

CALCUL DES HAUTEURS ORTHOMETRIQUES A PARTIR DES OBSERVATIONS GPS : CAS D'ETUDE : NORD DE L'ALGERIE

Par *BEN AHMED DAHO Sid Ahmed*

Centre National des Techniques Spatiales / Division de Géodésie,
BP 13 - Arzew - 31200 - ALGERIE, Fax : (213) 4147 36 65,
E-mail: d_benahmed@hotmail.com

*

ملخص :

في هذا العمل، سنناقش استعمال تقنية GPS مع نموذج جيويدي محدد عن طريق قياس الجاذبية، لاشتقاق الإرتفاعات الأرتومترية في الجزء الشمالي من الجزائر أين يوجد عدد محدود من محطات GPS، و بالمناسبة سنقوم أيضا بمراجعة إمكانية استبدال التسوية الدقيقة. لهذا الغرض، قد تم استعمال 114 محطة GPS بتوزيع موحد التركيب تم جمعها انطلاقا من مشروع TyrGeoNet و بعض الشبكات المحلية. قد تم التحصل على تموجات الجيويدي الصادرة من GPS / تسوية بواسطة ربط هذه المحطات بشبكة التسوية من الرتبة الأولى، فحين أن التموجات الخاصة بجيويدي قياس الجاذبية قد تم استكمالها انطلاقا من نموذجين للجويويدي محسوبين على التوالي، من طرف قسم الجيوديزيا للمركز الوطني للتقنيات الفضائية (CNTS) على أساس معطيات الجاذبية الموفرة من طرف BGI بسنة 1995، و البروفيسور Barriot (مدير BGI) بسنة 1987 على البحر الأبيض المتوسط الغربي. المقارنات المعتمدة على حملات GPS هذه تظهر أن النموذج الأول للجويويدي يضبط بصفة أفضل معطيات GPS / تسوية و أن الإرتفاعات الأرتومترية يمكن استنتاجها من ملاحظات GPS بدقة مقبولة يمكن استعمالها في تكثيف شبكات التسوية للرتب الأدنى. بالإضافة، فإن الطريقة المتبعة قد تم تطبيقها، أيضا للفحص الإرتفاعي لمستودع تخزين متواجد على بعد 40 كلم من وهران. المقارنة بين الإرتفاعات التي تم حسابها و رصدها قد سمحت بالتأكد على أن خيار التسوية عن طريق GPS هو الأفضل لهذا النوع من الفحوص. طريقة الحساب، نتائج هذه الدراسة و التوصيات كلها معروضة في هذا المقال.

Résumé :

Dans ce travail, nous discutons l'utilisation du GPS conjointement avec un modèle de géoïde déterminé par voie gravimétrique, pour dériver les hauteurs orthométriques dans la partie nord de l'Algérie dans laquelle un nombre limité de stations GPS est disponible, et nous vérifions, par la même occasion, la possibilité de substituer le nivellement de précision. Pour cet objectif, les mesures 114 stations GPS avec une distribution homogène collectées à partir du projet TyrGeoNet et quelques réseaux locaux ont été utilisées. Les ondulations du géoïde issues du GPS/Nivellement sont obtenues en connectant ces stations au réseau de nivellement du premier ordre, tandis que celles du géoïde gravimétrique ont été interpolées à partir de deux modèles de géoïde calculés, respectivement, par la Division de Géodésie du Centre National de Techniques Spatiales sur la base des données de gravité fournies par BGI en 1995, et par le professeur Barriot (Directeur de BGI) en 1987 sur la Méditerranée occidentale. Les comparaisons basées sur ces campagnes GPS démontrent que le premier modèle de géoïde ajuste d'une façon optimale les données GPS/Nivellement et que les hauteurs orthométriques peuvent être déduites d'observations GPS avec une précision acceptable qui pourra être utilisée dans la densification des réseaux du nivellement d'ordres inférieurs.

En addition, la méthodologie adoptée a été appliquée, également, pour l'auscultation altimétrique d'un bac de stockage situé à 40 km d'Oran. La comparaison entre les hauteurs orthométriques calculées et observées ont permis d'affirmer que l'alternative de nivellement par le GPS est souhaitable pour ce type d'auscultation. La procédure du calcul, les résultats de cette étude et des recommandations sont présentés dans cet article.

Mots clés : GPS/Nivellement, Modèles de Géoïde, Hauteur ellipsoïdique, Projet TyrGeoNet.

Abstract :

In this work, we discuss the use of GPS positioning, together with gravimetrically determined geoid, for deriving orthometric heights in north of Algeria in which a limited number of GPS stations with known orthometric heights are available, and we check, by the same opportunity, the possibility to substitute the classical spirit levelling. For this purpose, 114 GPS stations, which are homogeneously distributed; collected from the international TYRGEONET project and the local GPS/Levelling surveys have been used. The GPS/Levelling geoidal heights are obtained by connecting the points to the first order levelling network while gravimetric geoidal heights were interpolated from two geoid models computed respectively by Geodetic Laboratory of the National Center of Space Techniques from gravity data supplied by BGI in 1995, and by Professor Barriot (Director of BGI) in 1987 on the occidental Mediterranean. The comparisons based on these GPS campaigns proves that a good fit between the first geoid model and GPS/levelling data has been reached and that the orthometric heights can be deducted from GPS observations with accuracy acceptable for the low order levelling network densification. The computation procedure and the results of this study are presented in this paper.

In addition, the adopted methodology has been also applied for the altimetric auscultation of a storage reservoir situated at 40 km of Oran. The comparison between the computed orthometric heights and observed ones was permitted to affirm that the alternative of levelling by GPS is attractive for this auscultation. The computation procedure, the results of the study and suggestions are presented in this paper.

* Communication présentée à la 2ième Conférence Régionale de la Fédération Internationale des Géomètres (FIG) - Marrakech, 02 - 05 Décembre 2003 et publié dans le Bulletin des Sciences Géographiques avec l'aimable autorisation de l'auteur.

I. Introduction :

La connaissance et la détermination d'un ellipsoïde terrestre, la mesure des altitudes de la topographie, la recherche et l'élaboration d'une formule théorique de la pesanteur sur l'ellipsoïde terrestre, sont autant d'étapes sur le chemin général de la géodésie : forme de la terre et connaissance de son champ de pesanteur.

Compte tenu de son principe, la technique de nivellement direct étant très précise mais ne répondant pas aux besoins de travaux de grandes envergures à cause de la propagation des erreurs et des délais impartis à la mise en place de longs cheminements. De plus, et si on se réfère à la distribution géographique des repères de nivellement à l'échelle nationale, on constate que la couverture est bonne au niveau de la partie nord du pays et devient quasi-inexistante au niveau du Sahara. De ce fait, et vu l'étendue du territoire algérien, il va falloir trouver une autre alternative pour remédier à ces contraintes et projeter de couvrir, dans un avenir proche, l'ensemble du territoire national en points de nivellement afin de répondre aux besoins immédiats de plusieurs utilisateurs potentiels de cette information capitale. L'apport des techniques spatiales comme le GPS, qui donne un positionnement relatif de l'ordre de 1 ppm dans la définition des lignes altimétriques, peut permettre de s'affranchir de ces contraintes. Cependant, l'exploitation de ces mesures pour dériver les altitudes orthométriques exige en revanche un modèle de géoïde de même qualité.

L'objectif de ce travail est de déterminer avec quelle précision on pourra transformer une altitude ellipsoïdique, purement géométrique, issue d'observations et de traitement de données GPS en altitude orthométrique dans la partie nord de l'Algérie. Dans ce contexte, 114 points GPS nivelés collectés à partir du projet TYRGEONET et quelques réseaux locaux, ainsi que deux modèles de quasi-géoïde déterminés par voie gravimétrique ont été intégrés dans cette comparaison.

De plus, et dans ce même contexte, nous avons cherché à tester si la méthodologie adoptée et la précision obtenue peuvent être généralisées pour l'auscultation altimétrique d'un bac de stockage situé à 40 km de la ville d'Oran.

II. Réseau national de nivellement :

L'origine du nivellement en Algérie remonte à l'époque coloniale française (1889). Il fut confié au Service Géographique de l'Armée (SGA) puis pris en charge par l'IGN. Munis d'un matériel semblable à celui du Service du Nivellement Général de France (NGF), ses opérateurs élaborèrent à partir de 1887 un réseau de nivellement géométrique de précision limité aux premier et second ordre, basé sur le médiamètre de la Goulette (Tunisie).

Entre 1953 et 1954, les travaux de nivellement furent menés en parallèle avec la réobservation du parallèle Nord et du 1er ordre complémentaire du littoral.

Vers 1968, les travaux de géodésie, de cartographie et de nivellement ont été pris en charge par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT). Les lignes de nivellement de précision exécutées depuis 1975 ont suivi en parallèle les travaux de la géodésie par la densification du parallèle Nord.

Actuellement, le réseau altimétrique Algérien comporte quelques 6500 km de nivellement de 1er ordre essentiellement dans la partie nord du pays et quelques 18000 km de différents ordres, lié à la référence altimétrique de la Goulette en Tunisie.

Cette couverture reste insuffisante pour la majorité des régions du pays particulièrement dans la partie sud où des nouvelles mesures sont nécessaires pour accomplir une couverture homogène.

III. Réseau GPS :

L'utilisation du GPS en géodésie est aujourd'hui une évidence. Dès le lancement des premiers satellites GPS, les géodésiens ont essayé d'utiliser au mieux les potentialités de ce système pour les applications de haute précision. Conscient des avantages qu'offre ce système notamment dans la précision relative et la réduction considérable des délais de réalisation des réseaux, l'INCT s'est équipé de récepteurs GPS et a élaboré un programme de mise en place d'un réseau GPS couvrant tout le territoire et en particulier sa partie sud.

Dans ce domaine, et saisissant l'opportunité technique et scientifique du projet TYRGEONET, l'INCT s'est adhérent pour commencer à observer son réseau d'ordre zéro simultanément avec la compagnie d'observation de ce dernier. Le projet TYRGEONET (TYRhenian GEOdetic NETwork) est initialement monté pour l'océanographie et la surveillance géodynamique de la péninsule italienne avant de connaître une extension vers plusieurs pays riverains de la Méditerranée : France, Tunisie, Grèce, Albanie, Slovaquie, Croatie et Algérie. Dans ce cadre, douze points ont été observés en 1998 pendant 72 heures en utilisant des récepteurs bi-fréquences ASHTECH Z12 et TRIMBLE 4000 SSE, et traités par la suite, avec des éphémérides précises au moyen du logiciel BERNESE. Ce réseau sert à l'unification, la densification et à la détermination des paramètres de passage entre le système WGS-84 et notre système local Nord-Sahara.

Par la suite et depuis 1998, l'INCT a entamé une opération de densification par GPS visant à étendre le réseau géodésique national vers le sud. Cette dernière consiste aussi à équiper les vastes zones au sud en réseaux secondaires. Ce réseau comporte 1600 points nouveaux est composé de points distants de 20 à 30 km et appuyé de proche en proche par des points anciens, rattachés au réseau d'ordre zéro (0).

IV. Données disponibles :

IV. 1 Présentation des modèles de géoïde utilisés :

L'Algérie a récemment orienté une partie de ses programmes de recherche vers les déterminations précises du géoïde en utilisant différentes méthodes. Cette surface de niveau connaît un regain d'intérêt depuis l'avènement du positionnement précis par satellite, en particulier pour réaliser du nivellement par GPS. En d'autres termes, pour pouvoir transformer une hauteur ellipsoïdique purement géométrique, issue d'observation et de traitement de données GPS, en altitude orthométrique, il suffit de disposer d'un modèle de géoïde. Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés qu'aux modèles de géoïde dont l'emprise couvrait au moins la partie nord de l'Algérie. Il s'agit des modèles **QGALG2000** et **EANG1**.

QGALG 2000 est un modèle de quasi-géoïde réalisé au Laboratoire de Géodésie du Centre National des Techniques Spatiales (Arzew/Algérie) à partir des données gravimétriques terrestres validées et fournies par le Bureau Gravimétrique International (B.G.I.). Ces mesures dont la précision a priori est de l'ordre de 5mGals ont été rattachées au Système de Référence Géodésique GRS67 par le B.G.I.

Toutes ces données ont été transformées du système GRS67 au système GRS80. La répartition géographique de ces mesures est représentée sur la figure 1. On peut constater de graves lacunes dans la couverture gravimétrique du pays qu'il faudrait les combler pour satisfaire les besoins des géodésiens et des géophysiciens. Ce quasi-géoïde de résolution $5'' \times 5''$ a été calculé par la méthode de collocation rapide sur le territoire national entre les limites $[20^\circ, 37^\circ]$ en Latitudes et $[-10^\circ, 7^\circ]$ en Longitude en utilisant la technique de retrait-restauration. Le modèle géopotential OSU91A développé jusqu'au degré et ordre 360 a été utilisé comme modèle de référence pour retirer et restaurer respectivement les contributions de grandes longueurs d'onde sur les anomalies de gravité et les ondulations du géoïde. Cependant, le calcul des effets de la topographie en accordant la réduction RTM est basé sur deux grilles d'élévations; un MNT de résolution $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ pour la partie Nord du pays, et le modèle topographique global ETOPO5 de résolution $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ pour la partie restante du territoire, lequel est utilisé jusqu'à une distance de 200 km. La surface de référence de résolution $15' \times 15'$; nécessaire pour la réduction RTM, a été formée à partir de ETOPO5. Le logiciel GRAVSOFIT (Tscherning, 1994) et des programmes développés au CNTS ont été mis en œuvre (Ben Ahmed Dahou, 2000).

EANG1 (Europe - Afrique du nord Géoïde N°1) est une réalisation du Bureau Gravimétrique International (Barriot, 1987) qui couvre largement la Méditerranée Occidentale; zone comprise entre $-15^\circ \leq \lambda \leq 28^\circ$ et $25^\circ \leq \phi \leq 55^\circ$, avec un pas de $6'$ en Latitude et $10'$ en Longitude. Les anomalies gravimétriques à l'air libre intégrées dans cette solution ont été obtenues à partir de données gravimétriques terrestres, maritimes et de données d'altimétrie satellitaire. Pour sa partie Algérienne, les données sont identiques à celles de **QGALG2000**. Le modèle OSU81 développé jusqu'au degré et ordre 180 a été adopté comme modèle de référence. La méthode de traitement est une variante de la méthode du terrain résiduel dans laquelle la combinaison de la gravimétrie et du modèle de champ est réalisée par l'intégration numérique de la formule de Stokes à noyau régularisé et tronqué jusqu'à une distance sphérique maximale de 6° . La précision absolue sur la hauteur du géoïde est estimée à 1 mètre, tandis que l'erreur relative est de l'ordre de 10 cm avec une résolution d'au plus 500 km, pour une erreur de ± 1 mGal sur les Δg connus sur une grille $6' \times 10'$ et pour un rayon de troncature de 6° (Barriot, 1987).

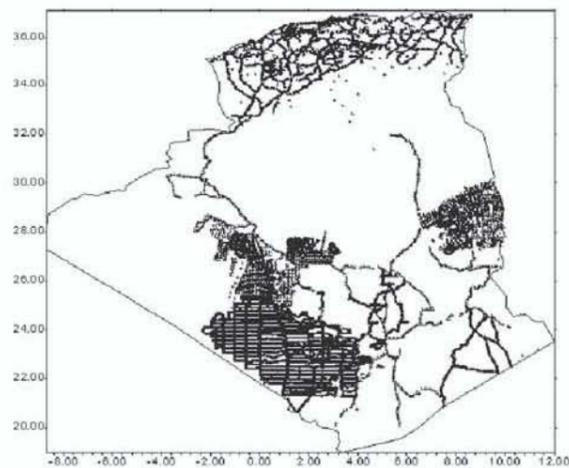


Fig 1 : Répartition géographique des mesures de gravité, fournies par le B.G.I.

La comparaison de ces deux solutions sur la partie nord du pays montre un écart maximum de l'ordre de 1.5 m avec une moyenne de 0.5 m et un écart type de 1.3 m. Il est de 6.6 m sur la Méditerranée. L'origine de ces différences est due principalement aux sources données intégrées dans le calcul de ces deux modèles de géoïde et aux méthodes utilisées pour leurs déterminations.

IV. 2 Données GPS / Nivellement :

Dans cette étude, 114 stations GPS nivelées ont été utilisées parmi lesquels une dizaine de points font parti du réseau de nivellement de premier ordre. Tous ces points sont situés au nord de l'Algérie dont la plupart sont proches de la station d'Arzew. Cependant, et afin de rendre possible l'estimation de l'ondulation du géoïde en ces points, toutes ces stations ont été connectées au réseau national de nivellement NGA à travers le nivellement traditionnel. La distribution géographique des stations GPS nivelées est représentée sur la figure 2.

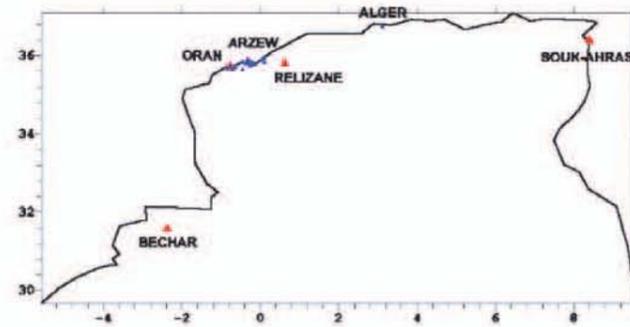


Fig 2 : Répartition géographique des points GPS nivelés (▲ : point d'appui, ▲ : point de contrôle).

V. Comparaison des modèles de Géoïde avec les données GPS / Nivellement :

Parmi ces 114 stations, cinq points bien distribués (voir Figure 2), ont été choisis comme points d'appuis tout en assurant la meilleure configuration possible parmi les données disponibles, tandis que le reste a été utilisé pour évaluer la précision réelle de l'adaptation des deux modèles de géoïde aux données GPS/nivellement. La table 1 regroupe les statistiques des différences aux points d'appui entre les hauteurs du géoïde prédites à partir des deux modèles de géoïde en utilisant une interpolation bilinéaire implementée dans le programme GEOIP du logiciel GRAVSOFIT (Tscherning, 1994) et les ondulations du géoïde obtenues par collocation GPS/Nivellement.

L'analyse des statistiques montre l'existence des écarts importants d'ordre métrique, supérieurs aux précisions à la fois du GPS / nivellement et interne du géoïde gravimétrique. Ces écarts sont trop importants pour permettre d'utiliser directement ces modèles pour des applications géodésiques et topographiques.

L'origine de ces écarts est diverse. Elle est due à la différence des origines des deux systèmes de référence qui ne sont pas toujours bien connues, à la réalisation du 0 du nivellement par un marégraphe qui ne permet pas de garantir que ce 0 est sur un modèle de géoïde donné, aux erreurs systématiques et manques de données affectant la gravimétrie, et enfin aux effets troposphériques sur les mesures GPS produisant des erreurs corrélées sur la hauteur ellipsoïdale.

La distance de corrélation peut dépasser 20 km, en fonction des longueurs de base et du nombre de récepteurs. D'autres erreurs et fautes dans le réseau GPS ont des effets non corrélés.

	Moyenne	Min.	Max.	EMQ
QGALG2000	-0.965	-2.144	0.306	1.044
EANG1	-0.447	-1.854	1.552	1.322

Table 1. Résultats de comparaison avant ajustement entre les hauteurs du géoïde gravimétrique et les hauteurs déterminées par GPS / nivellement (en mètres).

Cependant, pour conserver la référence d'altitude NGA dans les opérations de nivellement par GPS, il a donc été nécessaire de basculer les deux modèles de géoïde pour les adapter aux hauteurs géoidales géométriques obtenues aux points GPS nivelés. Pour ce faire, on utilise une transformation de similitude à quatre paramètres (Trois translations et un facteur d'échelle) ou autre technique adéquate. Les valeurs de ces paramètres n'ayant pas de signification particulière. Pour autant que les points GPS nivelés soient de qualité, en nombre suffisant et bien répartis, les géoïdes gravimétriques ainsi adaptés peuvent être utilisés directement pour effectuer du nivellement par GPS.

Si on désigne par ζ_{GRAV} la hauteur du quasi-géoïde gravimétrique au-dessus de son ellipsoïde de référence et par $\zeta_{\text{GPS-Niv}}$ la hauteur obtenue par la combinaison des données GPS et nivellement, alors en chaque point d'appui de coordonnées (λ, φ) , l'écart peut être modélisé en utilisant une similitude spatiale à quatre paramètres explicitée par la formule suivante :

$$\zeta_{\text{GPS-Niv}} - \zeta_{\text{GRAV}} = X_0 + X_1 \cos(\varphi) \cos(\lambda) + X_2 \cos(\varphi) \sin(\lambda) + X_3 \sin(\varphi) + v_i \quad (1)$$

L'adaptation des deux surfaces a été réalisée par un programme nommé **ADJ_GLG** élaboré au niveau de la division de la Géodésie du CNTS et qui met en application la méthodologie développée par le professeur Sideris de l'université de Calgary relative à l'ajustement combiné des réseaux de GPS, nivellement et géoïde par l'approche de Collocation (Kotsakis & al., 1999). Les statistiques des écarts après adaptation sont résumées dans la table 2 et montrent que le modèle de géoïde **QGALG2000** ajuste d'une façon optimale les données GPS/nivellement intégrées dans cette comparaison. On constate qu'après correction par la surface définie par la relation (1), le quasi-géoïde **QGALG2000** présente un écart quadratique moyen aux points d'appui du NGA de 7.5 cm contre 20.6 cm pour EANG1.

	Moyenne	Min.	Max.	EMQ
QGALG2000	0.000	-0.043	0.059	0.075
EANG1	0.000	-0.120	0.162	0.206

Table 2. Résultats de comparaison après ajustement entre les hauteurs du géoïde gravimétrique et les hauteurs déterminées par GPS / nivellement (en mètres).

Cependant, l'écart quadratique moyen obtenu signifie uniquement que l'ajustement est optimum au sens des moindres carrés entre les hauteurs du géoïde gravimétrique et celles obtenues par la collocation GPS / Nivellement et ne laisse à aucun cas penser que les altitudes orthométriques peuvent être déduites des observations GPS avec une précision de 7.5 cm.

A cet effet, et afin d'évaluer la précision réelle de l'ajustement, les altitudes orthométriques observées de 109 points de contrôle ont été comparées avec leurs homologues ajustées ; dérivées à partir de la combinaison des ondulations corrigées du modèle optimal en l'occurrence **QGALG2000** et les altitudes ellipsoïdiques en utilisant les valeurs des paramètres d'ajustement calculés précédemment. Les statistiques des ces écarts sont résumées dans la table 3. L'analyse de ces statistiques montre, qu'on faisant abstraction des valeurs extrêmes, des forts pourcentages (plus de 89%) des écarts se trouvent situer dans l'intervalle [-5 à +5] cm.

Moyenne	Min.	Max.	EMQ
0.009	-0.167	0.499	0.075

Table 3. Statistiques des écarts aux points de contrôle.

VI. Auscultation par GPS d'un bac de stockage :

Motivé par la précision obtenue et par les avantages du point de vue scientifique et économique offerts par le GPS, nous avons cherché à tester si la méthodologie adoptée, dans le cadre de ce travail, pourra être utilisée pour l'auscultation altimétrique d'un bac de stockage situé à 40 km de la ville d'Oran. Ce réservoir en sol gelé du terminal méthanier du complexe SONATRACH GL4/Z d'Arzew construit en 1965 est le seul bac de stockage souterrain toujours en exploitation dans le monde (Gourine, 1999).

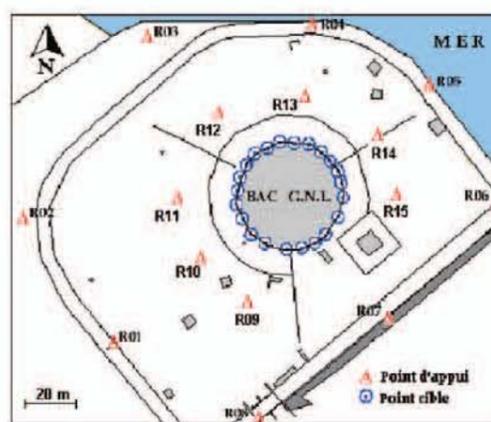


Fig. 3 : Réseau d'auscultation du bac de GNL en sol gelé (GL4/Z - Arzew).

La caractéristique principale de ce type de stockage est l'absence d'isolation et de barrière d'étanchéité sur les parois verticales et le fond. Seul le gel de l'eau contenue dans le sol assure son imperméabilité. Ce type de stockage ne peut être réchauffé sans se détruire.

L'auscultation du bac de stockage a été réalisée en suivant les étapes suivantes :

Dans une première étape, nous avons commencé par l'établissement d'un réseau d'auscultation composé de 15 points d'appuis (bornes en béton) éloignés de quelques dizaines de mètres du bac et de 42 points cibles (plaques en aluminium) répartis sur l'ossature du bac. Pour le voisinage immédiat, des repères en béton, en nombre de 57, ont été construits et implantés sur le terrain selon des profils en long (Voir Figure 3).

Ensuite une campagne d'observation GPS en modes statique pour le réseau d'appui et statique rapide pour les points cibles utilisant des récepteurs bi-fréquences ASHTECH Z12 disponibles à la Division de Géodésie, a été effectuée. Elle est composée de plusieurs sessions d'observations et chaque session d'observations comprend au minimum 03 stations. Le taux d'échantillonnage des observations est de 20 secondes et la durée de chaque session d'observation est comprise entre 15 et 45 minutes. Les traitements des différentes lignes de base ont été exécutés par le logiciel WIN PRISM en utilisant des éphémérides précises. La précision obtenue sur les coordonnées des points du réseau d'auscultation est millimétrique.

Parallèlement à cette campagne d'observation GPS, nous avons procédé au nivellement de l'ensemble des points constituant le réseau. Ces points ont été rattachés par la suite au réseau national de nivellement de premier ordre.

La table 4 regroupe les écarts sur les points d'appuis entre les altitudes orthométriques observées par le nivellement de précision et celles calculées à partir de la combinaison des données GPS et du modèle du quasi-géοide QGALG2000 ajusté. Les statistiques des écarts sont résumées dans la table 5. L'analyse de ces statistiques permet de conclure que les altitudes orthométriques sur les points d'appuis peuvent être déduites des observations GPS avec une précision mieux que de 2 cm, et elle est de 3 cm en moyenne sur les autres points du réseau. A noter que, hormis les points d'appui, le niveau d'Ingénieur a été utilisé pour niveler le reste des points du réseau d'auscultation.

Point d'appui	H_Observé (m)	H_Calculé (m)	Différence(m)
R01	2.977	2.972	-0.005
R02	2.930	2.924	-0.006
R03	4.275	4.265	-0.010
R04	4.490	4.482	-0.008
R05	4.277	4.274	-0.003
R06	3.105	3.102	-0.003
R07	2.770	2.758	-0.012
R08	3.963	3.961	-0.002
R09	2.727	2.725	-0.002
R10	3.366	3.360	-0.006
R11	3.848	3.855	.007
R12	3.553	3.557	.004
R13	4.315	4.312	-0.003
R14	3.235	3.236	.001
R15	4.284	4.286	.002

Table 4. Ecart entre les altitudes observées et celles calculées aux points d'appuis.

Moyenne	Min.	Max.	EMQ
-0.003	-0.012	0.007	0.006

Table 5. Statistiques en mètre des différences aux points d'appuis.

VII. Conclusion :

Les valeurs obtenues dans cette étude reposent encore sur un échantillon trop restreint pour tirer des conclusions catégoriques. Néanmoins, les résultats assez prometteurs montrent que la méthode GPS offre la possibilité de déterminer des altitudes avec une qualité se rapprochant des exigences de la Mensuration Officielle si certaines conditions essentielles sont respectées sur la planification, la durée des mesures,

le mode de post-traitement et la topographie de la région concernée.

L'objectif principal de ce travail était d'évaluer avec quelle précision on pourra transformer une altitude ellipsoïdique, purement géométrique, en altitude orthométrique dans la partie nord de l'Algérie ?. Cette étude a démontré clairement que l'utilisation conjointe des mesures GPS et du modèle de géοide QGALG2000 est capable de fournir des altitudes orthométrique avec une précision acceptable mais jamais assez bonne pour concurrencer le nivellement de précision ni même suffisant pour servir de contrôle indépendant et que cette alternative reste le seul moyen à envisager pour couvrir, dans un avenir proche, l'ensemble de territoire national en repère de nivellement compte tenu de l'état actuel du réseau national.

En outre, la comparaison des ondulations du géοide prédites à partir des modèles de géοide QGALG2000 et EANG1 avec celles obtenues par colocation GPS/Nivellement a fourni, après adaptation en utilisant le modèle de transformation spatiale à quatre paramètres, des EMQ de 7.5 et 20.6 cm respectivement, et prouve que le modèle QGALG2000 ajuste d'une façon optimale les données GPS/nivellement et ceci malgré l'imperfection des données de gravité et la qualité des modèles numériques de terrain (MNT) intégrés dans sa détermination.

Enfin, les résultats obtenus restent tributaires de la qualité et de la densité des données utilisées, particulièrement les données GPS nivelés dont leur configuration actuelle constitue un handicap majeur qui ne permettra pas de généraliser la précision obtenue sur toute la partie nord du pays.

VIII. Remerciements :

L'auteur tient à remercier le Prof. C. C. Tscherning (secrétaire général de l'A.I.G.) et le Prof. R. Forsberg de l'université de Copenhague pour lui avoir fourni le logiciel GRAVSOFT, et les Professeurs G. Balmino et J.P. Barriot (Directeur du B.G.I.) pour avoir mis, respectivement, à ma disposition les données gravimétriques sur l'Algérie et la grille du modèle de géοide sur la Méditerranée occidentale (EANG1).

XI. Références bibliographiques :

- [1] Barriot J. P. (1987) : La détermination du géοide par altimétrie océanique et gravimétrie. Thèse de Doctorat. Université des sciences et techniques du Languedoc.
- [2] Ben Ahmed Daho S. A., Fairhead J. D., Kahlouche S., Zeggai A. (2003) : Accuracy assessment of the available geoid models in Algeria. G1. Open session on geodesy – EGS-AGU-EUG Joint Assembly – Nice - du 06 au 11 Avril 2003.
- [3] Ben Ahmed Daho S. A., Zeggai A. (2002) : A new computation of quasi-geoid from gravity and GPS/Levelling data in Algeria. – G11. Regional and local gravity field modelling – EGS General Assembly – Nice - du 21 au 26 Avril 2002.
- [4] Ben Ahmed Daho S. A. (2000) : The new gravimetric geoid in Algeria. IGeS Bulletin N°10 – ISSN 1128-3955 – [pp 85-90].
- [5] Dursun Z., S., Abdullah Y. Stig-Coran M. (2002) : Orthometric height derivation from GPS observations. FIG XXII International congress – Washington, D. C. USA, April 19-26 2002.

[6] **Gourine B., Ghezali B., Taibi H., Sahel C. (1999)** : Surveillance des sites industriels par technique GPS : Cas du bac de stockage de GNL (GL4/Z - Arzew). Poster présenté au 2ème symposium biennal de l'Association de l'industrie du Gaz – Alger.

[7] **Kotsakis C., Sideris M. (1999)** : on the adjustment of combined GPS/levelling/geoid networks. *Journal of Geodesy* 73: 412-421.

[8] **Rapp R. H., Sanso F. (1995)** : Determination of the geoid present and future. *International Association of Geodesy symposia*, N° 106.

[9] **Stig-Coran M. (2002)** : Height Determination by GPS – Accuracy with respect to different geoid models in Sweden. FIG XXII International congress – Washington, D. C. USA, April 19-26 2002.

[10] **Tscherning C.C. (1994)** : Geoid determination by Least Squares Collocation using GRAVSOFT. Lecture notes for the international school for the determination and use of the geoid, Milano.

[11] **Vergos G. S., Sideris M. G. (2002)** : Evaluation of Geoid models and validation of Geoid and GPS/Levelling undulations in Canada. *IGeS Bulletin* N°12.

[12] **Wenzel G. (1999)** : Global models of the gravity field of high and ultra-high resolution. Lecture notes for the international school for the determination and use of the geoid, Milan, February 15-19, 1999.