

GÉOBASE

UNE BASE GÉODÉSIQUE DE TRÈS HAUTE PRÉCISION

*J. Agria-Torres, J. Pinto (IGC, Lisbonne)
M. Mayoud (CERN, Genève)*

1. INTRODUCTION

Au début des années soixante, une base d'étalonnage de 18 km fut créée et mesurée au fil d'invar au Nord du Portugal. A cette même époque, une base de 480 m, destinée à l'étalonnage des fils d'invar de 24 m, fut également construite et mesurée avec l'interféromètre de Väisälä.

L'échelle du nouveau réseau de triangulation de premier ordre fut déterminée dans un premier temps par extension de la base géodésique et, ensuite, par des mesures au distancemètre (AGA 6, 6A). L'étalonnage des appareils s'effectuait sur la base d'étalonnage.

En tant que nouvel Etat-Membre du Laboratoire Européen pour la Physique des Particules (CERN), le Portugal a pu bénéficier de ressources financières non négligeables, dont une partie fut mise à la disposition de la communauté technique et scientifique portugaise sous forme de subventions à des projets soumis à concours.

Le Comité Portugal - CERN alloua une petite somme aux responsables des projets retenus, qui permit d'établir, dès 1988, les premiers contacts avec le Groupe de Géodésie Appliquée du CERN.

Au cours des discussions sur les hypothèses de collaboration entre le Groupe de Géodésie Appliquée et le Département de Géodésie de l'Institut Géographique et Cadastral du Portugal (IGC), la nécessité de doter le Portugal d'une base géodésique de haute précision s'imposa rapidement.

A la suite de ces premières conversations, il fut décidé de remesurer la base géodésique existante au Terramètre, ce qui permettait de déterminer directement la mise à l'échelle et, par conséquent, celle des mesures AGA et du réseau. On obtenait également un étalon pour les futures mesures GPS et pour tous les distancemètres en général, et cela constituait peut-être l'aspect le plus important de l'opération.

Une multitude d'autres applications pouvaient aussi être envisagées pour une base mesurée au Terramètre et dotée des caractéristiques détaillées plus loin : études de modèles de correction atmosphérique pour EDM, modèles de longues visées pour le nivellement de précision, modèles pour le nivellement trigo-

nométrique, étalonnage de caméras aériennes, études du géoïde, contrôle géodynamique local, etc.

Le site prévu initialement pour cette base Terramètre, qui coïncidait avec l'ancienne base invar située au Nord du Portugal, fut changé du fait de problèmes d'ordre logistique et économique difficilement surmontables. La figure 1 montre l'emplacement des différentes bases, dont celle choisie, sur fond du réseau de triangulation.

2. CARACTERISTIQUES DE LA GEOBASE

L'emplacement de la GEOBASE, puisque tel fut le nom donné à ce projet subventionné, fut sélectionné en fonction des critères suivants :

1. Possibilité d'intervisibilité de cinq à six piliers dont les distances varieraient entre 1 et 15 km ;

2. Orientation dans la direction Nord-Sud, facilitant ainsi les mesures EDM sans être gêné par le soleil ;

3. Situation dans une zone géologiquement stable ;

4. Possibilité d'effectuer des déplacements entre deux piliers quelconques dans un minimum de temps. Pour satisfaire ce point, quelques chemins ont dû être rénovés ou construits ;

5. Situation la plus éloignée possible de la mer, pour éviter son influence ;

6. Proximité de Lisbonne (siège de l'IGC) à moins de deux heures, afin d'éviter de devoir y séjourner pour des travaux courts ;

7. Accord des propriétaires et des riverains afin de garantir une bonne conservation des piliers de la base.

Pendant environ deux semaines, une équipe de topographes visita une douzaine d'emplacements possibles, préalablement choisis. Finalement, un peu par chance puisqu'il n'avait pas été sélectionné, un site où tous les critères énumérés ci-dessus étaient satisfaits fut découvert à Estremoz, localité située dans le centre-sud du pays, près de la frontière espagnole. Le profil de cette ligne de base est représenté en figure 2.

PERFIL DA GEOBASE

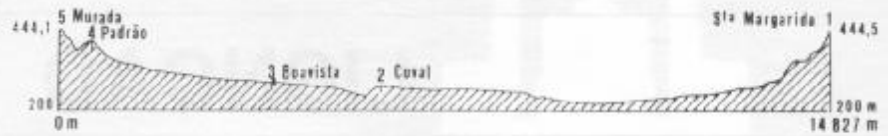


Figure 2

3. CONSTRUCTION DE LA BASE

Une fois l'emplacement trouvé, il fut procédé au choix des points et au piquetage pour la construction des piliers. Après quelques essais, la configuration adoptée comportait cinq points parfaitement alignés et intervisibles dont les distances variaient de 670 à 14 827 m

Le point critique de cette opération fut l'alignement des cinq points à des kilomètres de distance les uns des autres. Du fait d'erreurs d'observation cumulées à des imprécisions de construction, on ne put obtenir un alignement parfait. Bien sûr, on aurait pu tout refaire, mais les délais et les coûts pressaient, et, quoi qu'il en soit, il pouvait toujours être tenu compte de cette erreur d'alignement. La figure 3 montre l'alignement final obtenu dans un plan cartographique par rapport à la droite de régression définie par les cinq points.

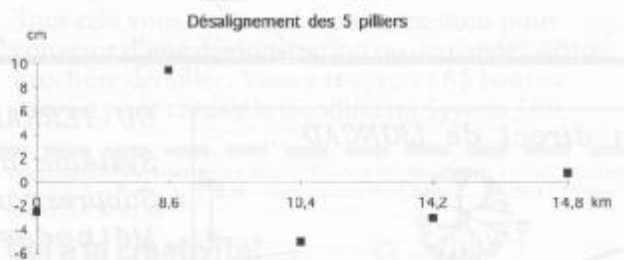


Figure 3

Les piliers furent solidement construits. Le noyau, en béton armé (avec du fer), fut porté jusqu'à la roche ferme, et enveloppé avec un isolant thermique. La couche extérieure est en feuille de fer galvanisé. Une plateforme entourant le pilier, mais sans contact avec celui-ci, empêche que les vibrations provoquées par l'opérateur ne se propagent aux instruments. Tous les piliers furent dotés d'un dispositif de centrage forcé au standard CERN. Pour protéger ce système, des couvercles métalliques pouvant se fermer à clé les recouvrent (Figures 4 et 5).

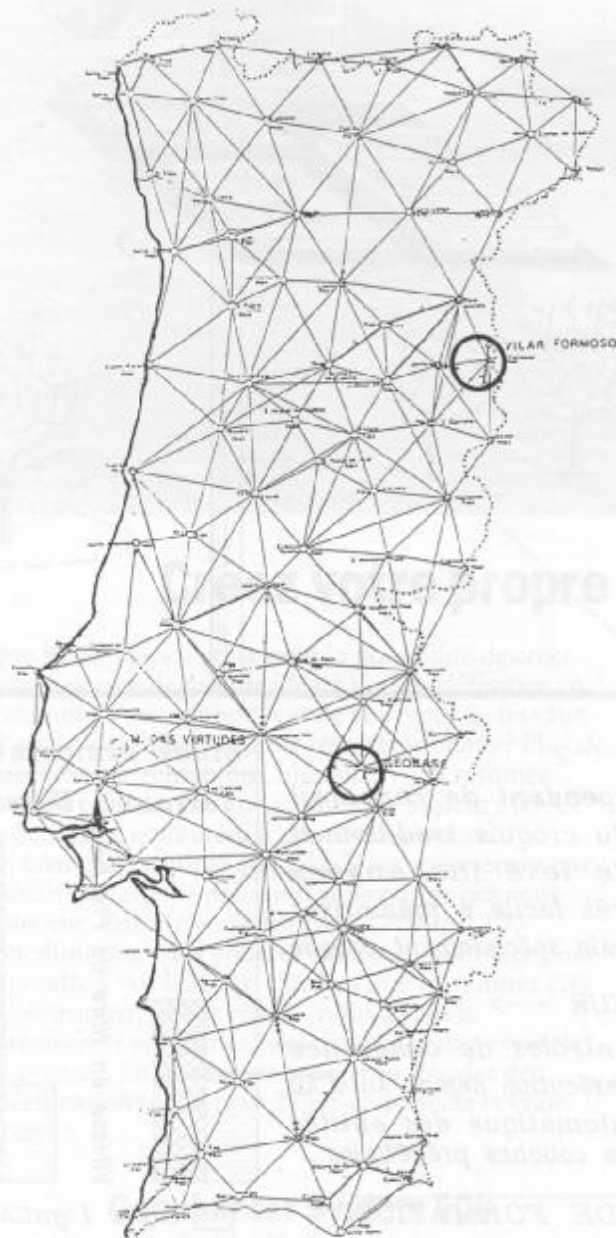


Figure 1



Figure 4



Figure 5

4. MESURES AUXILIAIRES ET COMPLEMENTAIRES

Tout d'abord, pour assurer le contrôle de stabilité de chaque pilier, des mesures clinométriques ont été - et seront régulièrement - effectuées. En outre, pour certains piliers, des points scellés au sol permettent un suivi des mouvements éventuels - par relèvement angulaire du point de station.

Juste avant l'arrivée du Terramètre, toutes les distances ont été mesurées au DI 3000, à 5 cm près. Cette opération était nécessaire puisque le Terramètre - conçu pour la géophysique - ne mesure que les appoints, contrairement aux distancemètres géodésiques. Les premières dénivelées, approximatives, furent issues de mesures zénithales afin de permettre rapidement la réduction et compensation des observations au Terramètre. Ces valeurs provisoires étaient jugées suffisantes pour apprécier la validité des mesures.

Durant le printemps et l'été 1990, un nivellement géométrique liant tous les piliers au réseau national fut exécuté. Ce nivellement de presque 40 km a été entrepris par deux équipes effectuant un nivellement et un contre-nivellement pour chaque tronçon. Les Zeiss Ni 002 utilisés fournirent des écarts-types inférieurs à $1,4 \cdot (\text{Skm})^{1/2} \text{ mm}$. Plus tard, la valeur de g des piliers fut également mesurée avec des gravimètres relatifs Lacoste & Romberg. Ensuite, les points de la base furent reliés au réseau de triangulation national, ce qui permet de calculer les coordonnées de ces points. Il est envisagé, dans un futur proche, d'avoir recours à l'astrométrie géodésique sur les deux extrémités et le point central afin d'obtenir les déviations de la verticale et de préciser notre connaissance locale du Géoïde. Pour l'instant, une même séparation à l'ellipsoïde est supposée en tous les points, d'environ 0.50 m. Des différences progressives de l'ordre de quelques centimètres sur cette valeur n'auront aucun effet significatif sur les longueurs calculées de la base.

5. MESURES AU TERRAMETRE ET TRAITEMENT DES OBSERVATIONS

Sans revenir ici sur les principes et la description de l'instrument (cf. articles de Jean Gervaise), rappelons seulement que ce distancemètre exceptionnel utilise deux lasers modulés à 3 GHz. Il intègre, de ce fait, l'essentiel des variations d'indice de l'air sur l'ensemble de la longueur à déterminer par mesure du décalage retour des chemins optiques entre les deux porteuses He-Ne et He-Cd, éliminant ainsi l'influence des variations de température et de pression. La mesure des fréquences est pilotée par un oscillateur au rubidium qui recherche alternativement l'annulation des phases sur le retour de signal dans le bleu et dans le rouge,

forçant ainsi chaque détermination à un nombre entier de longueurs d'onde. La précision réelle de cet instrument est, en écart-type, de 10-7 - soit 1mm à 10 km - avec une portée maximum de 15 km, en raison de la dispersion atmosphérique de la lumière bleue du laser He-Cd.

Pour cette détermination précise, on a utilisé un schéma de combinaison des distances qui garantissait recouvrement et redondance, tout en observant, de surcroît, la réciproque de quelques côtés. Les travaux de terrain ne durèrent qu'une semaine, voyages inclus, et eurent lieu du 21 au 28 novembre 1988¹ avec des conditions météorologiques excellentes.

Piliers	Hauteur	P2	P3	P4	P5
P1	444,545	8 650,746 2	10 393,546 3	14 179,835 9	14 826,786 8
P2	286,299		1 743,108 7	5 531,748 4	6 179,323 1
P3	291,779			3 789,102 7	4 436,804 8
P4	410,839				647,808 7
P5	444,129				

Un seul technicien est venu du CERN pour manipuler le Terramètre, et il fut assisté par un des responsables portugais et deux géomètres-topographes de l'IGC. Du fait de la petitesse des côtés P4-P5 (~ 670 m) et P2-P3 (~1400 m), un Mekometer 5000 fut également employé pour la mesure de ces côtés. Les deux instruments furent étalonnés au CERN avant et après cette opération. Le tableau suivant donne les distances spatiales et les hauteurs des piliers (en m) mesurées sur la Géobase et compensées au CERN avec le logiciel LGC (Logiciel Général de Compensation), qui traite l'ensemble des données dans un système tridimensionnel local en tenant compte des ondulations du géoïde si elles sont connues.

La visibilité est plutôt exceptionnelle dans cette région, aucune ville ou industrie ne venant altérer la transparence atmosphérique. Cela aura permis de faire passer sans problème la mesure de 15 km et d'obtenir des précisions remarquables sur l'ensemble des observations. L'écart-type moyen après compensation ressort à **s = 1.15 mm** seulement, ce qui témoigne de l'excellence des conditions de mesure.

6. AUTRES MESURES REALISEES

Outre les mesures complémentaires de la base, celle-ci a déjà été utilisée pour parfaire quelques tests dans le domaine du GPS, des EDM et du nivellement trigonométrique.

En juin 1990, une campagne GPS fut réalisée pour la Péninsule Ibérique, conjointement avec l'IGN espagnol et nos collègues portugais de l'IICT², utilisant trois récepteurs Trimble SLD (deux fréquences) et un récepteur mono-fréquence Trimble ST.

Cette campagne avait deux objectifs : densification du réseau EUREF et liaison des piliers de la GEOBASE. Dans une première phase, on a lié les deux extrémités (P1 ; P5) au réseau de densification (L1/L2).

La phase suivante consistait à effectuer des mesures entre tous les piliers, selon un schéma résumé par le tableau ci-dessous :

Jour	Pilier 1	Pilier 2	Pilier 3	Pilier 4	Pilier 5
156	SLD 2	ST			
157			ST		SLD 2
158			ST		SLD 2
159	ST				SLD 2
160	SLD 1			ST	SLD 2
161	SLD 1			ST	SLD 2

¹ On a eu beaucoup de chance d'avoir du beau temps durant cette semaine, car il pleuvait sans cesse depuis quinze jours et la pluie a recommencé dès les mesures terminées. Les prévisions des services mété-

orologiques du Portugal se sont avérées remarquables et justifient notre reconnaissance.

² IICT : Institut d'Investigation Scientifique et Tropicale.

Durant une session d'une heure et demie, les résultats obtenus furent les suivants :

DISTANCES GPS TRIMBLE L1 CALCULÉES AVEC TRIMVEC											
Distances GPS, différences en mm et en ppm pour Terra											
Côté	Mesure Terra.	Jour	Triple(2)	(2) - (1)		Float (3)	(3) - (1)		Fix (4)	(4) - (1)	
				mm	ppm		mm	ppm		mm	ppm
1-2	8 650,746	156	-	-	-	,731	-45	-1,7	,709	-37	-4,3
1-4	14 179,836	160	,789	-47	-3,2	,817	-19	-1.3	,816	-20	-1,3
		161	,798	-38	-2,7	,840	6	0.4	,806	-30	-2,1
1-5	14 826,787	159	,735	-53	-3,6	,765	-22	-1,6	,758	-30	-2,0
		160	,762	-26	-1,8	,788	0	0	,767	-21	-1,4
		161	,773	-15	-1,0	,761	-26	-1,8	,756	-32	-2,2
5-3	4 436,805	157	,826	21	4,8	,797	-8	-1,8	,793	-12	-2,7
		158	,810	5	1,1	,797	-8	-1,8	,798	-7	-1,6
5-4	647,809	160	,814	5	7,7	,804	-5	-7,7	,804	-5	-7,7
		161	,797	-12	-18,5	,795	-14	-21,5	,799	-10	-15,4
TRIMBLE L1/L2											
1-2	14 826,787	160	,737	-50	-3,4	-	-	-	,781	-6	-0,4
		161	,742	-45	-3,0	-	-	-	,779	-8	-0,5

Le bénéfice d'une mesure bi-fréquence est évident et se passe de commentaire. Si d'excellents résultats avait été obtenus - dès 1985 - sur le réseau Terramètre du CERN avec des récepteurs monofréquence (différence moyenne quadratique d'environ 4 mm), cela était au prix d'une connaissance des éphémérides précises communiquées exceptionnellement par le DoD et d'un lissage des arcs d'orbite, effectué par G.Beutler et W.Gurtner à l'Institut Astronomique de l'Université de Berne.

En Janvier 1991, la plus longue distance P1-P5 fut remesurée avec deux Ashtech LDXII dans le but de comparer les résultats d'après les différents logiciels disponibles : Trimvec, GPPS, Topas. Le tableau suivant montre les résultats obtenus avec L1/L2 en une heure et demie d'observation.

Les valeurs données par Topas ne sont pas données du fait de problèmes rencontrés dans ce calcul.

Date	Récepteur	Logiciel	Distance	GPS-Terramètre	
				mm	ppm
9.6.1990	Trimble 4000 SLD	Trimvec	14 826,781	-6	-0,4
10 6.1990	Trimble 4000 SLD	Trimvec	,779	-8	-0,5
22.1.1991	Ashtech LDXII	Topas	-	-	-
22.1.1991	Ashtech LDXII	Trimvec	,771	-17	-1,1
22.1.1991	Ashtech LDXII	GPPS	,769	-19	-1,2

Outre ces campagnes GPS, la base fut également utilisée pour tester des EDM. Un problème concernant un éventuel facteur d'échelle des Sokkisha Set4A fut ainsi résolu.

Une comparaison simultanée entre un ME 5000 et un GEOMENSOR 234 a également été effectuée sur la base en Mai/Juin 1991.

Ce test, dont la première partie a été réalisée sur la base Väisälä, a montré une très bonne performance du ME 5000 sur les courtes distances ($s < 0,2$ mm, pour $d < 700$ m). Le GEOMENSOR 234 démontre, par contre, une meilleure performance dans les moyennes distances que dans les courtes (voir tableau ci-dessous) :

Côté	Terramètre (A)	Geomensor 234 (B)	(B)-(A) en mm	Mekometre 5000 (C)	(C)-(A) en mm
4-5	647,808 7	647,809 7	1,0	647,809 3	0,6
2-3	1 743,108 7	1 743,106 6	-2,1	1 743,110 2	1,5
		1 743,106 9	-1,8	1743,108 6	-0,1
3-4	3 789,102 7	1 789,104 3	1,6	3 789,106 7	4,0
3-5	4 436,804 8	4 436,800 7	-4,1	4 436,807 3	2,5
2-4	5 531,748 4	5 531,740 5	-7,9	5 531,743 2	-5,2
		5 531,753 4	5,0	5 531,749 9	1,5
2-5	6 179,323 1	6 179,315 4	7,7	6 179,311 2	-11,9
		6 179,320 5	-2,6	6 179,329 6	6,5

En Octobre 1991, des mesures de distances zénitales réciproques et simultanées furent réalisées pendant deux jours, en prenant également la distance entre les piliers 1-5 et 2-5.

L'objectif était d'évaluer une nouvelle méthode de détermination d'une dénivelée trigonométrique en utilisant l'altération de la mesure de distance entre les deux points comme moyen d'investigation de la loi de réfraction locale.

Les résultats, bien qu'encourageants, ne furent pas totalement concluants, du fait d'une forte dérive de la fréquence du distancemètre employé (DI 3000).

Cependant, la même méthode donna d'excellents résultats lors d'une petite expérience faite un peu plus tard au CERN avec un ME5000. Ces observations seront répétées sur la géobase avec un Geomensor 234.

7. CONCLUSION

L'implantation d'une telle base géodésique a eu un gros impact sur les Services de Géodésie de l'Institut Géographique et Cadastral du Portugal.

Grâce à la précision remarquable avec laquelle les mesures Terramètre ont été effectuées, cette base est un moyen extrêmement fiable pour les opérations d'étalonnage, les tests instrumentaux et méthodologiques.

Il est envisagé, dans un avenir proche, de doter cette base de quelques piliers supplémentaires afin de former un petit réseau de haute précision qui permettrait également l'étalonnage d'équipements de mesure angulaire et de caméras aériennes, tout ceci dans le cadre de la collaboration avec le Groupe de Géodésie Appliquée du CERN.