSEUDO-DISTANCES

Les mesures de pseudo-distances permettent un positionnement temps-réel lorsque le récepteur est couplé avec un calculateur. Quatre satellites captés simultanément permettent d'obtenir une position absolue avec une précision d'environ 20 mètres. Cette application est pleinement opérationnelle et convient parfaitement à des fins de navigation ou de positionnement. En 1991, la limite actuelle de l'utilisation non continue du système GPS sera enfin atteinte et permettra de reconsidérer l'utilisation du GPS pour la navigation de bateaux, d'avions et peut-être de voitures si le marché est assez grand pour faire baisser les prix des récepteurs.

Sur cette inexactitude de 20 mètres, une grande partie est due à la mauvaise qualité des orbites radiodiffusées par les satellites (les seules permettant un positionnement temps réel). Les erreurs ainsi créées sont des erreurs qui varient lentement dans le temps et dans l'espace. La position d'un deuxième récepteur à proximité (jusqu'à quelques centaines de kilomètres) sera affectée d'une erreur presque identique. Ceci permet d'envisager un autre type d'utilisation du GPS : la navigation différentielle. Un récepteur reste fixe, pendant que l'autre peut être mobile. La qualité de ce positionnement s'améliore pour tomber dans la gamme de 1 à 5 mètres. Afin de conserver l'aspect temps-réel de cette localisation, il faut adjoindre au système GPS un système de transpondeur qui permet de retransmettre du récepteur-maître soit les mesures, soit sa position du deuxième récepteur. De nombreuses solutions, très variées, sont proposées actuellement par les constructeurs de matériel (Sercel en France,...).



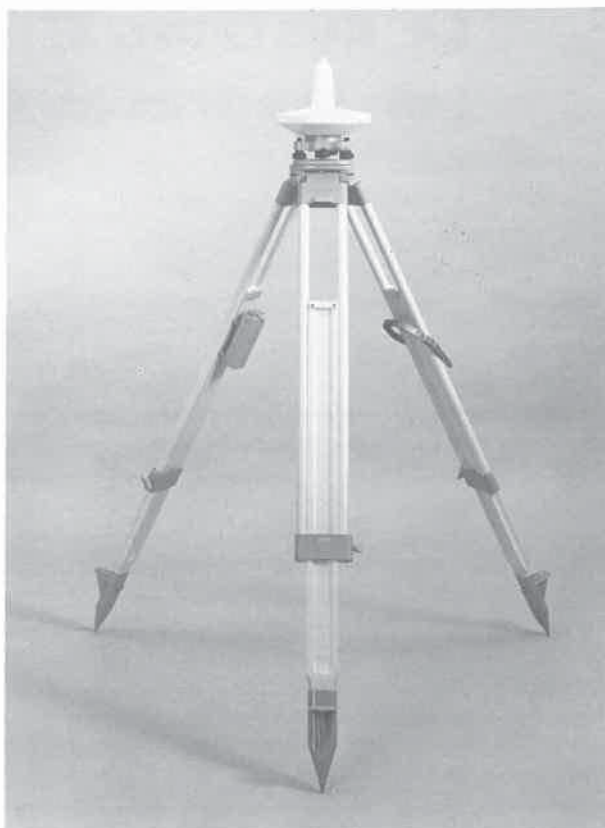
CL. SAGEM

Le récepteur Ashtech XII et tous ses accessoires.

Récepteur NR 52.



DOC. SERCEL



CL. WILD

WM 101 : antenne et récepteur.



CL. WILD

Afin d'améliorer ces résultats, il est nécessaire d'utiliser le GPS en différentiel (au moins deux récepteurs) et d'utiliser les mesures de phases GPS. Une première approche, très efficace, est l'utilisation des mesures de phases pour lisser les mesures de pseudo-distances et d'utiliser ainsi ces mesures comme dans le cas de la navigation différentielle. Cette technique nécessite un traitement a posteriori des mesures GPS et un logiciel adapté. Cette technique, déjà commercialisée, que nous appelons ici trajectographie GPS permet d'obtenir, à une précision meilleure que 50 cm, la position d'un mobile (avion, véhicule). Des expériences ont été menées à l'IGN en collaboration avec la Sercel pour l'utilisation du GPS sur un avion de prise de vues aériennes pour des besoins de photogrammétrie.

1-2 - LES APPLICATIONS DES MESURES DE PHASE

Dans toutes les applications suivantes, la mesure utilisée est la mesure de phase GPS seule, beaucoup plus précise que la pseudo-distance (1 millimètre au lieu de quelques dizaines de centimètres), en mode différentiel (au moins deux récepteurs). Ce sont ces applications géodésiques du GPS qui ont une très grande utilité pour les travaux topométriques. Il existe deux grands types de récepteurs géodésiques : les récepteurs mono-fréquence (enregistrant uniquement les mesures sur la fréquence L 1) et les récepteurs bi-fréquence, beaucoup plus coûteux qui enregistrent les mesures sur les fréquences L 1 et L 2 (tableau 1). L'intérêt des récepteurs bi-fréquence est essentiellement de pou-

voir mieux corriger l'allongement du à la traversée de l'ionosphère et est surtout essentiel pour de très grands réseaux (entre 50 km et 1 000 km). On peut donc penser que la plupart des travaux de topométrie courante peut être effectué à l'aide de récepteurs mono-fréquence.

Dans le cas des récepteurs géodésiques mono-fréquence la correction ionosphérique est effectuée à l'aide d'un modèle radiodiffusé dans le message des satellites GPS. Cette application est pleinement opérationnelle. En général, chaque constructeur vend le logiciel de traitement adapté et de nombreuses études ont montré que les résultats obtenus sont en général de l'ordre de 2×10^{-6} en relatif jusqu'à des distances d'environ 50 km (soit 1 cm à 5 km). Les tableaux 2 et 3 montrent des résultats obtenus à l'IGN sur une base \emptyset et sur une base de 2,7 km. Ces résultats proviennent d'une étude de comparaison beaucoup plus importante, établie en janvier-février 1988 en collaboration avec la Sercel. Chaque ligne de ces tableaux correspond à une estimation indépendante provenant du traitement à posteriori à l'aide du logiciel de l'IGN (GDVS, géodésie par mesure de distance et variation de distance sur satellite) d'environ 1 heure de mesures GPS. Ces résultats varient de l'ordre de 2 à 3 millimètres pour la ligne de base de 2,7 km (soit environ 1 partie par million = 10^{-6}).

Dans le cas de récepteurs géodésiques bi-fréquences traitées avec un logiciel de production les résultats sont un peu améliorés (10^{-6} au lieu de 2×10^{-6}) à courte distance mais surtout, ils deviennent plus utiles à grande distance.

Un point très intéressant est qu'ils permettent d'obtenir des résultats beaucoup plus performants (2×10^{-8} pour certaines équipes Américaines ou Suisses) lorsqu'elles sont traitées avec un logiciel de recherche spécialisé. Ce logiciel doit permettre un calcul de l'orbite des satellites GPS à posteriori

DOC. TRIMBLE

Trimble 4000SL.



TABLEAU N° 1

RECEPTEURS GPS GEODESIQUES COMMERCIALISES EN 1988

Monofréquence

SERCEL NR 52
TRIMBLE 4000 SL
AERO SERVICE Minimac 1816
WILD-MAGNAVOX WM-101

(anciens : Sercel TR 5 S, Macrometer V 1000, Trimble 4000 SX)

Bifréquence

TRIMBLE 4000 SDL
AERO SERVICE Minimac 2816
WILD-MAGNAVOX WM-102

(anciens : Texas Instruments TI 4100, Aero Service Macrometer II, Trimble 4000 SDX)

TABLEAU N° 2

Base 0 calculée par le programme GDVS Campagne tests Sercel (janvier-février 1988)

N° de session	Jour	Heures TU	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D (m)
1	6/01/1988	21 h 00 - 22 h 00	- 0.001	- 0.001	- 0.001	0.002
2	6/01/1988	22 h 10 - 23 h 10	0.001	- 0.003	- 0.004	0.005
3	6/01/1988	23 h 15 - 24 h 15	0.001	0.001	0.000	0.001
Valeurs moyennes			0.000	- 0.001	- 0.002	0.003
Ecart type			0.001	0.002	0.002	0.002

TABLEAU N° 3

Calcul de la base SERCM001-AGFA (2,7 km) par le programme GDVS
Campagne tests Sercel (janvier-février 1988)

N° de session	Jour	Heures TU	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D (m)
1	28/01/1988	19 h 30 - 21 h 10	- 1385,034	- 2011,471	1217,832	2729,002
2	28/01/1988	21 h 20 - 22 h 50	- 1385,029	- 2011,466	1217,839	2728,999
3	29/01/1988	19 h 30 - 21 h 10	- 1385,027	- 2011,471	1217,832	2728,998
4	29/01/1988	21 h 20 - 22 h 50	- 1385,022	- 2011,460	1217,846	2728,993
5	30/01/1988	19 h 30 - 21 h 10	- 1385,026	- 2011,470	1217,837	2728,999
6	30/01/1988	21 h 20 - 22 h 50	- 1385,021	- 2011,464	1217,847	2728,997
7	31/01/1988	19 h 30 - 21 h 10	- 1385,024	- 2011,470	1217,837	2728,998
8	31/01/1988	21 h 20 - 22 h 50	- 1285,023	- 2011,463	1217,843	2728,995
Valeurs moyennes			- 1385,026	- 2011,467	1217,839	2728,998
Ecart type			0,004	0,004	0,005	0,003

(réseau orbitographie GPS concomitant, situé sur des sites LASER ou VLBI) et modéliser des paramètres stochastiques tels que les horloges, la correction troposphérique. Ce sont des logiciels de recherche, très lourds, qui ne seront probablement pas utilisés pour des besoins de production mais plutôt pour des besoins de recherche (réseaux géophysiques, dérive des continents,...).

Enfin, il faut citer au passage une application plus récente du GPS appelée GPS cinématique, qui peut être réalisée à l'aide de récepteur mono-fréquence. Comme dans les cas de GPS trajectographie, il faut disposer d'un récepteur fixe et d'un récepteur mobile. Mais, pour le GPS cinématique, c'est la mesure de phase qui est utilisée directement. Des premiers essais ont été réalisés à l'IGN récemment et ont montré une précision centimétrique (voire meilleure) de positionnement, en traitant les mesures à l'aide du logiciel GDVS. Cette application est encore au stade de développement mais peut permettre un gain de temps appréciable (il suffit, en effet, de laisser le récepteur quelques secondes au lieu de 1 heure dans le cas général). Néanmoins, cette application possède de grandes restrictions qui limitent son emploi : le site de travail doit être dégagé, il faut donc éviter les environnements boisés et les environnements urbains.

On voit donc, que le GPS permet de nombreuses applications très différentes (résumés dans les tableaux 5 et 6 de la conclusion), et que, dès à présent, certaines techniques permettent d'obtenir quelques millimètres ou quelques centimètres en production courante pour de nombreux travaux topométriques.

2 - LE RESEAU GEODESIQUE FRANÇAIS ET GPS

2-1 - Typologie d'un réseau géodésique

Afin de mieux cerner les caractéristiques des réseaux géodésiques, comment ils répondent aux besoins des utilisateurs ou comment ils peuvent évoluer à la lueur des nouvelles techniques, il est utile de dresser au préalable un inventaire de leurs caractéristiques.

On définira un réseau géodésique comme un ensemble de repères physiques naturels ou implantés de façon plus ou moins durable sur la surface topographique, pour lesquels sont déterminées des coordonnées bi-dimensionnelles (ou tri-dimensionnelles) dans un système de référence donné. On pourra donc attribuer à un tel réseau un certain nombre de caractéristiques, dont voici une liste non limitative :

a) Objectifs

Ils sont divers : réalisation d'un système de référence, topométrie, cadastre, cartographie, bases de données.

b) Système de coordonnées

Il est entièrement caractérisé par l'adoption :
 — d'un système de référence (datum), traditionnellement, pour les systèmes terrestres locaux, via l'adoption d'un point fondamental
 — d'un ellipsoïde
 — d'un méridien origine, pour les longitudes
 — d'une représentation cartographique plane de

l'ellipsoïde, dans le cas où les coordonnées diffusées sont planes

— des unités angulaires et linéaires.

c) Structure du réseau

Selon plusieurs aspects :

c-1 Hiérarchique

Exemples :

- 1^{er}, 2^e, 3^e... ordre
- mondial/européen/national/utilisateur
- fédéral/par état/utilisateurs.

c-2 topologie

Chaînes, surface, polygonales...

c-3 Utilitaire

Sites de mesures ou sites utilisés soit dans les interfaces (jonction national/européen par exemple) soit par les utilisateurs (points directement exploitables).

d) Exactitude

Généralement, caractérisée par l'écart-type d'une distance plane entre deux points D :

avec $\sigma_D = a^2 + b^2 D^{2c}$

$c \sim 1$ et $a \ll bD^c$ si D dépasse quelques km, de sorte que

$$\sigma_D \approx bD^c$$

b en cm/km par exemple.

e) Méthodes de mesure

Pour l'établissement ou la maintenance : triangulation, polygonation GPS, inertiel...

f) Matérialisation

Qualité, stabilité et pérennité de la matérialisation des points sur le terrain.

g) Diffusion des informations

Soit pour les interfaces, soit pour les usagers.

Supports de documentation (fiches, microfiches, listages, disquettes, bases de données...).

2-2 - LE RESEAU NTF

Le réseau géodésique actuellement en usage est celui de la Nouvelle Triangulation de la France (NTF).

En suivant la typologie précédente, on peut le caractériser ainsi :

a) Objectifs

- Réalisation d'un système national.
- Cartographie.
- Cadastre.
- Topométrie.
- Hydrographie.

b) Système de coordonnées

Point fondamental : Panthéon.

Ellipsoïde de Clarke 1880 IGN Mètres - Grades.

Unités : mètres-grades.

Méridien origine ; Paris.

Projection : Lambert 1, 2, 3, 4.

c) Structures

Cf table et figure.

d) Exactitude

$b = 10^{-5}$ au 1 cm/km

e) Méthodes de mesure

Triangulation (+ bases invar et stations de Laplace)

Polygonales de détail en zones montagneuses ou boisées.

f) Matérialisation

Bornes IGN (ou anciennes) sauf 5^e ordre.

Maintenance non assurée, sauf quelques campagnes de révision.

g) Diffusion

Répertoires puis microfiches.

A l'étude : disquettes et serveur télématique.

2-3 - GPS ET NTF

Le système GPS en mode géodésique peut-être utilisé pour :

- la réfection du réseau (IGN)
- la maintenance des bornes (IGN)
- la densification (utilisateurs).

Dans tous les cas, l'exactitude de 2×10^{-6} de GPS pose un problème de cohérence avec celle du réseau d'appui (10^{-6}). Il est alors nécessaire de connaître les distorsions du réseau d'appui et des points voisins, afin de transformer les coordonnées GPS, pour les amener dans un réseau uniformément homogène à 10^{-6} , quelle que soit l'origine du point.

Ceci impose la redétermination par GPS de points existants :

- pour la réfection, les points de bordure de la zone réfectionnée par GPS
- pour la maintenance, les trois points les plus proches
- pour la densification, tous les points NTF de la zone à densifier.

L'utilisation de GPS s'avère donc d'ores et déjà réalisable, et permet donc d'être retenue face à d'autres pour des raisons économiques. On constate néanmoins l'importance des travaux supplémentaires dus à l'inadéquation du réseau NTF actuel.

Une amélioration de la qualité de celui-ci permettrait de simplifier sensiblement l'emploi de GPS, et donc d'en diminuer le coût.

2-4 - POUR UN NOUVEAU RESEAU !

Un certain nombre d'éléments, permettent

d'envisager la redéfinition d'un réseau géodésique national.

On peut citer, en vrac et sans prétendre être exhaustif :

- l'accès à de nouvelles techniques de mesures (spatiales comme GPS, laser satellite, VLBI...) ou de gestion d'information (banques de données)
- la nécessité de pouvoir obtenir dans des zones particulières (urbaines par exemples) d'un canevas précis et exploitable (banques de données urbaines...), et, en conséquence, l'intérêt d'optimiser le réseau d'appui en vue de sa densification par GPS
- la nécessité croissante surtout après 1992 de disposer d'un canevas de qualité, dans un système de coordonnées normalisé au niveau européen.

Ces problèmes sont d'ailleurs débattus dans une nouvelle commission au sein du CNIG. Notre propos, ici, est purement informatif et ne prétend pas supplanter ses conclusions, mais tout au contraire lui apporter quelques suggestions techniques.

Ces suggestions, telles qu'elles sont esquissées ici, reposent sur un certain nombre d'hypothèses :

- définir au niveau national un canevas tridimensionnel pleinement compatible avec les systèmes géodésiques mondiaux internationalement acceptés (IERS, WGS, cf après) et avec une exactitude centimétrique (appelé après Réseau de Référence Français RRF)
- densification du RRF en un canevas plus utile que le réseau NTF, c'est-à-dire suffisamment précis et bien matérialisé sur le terrain, donc régulièrement visité et reborné
- jouer notre rôle dans la sous-commission EUREF de l'Association Internationale de Géodésie (AIG)
- exploiter au maximum le patrimoine géodésique existant, notamment l'ensemble des mesures réalisées par l'IGN pour la NTF
- mettre à la disposition des utilisateurs ces données nouvelles sans imposer à court terme l'abandon systématique de NTF.

TABLEAU N° 4

Structure			Espacement	Nb points	Exactitude	Coopération
Réseau NTF						
Principal	Base	1 ^{er} ordre 2 ^e ordre	30 km 10 km	800 5 000	10 ⁻⁶ 10 ⁻⁶	RETRIG
	Détail	3-4 ^e ordre	3 km	50 000	10 ⁻⁵	
Complémentaire		5 ^e ordre			Diverse	
Réseau RGF						
	RRF	Spatial	200 km	20	1 cm	SIRT-EUREF
	Base	1 ^{er} -2 ^e ordre	10 km	6 000	10 ⁻⁶	EUREF
	Détail	2 ^e -4 ^e -5 ^e ordre	2 km	80 000	qq. 99 10 ⁻⁶	

On peut alors suggérer un nouveau réseau (nom à définir : RGF Réseau Géodésique Français ?) :

a) Objectifs

En plus des objectifs déjà cités, la prise en compte d'aspects géodynamiques (surveillance de déformations) est souhaitable et réalisable compte tenu de la précision accrue.

b) Système de coordonnées

Un nouveau système est nécessaire, au moins au niveau européen. Afin de donner une solution définitive (si cela existe) à cette question nous proposons d'adopter un système mondial :

Système : celui de Service International de Rotation de la Terre (SIRT/IERS), successeur du BIH depuis janvier 1988.

Ce système sera maintenu avec la plus grande

exactitude (centimètre !) par un réseau de stations VLBI et laser. Il est parfaitement densifiable (laser ou VLBI mobile, GPS, Doris) avec la même qualité. Cette tâche est envisagée au niveau européen par EUREF, au sein de laquelle chaque pays définira la portion de ce réseau qui couvre son territoire. Pour la France, ce sera précisément le RRF. Par ailleurs le système WGS 84, base des éphémérides GPS, est et restera parfaitement relié à ce système.

Ellipsoïde : celui de l'AIG : GRS 80, déjà adopté par WGS 84.

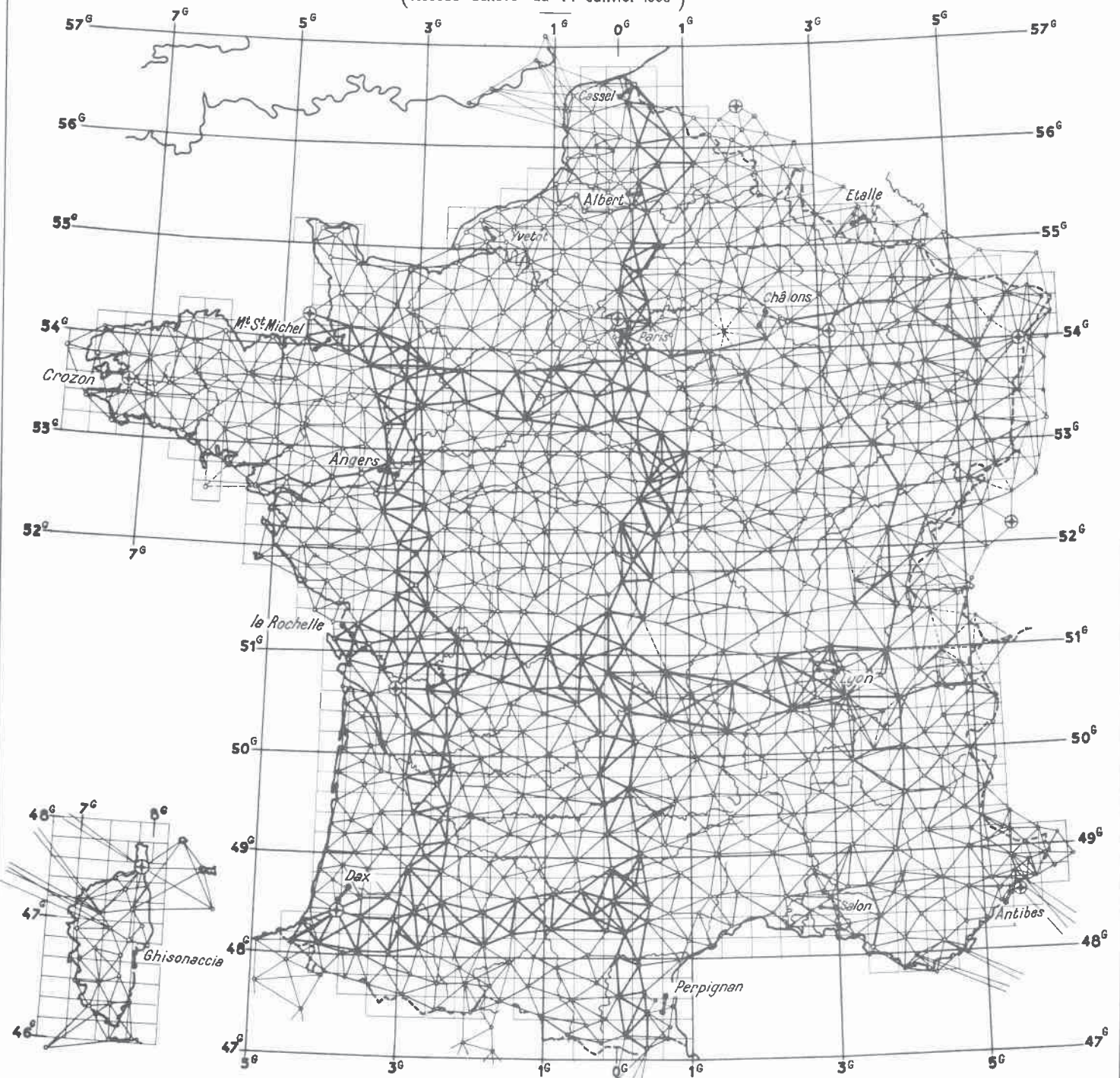
Projection : à définir si nécessaire.

c) Structure

A priori en 3 niveaux (cf table) :

- RRF 20 points
- base 5 000 points
- détail 80 000 points.

FRANCE

Triangulation de 1^{er} ordre(Réseau achevé au 1^{er} Janvier 1958)

⊕ Station astronomique

— Base

Le réseau de 1^{er} ordre, d'environ 850 sommets, est appuyé sur 14 bases et 10 stations astronomiques dites de Laplace. Une étude est actuellement en cours pour renforcer, vérifier son échelle et son orientation.

d) Exactitude

Pour RRF 2-3 cm dans le système mondial (soit, selon la distance 10^{-7} à 10^{-8}).

Pour le réseau de base : 10^{-6} .

Pour le détail : 10^{-6} .

e) Méthodes de mesures

Pour RRF : spatial (GPS, laser mobile...).

Pour le réseau de base : reprise des données NTF, maintenance par GPS.

Pour le détail : reprise des données NTF, maintenance par GPS si nécessaire.

f) Matérialisation

Maintenance annuelle pour RRF et le réseau de base.

A définir pour le détail.

g) Diffusion

Par banque de données. Les valeurs NTF et RGF coexisteront. L'utilisateur pourra voir ainsi les distorsions de NTF par rapport à RGF, et aura le choix, au moins à court terme, soit de travailler avec le

système NTF, soit avec le nouveau système RGF. Bien sûr, d'autres considérations (légales...) peuvent faire prendre une décision autre. Nous voulons simplement indiquer ici qu'il n'y a aucun problème technique de coexistence. De plus, l'adoption pour RGF d'un nouveau système de coordonnées supprime toute ambiguïté sur les valeurs numériques des coordonnées.

Cette nouvelle structure permet d'envisager le plein usage du réseau avec GPS. L'utilisateur pourra aisément densifier, par mode géodésique (10^{-6}), même exclusivement en s'appuyant sur le réseau de base. Il ne semble donc plus absurde d'abandonner à l'échelon national l'entretien du détail au profit d'une maintenance annuelle du réseau de base.

Ultérieurement, l'emploi de GPS en mode ultra-précis donc accompagné d'un service d'éphémérides adéquates, permet même d'obtenir un résultat encore meilleur en ne s'appuyant plus que sur le RRF. Celui-ci pourrait d'ailleurs être constitué de stations GPS automatiques. L'utilisateur, en collectant par télétransmission les données d'une station située à une centaine de km de son point, obtiendrait alors aisément (calcul sur micro-ordinateur) sa position au centimètre près !

TABLEAU N° 5

Type de localisation et performances actuelles du système GPS à l'IGN

Type de localisation	Type de récepteur	Type de logiciel	Type d'orbite	Correction ionosphérique	Précision	Caractère d'opérationnalité à l'IGN
navigation	mono ou bifréquence pseudo-distance	temps réel ou temps différé pseudo-distance	radiodiffusée	modèle	20 m	opérationnel
navigation différentielle	mono ou bi-fréquence pseudo-distance	temps réel ou temps différé pseudo-distance	radiodiffusée	modèle	1 à 5 m jusqu'à 500 km	opérationnel
trajectographie	mono ou bi-fréquence pseudo-distance et phase	temps différé pseudo-distance lissée par la phase	radiodiffusée	modèle	10 à 50 cm jusqu'à 500 km	phase de test
GPS géodésique mono-fréquence	mono-fréquence phase	temps différé phase	radiodiffusée	modèle	2×10^{-6} en relatif jusqu'à 50 km	opérationnel
GPS géodésique bifréquence	bi-fréquence phase	temps différé phase	radiodiffusée	correction bifréquence	10^{-6} en relatif jusqu'à 100 km	recherche
GPS géodésique mélange mono-fréquence et bifréquence	mono-fréquence bi-fréquence phase	temps différé phase	radiodiffusée	modèle + correction bifréquence	10^{-6} en relatif jusqu'à 100 km	opérationnel (mélange)
GPS cinématique	mono-fréquence phase	temps différé phase	radiodiffusée	modèle	2×10^{-6} en relatif jusqu'à 5 km	phase de test
GPS ultra-précis	bi-fréquence phase	temps différé phase avec calcul d'orbite	calculée	correction bifréquence	10^{-7} en relatif jusqu'à 1 000 km	recherche
temps fréquence	mono-fréquence pseudo-distance	logiciel spécifique	radiodiffusée	modèle	10-100 ns	—

CONCLUSION

On voit ainsi toute l'importance du système GPS pour la redéfinition, la maintenance et l'exploitation du réseau géodésique national, jusqu'à le remplacer progressivement. Cette évolution doit être conjointement définie par les producteurs, les experts et les utilisateurs pour lequel le CNIG est un forum approprié.

Mais loin de nous en tenir là, il faut aussi envisager d'autres (r)évolutions apportées par GPS. Par exemple, le nivellement, si l'information géoïdale est connue avec une exactitude suffisante, ou bien les levés photogrammétriques sans point d'appui au sol... GPS est à placer en première place parmi les outils du "nouveau topographe".

TABEAU N° 6

Applications possibles du GPS à l'IGN

Type de localisation	Applications possibles	Exemples
Navigation	Positionnement absolu isolé Stéréo-préparation à très faible échelle Obtention rapide d'un réseau de points d'appui pour technique inertielle	Campagne africaine pour la DMA
Navigation différentielle	Stéréo-préparation Réseau de points d'appui pour technique inertielle	
Trajectographie	Base de données routières Trajectographie d'avion pour l'aéro-triangulation	Test d'aérotiangulation
GPS géodésique Mono-fréquence	Géodésie (réfection ou révision) Petits travaux géodésiques ou géophysiques	Belgique (Zottegem), Martinique 88 réseau Provence, réseau Pyrénées
GPS géodésique bifréquence	Géodésie, géophysique (surtout utile pour les grands réseaux)	
GPS géodésique mélangé mono-fréquence bifréquence	Géodésie (réfection ou révision) pour de grands réseaux (en France)	Tunnel/Manche 87
GPS cinématique	Stéréo-préparation à grande échelle Densification de réseau géodésique	
GPS ultra-précis	Réseau géophysique : grandes distances faibles déformations	
Temps fréquences	Synchronisation d'horloges	

Bibliographie

R. Brossier, C. Million, A. Reynes, *Photogrammetric applications of SerCEL GPS TR5S-B receiver at Institut Géographique National-France, ISPRS Congress, Tokyo (Japon), 1988.*

J.-M. Davidson et al, *Demonstration of the fiducial concept using data from the March 1985 GPS field test, Proceedings of the 4th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Austin (USA), mai 1986.*

G. Lachapelle, M. Casey, *Performance du GPS pour la localisation en mer (Experiences Canadiennes), 3^e Colloque Localisation en mer, Reuil Malmaison, septembre 1987.*

H. Landau, *Precise kinematic GPS positioning. Experiences on a land vehicle using TI4100 receivers and software, XIXth IUGG Symposium, Vancouver (Canada), août 1987.*

W. Lewandowski, M. Weiss, D. Davis, *A calibration of GPS equipment at time and frequency standards laboratory in the UA and in Europe, 1987.*

G. Mader, *Dynamic positioning using GPS carrier phase measurements, Manuscripta Geodeticae, vol 11/4, pp. 272-277, 1986.*

G. Nard, R. Gounon, J. Broustal, *Matériels et applications du GPS différentiel de haute précision, hybridation avec d'autres moyens, 3^e Colloque Localisation en mer, Reuil Malmaison, septembre 1987.*

G. Nard, G. Bonin, *Différentes méthodes d'applications du GPS différentiel et résultats d'essai, journées SEE, Section 23, Paris, février 1987.*

B. Remondi, *Performing centimeter level accuracy in seconds with GPS carrier phase : initial results, Proceedings of the 4th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Austin (USA), mai 1986.*

D.-E. Wells et al, *Guide to GPS positioning, Canadian GPS associates, 1986.*

P. Willis, C. Boucher, *Tide gauge connection using GPS, XIXth IUGG Symposium, Vancouver (Canada), août 1987.*

P. Willis, *Application de la technique GPS pour la localisation précise, 3^e Colloque Localisation en mer, Reuil Malmaison, septembre 1987, publié dans la revue Géomètre n° 3, mars 1988.*

Spécifications pour l'équipement géographique du territoire, IGN 1972.