

# Campagne de contrôle des antennes du parc GPS de l'INSU novembre 2002 – janvier 2003

Campagne de mesures :  
Jacques sellier  
Frédéric Pesqueira  
Calculs et rapport :  
Olivier Charade



## **Le contexte :**

Le groupe des utilisateurs du parc, lors de sa réunion annuelle début 2002, avait jugé impératif de relancer à brève échéance une campagne de contrôle de l'ensemble des antennes du parc. Mais, du fait du nombre important d'antennes que possède aujourd'hui notre parc, une immobilisation de l'ensemble du parc sur toute la durée du contrôle (comme cela avait été le cas en 1999) n'était pas envisageable (de plus, le site de Garchy, utilisé en 1999, avait fermé depuis). Seule une solution où chaque série d'antennes était disponible pour les utilisateurs jusqu'au moment de passer le contrôle et immédiatement après était admissible. D'où la nécessité de trouver une implantation accessible quotidiennement depuis l'Institut de Physique du Globe de Paris.

Présent lors de la réunion des utilisateurs, l'IGN avait proposé de regarder si l'un de ses sites franciliens pouvait accueillir le banc de test. Mais la première réponse fut négative.

Via un laboratoire de géophysique de l'Université de Cergy-Pontoise, des contacts ont ensuite été pris avec l'ingénieur de sécurité de l'Université et les différentes implantations ont été visitées. Un

site apparemment adéquat a été choisi sur une terrasse d'un des bâtiments de Neuville (95) et une convention a été signée entre le directeur du département de sismologie de l'IPGP et le président de l'UCP.

Lors de l'implantation du banc début novembre 2002, de fortes précipitations ont inondé la terrasse et nous nous sommes aperçus à cette occasion que son évacuation ne fonctionnait pas de façon satisfaisante. Devant l'impraticabilité du site retenu, une nouvelle démarche « d'urgence » a été effectuée auprès de l'IGN et une solution d'implantation a finalement été trouvée à Saint Mandé.

## **L'implantation :**



Avec l'aide de personnels de l'IGN, le banc a été positionné suivant un axe Nord-Sud (magnétique) et l'horizontalité vérifiée très précisément avec un niveau fourni, comme les supports du banc, par l'IGN. La hauteur d'installation permettait de ne pas être gêné par les multitrajets générés par la rambarde de la terrasse. Une salle située juste sous la terrasse abritait les 10 récepteurs. Les opérateurs pouvaient ainsi récupérer les données dans de bonnes conditions.

Un intérêt supplémentaire de ce site résidait dans la présence sur cette même terrasse de la station de référence SMNE (St Mandé) du RGP, cette dernière permettant de compléter les séries de mesures par une vérification des deux antennes de référence.





## Le banc de test:

Le but du test est de comparer la position réelle à la position mesurée.

Pour ce faire, un banc mécanique avait déjà été réalisé en 1999 par Karim Mahiouz et Bruno Boué de l'Atelier de Mécanique de l'Institut de Physique du Globe de Paris à Saint Maur, sur la demande de Jérôme Ammann pour une campagne d'étalonnage effectuée en 1999 à Garchy.

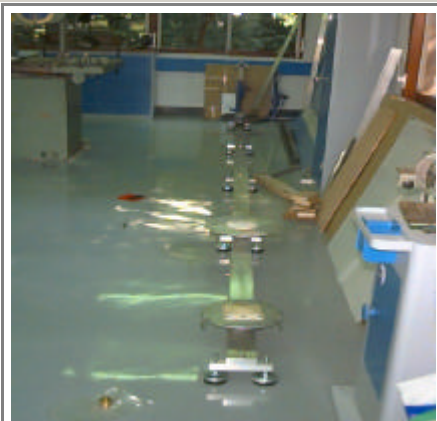


Le profilé est réalisé en dural. L'entre axe d'antennes est de 600 mm +/- 0,1 mm. Le banc est démontable en plusieurs tronçons inférieurs à 1 mètre, ce qui le rend transportable.

Des pieds de hauteur réglable permettent de rétablir l'horizontalité du banc sur un sol grossièrement de niveau.



Banc équipé de différents types d'antennes à tester



Les pieds ajustables permettent de contrôler l'assiette du banc

Cependant, dans notre configuration, ces pieds réglables étaient inutiles et n'ont pas été montés.

Cette deuxième campagne de contrôle des antennes du parc montre bien l'intérêt du concept d'un banc de test démontable proposé en 1999 par Christophe Vigny et Jérôme Ammann, puisque à presque quatre années d'intervalle nous sommes en mesure de faire subir le même protocole de test à l'ensemble des antennes en dépit de la fermeture du premier site. Cet avantage compense à notre avis largement le problème de jeu mécanique inhérent à toute structure démontable.

## **La méthode :**

Les deux antennes d'extrémité du banc constituent les références pour la mesure de toutes les autres et ne changent jamais pendant la campagne. Cela signifie que sur ce banc à dix emplacements, on teste simultanément huit antennes, ce groupe constituant ce que par la suite nous appellerons une série.

Une série doit enregistrer au minimum une journée entière de 00:00 à 23:59:30 (la période d'échantillonnage est de 30 secondes). Les changements de série s'effectuant les jours ouvrables, certaines séries lancées le vendredi bénéficient de deux jours pleins de données. Certaines demies journées de mesures ont été calculées pour corroborer les résultats des journées pleines. Dans le cadre d'une procédure automatique, il n'était en revanche pas envisageable facilement de traiter intégralement une journée commune à deux séries, pour une question de nom de site et de session identique entre les deux séries.

Les données, récupérées sur site avec deux ordinateurs portables puis rassemblées sur un « stylo » USB (120Mo) sont traduites du format constructeur en RINEX par QC2000 sur un ordinateur de bureau à l'IPGP. L'organisation du réseau local fournit une passerelle toute trouvée entre les mondes Windows et Unix, et les fichiers RINEX sont immédiatement disponibles pour un calcul avec gamit (version 10.06).

Contrairement à ce qui avait été fait en 1999, le nom de site rentré dans chaque récepteur n'est pas un abrégé du nom de l'antenne (par exemple, la Geodetic 700228A0800 devenait le site G800) mais sa position sur le banc : IG01, IG02,...,IG10.

Cela impose un suivi méticuleux des différentes séries pour retrouver à quelle antenne correspond un nom de site en fonction du jour. En revanche, cela permet d'écrire plus facilement des procédures d'extraction des résultats indépendantes de la série considérée.

## **La campagne :**

De façon à répondre au rappel des antennes ChokeRing grises lancé par Ashtech en début d'année 2002, il a été décidé de commencer par elles pour pouvoir, après leur passage sur le banc de test, les faire modifier par Ashtech puis, si les délais le permettaient, les passer à nouveau sur le banc de test dans leur nouvelle version avant leur départ en mission.

De ce fait, il fallait choisir, pour antennes de référence, des antennes ChokeRing dorées les plus récentes possible pour éviter d'éventuels défauts de mesures dus à des mauvais traitements en mission.

Le choix fut assez rapide puisqu'à la date du début de campagne seules trois antennes de type doré étaient présentes à Paris. Deux d'entre elles étaient d'anciennes antennes grises déjà modifiées par Ashtech. L'une des deux avait été dotée par erreur d'un corps mécanique doré dont le pas de vis était supérieur au standard, et possédait depuis un insert faisant office de réducteur de pas de vis. Nous avons préféré éviter de prendre cette antenne pour référence.

Lors du début de la campagne les calculs ont mis un peu de temps à se mettre en place et ce n'est que pendant la troisième série que l'on s'est rendu compte que l'un des récepteurs était configuré avec une période d'acquisition de 20 secondes, ce qui perturbait les calculs. Cela explique que les résultats qui seront présentés par la suite commencent à la série 4.

La géométrie des antennes marines a imposé de les surélever par rapport au banc de test, ce qui a été fait avec des adaptateurs initialement prévus pour les sacs et cannes cinématiques. De même pour l'antenne Leica de l'IGN.

Le fichier station.info est donné en annexe.

	série 4	Série 5	Série 6	Série 7
Position	326 - 329	329 - 331	331 - 333	333 - 336
IG01	700936 E 15911	700936 E 15911	700936 E 15911	700936 E 15911
IG02	700936 E 15920 (grise)	700936 E 16687 (grise)	(G2) 700228 D 2368	701945-02 C 620015105
IG03	700936 E 15905 (grise)	700936 E 16689 (grise)	(G2) 700228 D 2410	701945-02 C 620015106
IG04	700936 E 16474 (grise)	700936 E 15912 (grise)	(G2) 700228 A 0622	701945-01 B 519993104
IG05	700936 E 17034 (grise)	700936 E 15865 (grise)	(G2) 700228 B 1176	701945-01 C 519995010
IG06	700936 E 15909 (grise)	700936 E 15917 (grise)	(G1) 700138 A 0529	701945-02 C 620015101
IG07	700936 E 16472 (grise)	701945-01C 520003503 (dorée)	(G4) 701975-01(B)7028	701945-02 C 620010701
IG08	700936 E 16686 (grise)	700936 E 15908 (dorée)	(G2) 700228 D 1850	701945-01 C 520003502
IG09	700936 E 15916 (grise)	(G4) 7011975-01(B)7063	(G4) 701975-01(A)6255	(MA) 700700 (B) MA14376
IG10	701945-02 C 620003201	701945-02 C 620003201	701945-02 C 620003201	701945-02 C 620003201

	Série 8	Série 9	Série 10	Série 11
Position	336 - 338	340 - 343	347 - 350	350 - 352
IG01	700936 E 15911	700936 E 15911	700936 E 15911	700936 E 15911
IG02	(G4) 701975-01(A)6278	Leica 6330	700936 E 17034	700936 E 15917
IG03	(G4) 701975-01(B)7019	(CR) 701073.3CRG 1998380106	700936 E 16686	700936 E 15865
IG04	(G2) 700228 A 0645	(G3) 701008-01BGC19916	700936 E 15905	700936 E 16689
IG05	(G2) 700228 A 0800	(CR) 700936 E 16474	700936 E 15920	700936 E 15916
IG06		(G2) 700228 C 1518	700936 E15909	
IG07	(G3)700718 B 11706	(G3) 701008-01AGC16915	700936 E 16472	
IG08	(G3) 700718 B 11708	(G3) 701008-01BGC16921	700936 E 15912	
IG09	(MA) 700700 (B) MA14377	(G3) 701008-01BGC16914	700936 E 16687	
IG10	701945-02 C 620003201	701945-02 C 620003201	701945-02 C 620003201	701945-02 C 620003201

## Les calculs :

Nous ne nous intéressons qu'aux lignes de base et non aux positions absolues des antennes.

De ce fait nous avons laissé les coordonnées entièrement libres (un essai avec une antenne de référence fortement contrainte nous a donné le même résultat au 1/10mm près sur toutes les lignes de bases).

Nous n'avons pas utilisé de station extérieure et nous n'avons estimé ni les orbites, ni les paramètres de rotation de la terre, ni la troposphère (fichier sestbl. en annexe).

L'idée initiale était de calculer les positions en L1, puis en L2, pour vérifier que nos antennes correspondaient bien aux modèles d'antennes utilisés par gamit à partir des résultats d'étalonnage de la NGS<sup>1</sup>. Ensuite, un calcul basé sur la combinaison LC devait donner l'éventuel décalage que les utilisateurs devraient appliquer dans leur campagne, puisque c'est avec cette combinaison qu'ils effectuent leur calcul.

Cependant, sur d'aussi courtes lignes de base, cette combinaison génère beaucoup de bruit et l'aspect graphique des résultats en LC est parfois tellement différent de celui d'un calcul en L1 ou en L2 que nous avons préféré compléter nos calculs par un calcul L1 ET L2 simultanément.

A noter un problème dans gamit qui tendrait à prouver que plus personne ne fait de calculs «mono fréquence». Effectivement, le programme solve se termine systématiquement avec une division par zéro. R.King nous a confirmé que cela était sans incidence sur les résultats des calculs. Malheureusement, cela nous oblige à faire toute la fin du calcul «à la main» (l'ensemble du fichier b\*.bat) puisque cette erreur provoque la sortie immédiate de tous les scripts.

<sup>1</sup> National Geodetic Survey

## L'extraction des données :

Les lignes de base telles que fournies par gamit dans ses fichiers ne sont pas interprétables directement. Pour visualiser clairement les écarts entre la position réelle et la position mesurée, une procédure a été écrite qui :

- extrait toutes les lignes de base données en Nord, Est et Up à partir de l'antenne la plus au Sud.
- effectue une première rotation dans le plan horizontal de façon à avoir un  $\theta$  Est entre les deux antennes de référence nul.
- effectue une seconde rotation dans le plan vertical de façon à avoir un  $\theta$  Up entre les deux antennes de référence nul.
- retranche de l'axe IG01-IG10 la distance réelle de chaque antenne (60 cm pour IG02, 120 cm pour IG03, etc.)
- stocke ces nouvelles valeurs avec les sigma d'origine dans un fichier unique qui regroupera toutes ces extractions.

L'antenne idéale devrait donc avoir, à l'issue de ce traitement, ses trois composantes nulles.

Une seconde procédure se charge de récupérer dans ce fichier toutes les données concernant une même journée et dessine sur une seule feuille l'ensemble des résultats pour chacun des quatre types de calcul, y compris les barres d'erreur sur chaque composante. Plutôt qu'ajuster les échelles en fonction des valeurs maximales rencontrées, il a été choisi, pour éviter que des antennes vraiment mauvaises ne distordent les échelles au point de ne plus distinguer ce qui se passe pour les bonnes antennes, de fixer ces valeurs et de surligner en orange dans les tableaux de coordonnées celles se situant à l'extérieur de la zone représentée.

Un calcul de valeur moyenne et d'écart type est également effectué de façon à rajouter, pour les points contenus dans le graphique mais « trop » éloignés des autres suivant au moins une coordonnée, le nom abrégé de l'antenne. Même si ce critère ne donne pas toujours le résultat optimal, cela évite de surcharger le graphique avec l'ensemble des noms des antennes alors que l'intérêt se porte plutôt sur celles qui se distinguent des autres.

Cette première série de graphiques donne une dispersion sur l'axe Est supérieure à ce à quoi nous nous serions attendus. En comparant les séries entre elles au niveau des valeurs, il nous a semblé déceler un biais systématique d'environ 5mm vers l'Est des positions IG06, IG07, IG08 et IG09. La structure segmentée du banc et le jeu inhérent à tout montage mécanique pouvant donner ce genre de biais, une seconde façon de représenter les données a été développée : nous avons choisi de représenter cette fois les séries temporelles pour une position donnée, quelque soit l'antenne utilisée. La représentation graphique fournit alors, par coordonnée et par type de calcul, l'évolution au cours de la campagne de chacune des positions du banc. Une boucle calcule la valeur moyenne et l'écart type de la série, puis recommence en éliminant les points à plus de deux fois l'écart type, jusqu'à stabilisation des valeurs. Une ligne pointillée représente cette moyenne et sa valeur est donnée avec son écart type dans le coin supérieur droit du graphique. La position la plus au Sud est représentée en bas de la page (IG09) et la plus au Nord en haut (IG01).

Nous constatons effectivement un décalage systématique notable en Est des positions en question. Les calculs en L1 et ceux en L2 sont en accord à mieux qu'un millimètre. Dans la mesure où ce décalage nous semble refléter une réalité et constitue, en fin de compte, un étalonnage du banc de test, nous avons décidé de le retrancher des valeurs extraites des calculs gamit et de refaire une présentation par jour de campagne des écarts ainsi obtenus.

Si l'on considère que des décalages de l'ordre du millimètre ne sont pas significatifs, seule la composante Est est concernée. Mais il nous a paru plus logique de reporter systématiquement les décalages calculés pour chaque composante dans chaque type de calcul plutôt que de laisser cela à l'humeur de l'analyste.

## **Les résultats :**

Le calcul en L1 et celui en L2 font bien ressortir les antennes à problème, mais nous hésitons à dire que le résultat du calcul dans la condition LC\_HELP de gamit permette de quantifier les corrections que les utilisateurs de ces antennes doivent introduire dans leurs campagnes de mesures.

Nous pensons que les utilisateurs intéressés devraient reprendre nos fichiers de données et lancer des calculs gamit avec des stations de référence situées à des distances correspondant à la taille de leurs réseaux de campagne. Les écarts entre les antennes du banc pourraient alors représenter des valeurs utilisables pour corriger les mesures de ces antennes.

Les antennes ChokeRing présentent toutes (à part la 700936E17034) un très faible écart entre position mesurée et calculée. La valeur limite d'un décalage acceptable de +/-3mm dans le plan horizontal et +/-1cm en vertical est largement au-dessus de ce que donne nos antennes. On peut noter sur une même série d'antenne certains jours où le « nuage » de points est légèrement plus dispersé (jours 349 et 350).

Le cas de la 700936E17034 est tout à fait intéressant pour valider notre procédure de contrôle. Tout d'abord, les calculs ont été effectués sur des antennes « anonymes » et ce n'est qu'en découvrant ce point très excentré que nous avons cherché qui était l'antenne IG05 les jours 326 à 328, puis l'antenne IG02 les jours 347 à 349. De plus, les écarts entre la version grise et la version dorée de cette antenne sont trop proches pour qu'il s'agisse d'un hasard. Le capteur de cette antenne a un vrai problème !

La présence d'un insert dans le pas de vis de l'antenne 700936E15908 n'entraîne aucune modification observable de la position du centre de phase.

Les antennes Geodetic IV, dont beaucoup voudraient pouvoir se servir à la place des antennes ChokeRing, présentent effectivement de très bons résultats dans le plan horizontal. Même le vertical est très correct tant qu'on ne regarde pas le calcul en LC (qui lui est carrément « en dehors de l'épure »); mais encore une fois, nous ne savons pas si ce calcul fournit des résultats pertinents sur ces très courtes lignes de base.

Nos « vieilles » Geodetic présentent des résultats variables. Mis à part sur le vertical où le résultat est de toutes façons médiocre, celles de la série 6 comme de la série 8 ont un comportement correct sauf pour la composante Nord en L2 (l'écart reste cependant inférieur à 1cm, ce que nous considérons comme admissible avant de voir les excellents résultats des antennes ChokeRing).

La Geodetic 700228C1518 de l'IGN a un problème en Up sur L1 et en Nord sur L2 (en plus d'un niveau de bruit supérieur à ses consœurs) ce qui provoque un écart général sur la combinaison L1/L2.

## **Le contrôle des antennes de référence :**

A l'issue de la campagne de mesures, la majorité des équipements du parc est parti en mission. Il nous restait toutefois de quoi maintenir les deux antennes de référence sur le site de Saint Mandé. Nous avons alors effectué une expérience de contrôle en tournant ces deux antennes de 180° dans le plan horizontal. Pour ne pas immobiliser trop longtemps le matériel, nous n'avons acquis des données que sur une semaine en janvier 2003.

Les calculs gamit ont été refaits pour la période 2002 en ne prenant en compte que les antennes de référence, mais en y ajoutant les données de la station permanente SMNE du RGP, située à quelques mètres de notre banc.

L'idée était d'utiliser SMNE comme point de référence pour comparer les variations dans le plan horizontal

des lignes de base la joignant aux antennes de référence du banc, en configuration normale d'une part, et en configuration à 180° d'autre part. Pour ce faire, une variante du programme d'extraction et un nouveau programme de représentation graphique ont été écrits.

Les composantes des lignes de base sont comparées directement telles qu'elles apparaissent dans les fichiers o de gamit sans aucune transformation géométrique préalable. Les graphiques sont centrés sur la valeur moyenne de la ligne de base sur l'ensemble des jours de calcul. Les points correspondant à la configuration normale sont représentés par des losanges bleus (avec leurs barres d'erreur), ceux correspondant à la configuration à 180° par des carrés bleus. Leur moyenne est représentée par un symbole identique de couleur verte.

On constate que l'antenne la plus récente (701945-02 C 620003201) affiche des résultats tout à fait satisfaisants, mais que l'antenne 700936 E 15911, malgré son corps mécanique tout neuf, présente des décalages non négligeables de son centre de phase dans le plan horizontal. Toutefois, la correction appliquée systématiquement sur chaque position du banc d'après l'observation des séries temporelles a contrebalancé ce biais en Est. En effet, si la rotation dans le plan horizontal faite pour annuler le décalage Est sur la ligne de base entre les antennes de référence n'a pas amené la position mécanique sur l'axe Nord-Sud, le biais systématique constaté sur les séries temporelles prenait en compte non seulement le jeu mécanique du banc, mais également la petite partie de la rotation due à ce décalage du centre de phase de l'antenne en IG01.

Par chance, l'antenne IG01 étant au Nord, les écarts de la composante Nord ont été calculés par rapport à l'antenne IG10 située au Sud. Pendant le déroulement de la campagne, nous effectuons un calcul de contrôle en LC avec des orbites rapides pour chaque jour de données qui nous arrivait et nous avons été très surpris de constater un écart de 1 cm sur toutes les lignes de base entre les jours 348 et 349 alors qu'il s'agissait d'une seule et même série d'antennes. L'explication était que notre premier programme d'analyse des résultats prenait IG01 comme pivot et que cette antenne présente une différence de 1 cm sur sa composante Nord entre ces deux jours (visible sur les séries temporelles en ? N et ? L).

Nous n'avons aucun moyen d'estimer le décalage vers le haut du centre de phase des antennes de référence, mais là encore la prise en compte des biais systématiques sur les séries temporelles compense cet éventuel problème.

Finalement, si l'on admet qu'il y a plus d'antennes correctes que de mauvaises, l'observation des séries temporelles par position sur le banc de test permet une sorte d'auto-étalonnage des positions mécaniques sur ce banc.

## **Conclusions :**

Tout d'abord, malgré les contraintes de planning du parc qui nous ont fait traiter les problèmes à l'envers (contrôle des antennes de référence après la campagne de mesures et non avant), nous obtenons des mesures dont nous arrivons à tirer des informations intéressantes pour un coût d'infrastructure minimal (en revanche l'équipe technique n'a pas compté son temps).

Ensuite, si cela démontre l'intérêt d'un banc de test démontable que l'on peut implanter n'importe où, il serait intéressant de l'implanter de façon plus pérenne à côté de la station SMNE. Une fois le banc mécaniquement stable, nous pourrions prendre le temps de mesurer chaque position précisément par GPS (en relatif à SMNE). Ensuite, il serait envisageable de contrôler des antennes selon les besoins sans mobiliser tout le parc ou augmenter trop fortement la charge de travail de l'équipe. Cependant, même si la position relative de chaque point du banc par rapport à SMNE devrait suffire à contrôler les mesures d'une antenne, nous recommandons de toujours travailler avec deux antennes d'extrémité en plus de l'antenne à tester. Cela constituerait un double test qui éviterait tout doute sur la mesure.

Encore une fois cette opération a montré à quel point la coopération que nous entretenons avec l'IGN est précieuse pour le bon fonctionnement du parc.