

## DÉTERMINATION PRÉCISE DES ALTITUDES RELATIVES ET ABSOLUES PAR LA MÉTHODE GPS

Erik DOERFLINGER - chercheur à GEOID, étudiant en doctorat au Laboratoire de Géophysique de l'Université de MONTPELLIER

La méthode la plus précise pour mesurer la position verticale sur une courte ligne de base reste le nivellement direct classique. Son coût devient vite élevé pour de longs cheminements. Sur des terrains accidentés, son utilisation s'avère même difficile et perd rapidement en précision. Le GPS (Global Positioning System) offre une alternative relativement peu coûteuse, portable et précise qui fonctionne sur toutes les longueurs de ligne base et sur tous les types de terrain découvert.

Le cas particulier des hauteurs mesurées par GPS pose 2 problèmes distincts : dégradation de la précision de ces hauteurs due à la réfraction troposphérique et la détermination absolue des hauteurs par rapport au géoïde. Depuis un an la société GEOID s'est engagée dans un programme de recherche en collaboration avec le Laboratoire de Géophysique et Tectonique de l'Université de Montpellier II en vue de la détermination précise des altitudes relatives et absolues par la méthode GPS, ceci dans le cadre d'un contrat de collaboration avec le CNRS financé par le Ministère de la Recherche.

### EFFET DE LA RÉFRACTION TROPOSPHÉRIQUE SUR LES HAUTEURS GPS

La précision sur la composante verticale des mesures GPS peut être dans certains cas jusqu'à trois fois inférieure aux composantes horizontales. Ceci est propre à la géométrie du système, en effet le récepteur ne voit pas les satellites placés dans la demi-sphère inférieure (figure 1). Ainsi les différents délais perturbant le signal affectent principalement la composante verticale, et il n'y a ni symétrie du signal ni équilibre des erreurs.

Les propriétés dispersives de la ionosphère sur les ondes électromagnétiques entraînent une baisse de précision très sensible sur le résultat GPS. L'utilisation de récepteurs bifrédence permet aujourd'hui de s'affranchir de ces perturbations.

La principale source d'erreur sur la composante verticale est due à la réfraction troposphérique. C'est une perturbation déjà rencontrée avec les méthodes topographiques traditionnelles. Elle donne un allongement apparent de la distance Satellite-antenne GPS.

Cet allongement a deux composantes:

- La composante hydrostatique ou composante sèche (environ 2,4 m au niveau de la mer). Elle peut être corrigée en utilisant des mesures de pression barométrique au niveau du sol. La précision obtenue après correction est meilleure que 5 mm.

- La composante humide (de 1 à 30 cm dans la direction du zénith) est difficilement modélisable car la teneur en eau est très variable en fonction de l'altitude. La correction de l'allongement "humide" s'opère généralement de trois façons :

- On utilise des modèles standards d'atmosphère utilisant généralement les mesures météorologiques au sol.

- On utilise des modèles numériques de délai sans calibration a priori et dont l'évolution temporelle est ajustée par des filtres prédictifs.

- Le délai zénithal est déterminé à l'aide de radiomètres à "vapeur d'eau" zénithaux ou orientables (mesure de température de brillante à 23.8 et 31.5 GHz pour la vapeur d'eau et l'eau atmosphérique).



Figure 1: la géométrie du système contraint mieux les composantes horizontales X et Y que la composante verticale.

Les études récentes montrent que les corrections les plus justes sont apportées par l'utilisation des radiomètres à "vapeur d'eau" orientables (PWVR). Cela est particulièrement vrai dans le cas où l'asymétrie azimutale (variation spatiale) et la variation temporelle de la teneur en vapeur d'eau sont grandes.

En collaboration étroite avec l'Institut de Géodésie et de Photogrammétrie de l'ETH (ZURICH) nous avons pu tester l'influence de la "troposphère humide" sur la détermination du vecteur GPS. Notre étude s'est portée sur une ligne de base de 50 km de longueur et présentant des dénivelés de 1500 m : La ligne Mont Aigoual (Observatoire Météo)- Aniane (Observatoire Astronomique). Cette campagne fut réalisée en juillet 94 avec les 2 radiomètres à vapeur d'eau orientables ETH-CAPTEC, et deux stations météo disposées au voisinage de récepteurs GPS. Les données seront traitées à l'ETH à la fin de l'année 1994.

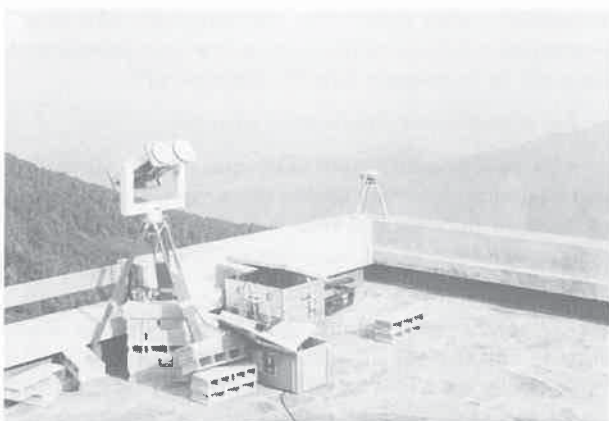


Photo 1 : Radiomètre à vapeur d'eau orientable ETH-CAPTEC (à gauche) et antenne GPS (à droite) en cours d'acquisition à la station météorologique du Mont Aigoual.

Un traitement préliminaire des données GPS seules (figure 2) nous a permis d'observer une plus grande dispersion des hauteurs par rapport aux composantes planimétriques. D'autre part nous pouvons observer que la composante Est a aussi une dispersion supérieure à celle de la composante Nord. Ceci est dû à la trajectoire des satellites principalement orientée Nord-Sud.

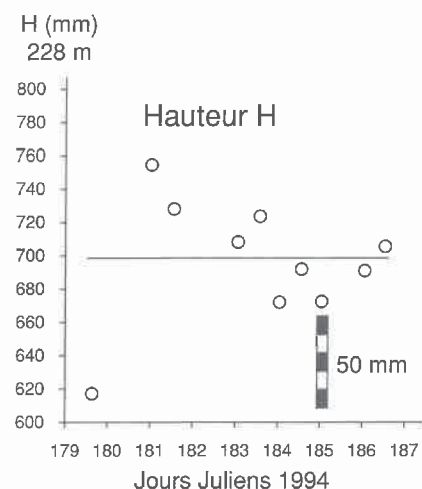
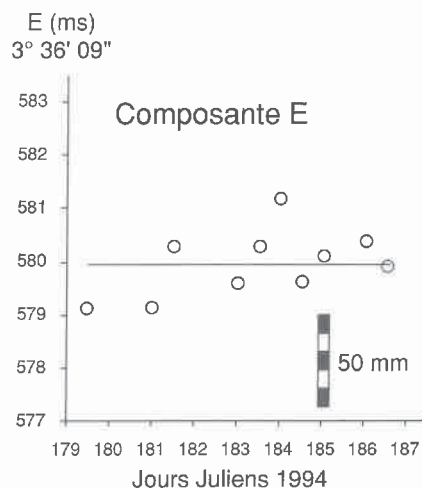
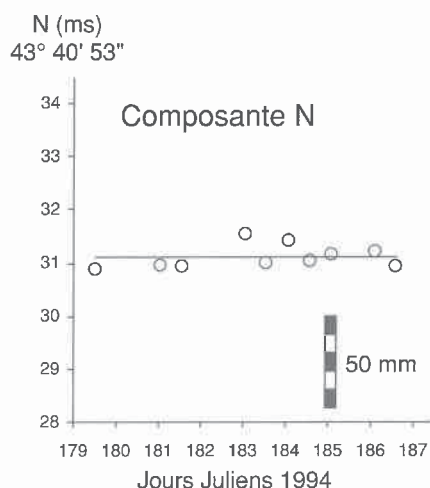


Figure 2 : Répétabilité de la mesure GPS suivant les trois composantes (Nord, Est et Hauteurs). Chaque point représente une session de mesure d'environ 6 heures. Le trait horizontal représente la moyenne des mesures.

Le but de cette étude est d'optimiser les résultats lors de déterminations précises de hauteurs par GPS (méthodologies particulières, équipements complémentaires, choix des sites, choix des périodes d'observation, analyse des conditions atmosphériques environnantes, etc.).

Nous comptons sur les résultats des données prochainement traitées pour quantifier expérimentalement les retards du signal, analyser au mieux les conditions d'environnement de la mesure, et tenter de proposer une procédure de mise en œuvre.

### EXPRESSION DES HAUTEURS GPS PAR RAPPORT AU GÉOÏDE

Par nivellement classique nous obtenons des hauteurs référencées à une surface isopotentielle de pesanteur (hauteurs orthométriques) : le **géοïde**. Ce sont les hauteurs du Nivellement Général de la France données par l'IGN (corrigées en altitudes normales).

Par positionnement GPS, nous obtenons des hauteurs référencées à un système théorique de référence (hauteurs géocentriques ou ellipsoïdales) : le **WGS84**.

L'ellipsoïde de référence a été défini et choisi pour

s'adapter au mieux en chaque région du globe au géoïde (figure 3). La différence entre le géoïde et l'ellipsoïde de référence est appelée hauteur du géoïde (ou ondulation du géoïde). La différence entre la hauteur ellipsoïdale et la hauteur du géoïde permet donc d'obtenir la hauteur orthométrique (figure 3).

Nous avons ainsi : Z : hauteur orthométrique  
H : hauteur ellipsoïdale  
N : hauteur du géoïde

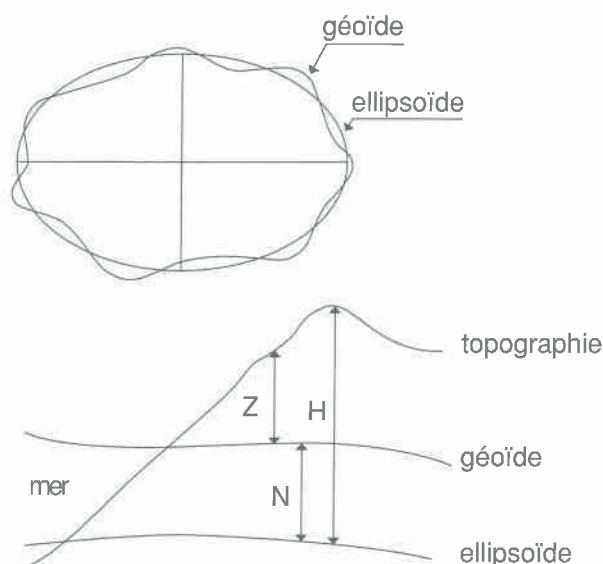


Figure 3 : Relation entre ellipsoïde et géoïde

Malheureusement le problème n'est pas si simple car les modèles de géoïde existants (IGN70, OSU91A...) ont une précision absolue de quelques mètres sur les zones à topographie perturbée.

La pente du géoïde fournie par ces modèles peut être utilisée lors d'observations différentielles par rapport à un point nivelé (hauteur orthométrique connue et différence de hauteurs ellipsoïdales mesurées par GPS).

Une méthode plus précise consiste à calculer ponctuellement pour chaque chantier un géoïde local en réoccupant avec des récepteurs GPS un certain nombre de points nivelés.

Il nous a paru intéressant d'étudier localement la forme du géoïde en essayant d'atteindre une précision équivalente à celle du GPS, le but étant de trouver une méthodologie optimale pour la détermination des altitudes orthométriques (et normales) à l'aide du GPS.

Nous avons prévu de comparer les résultats obtenus par la combinaison GPS-nivellement direct aux résultats des méthodes fournissant un géoïde local gravimétrique et astrogéodésique (déviation de la verticale).

Nous avons choisi comme zone d'étude la partie Orientale des Pyrénées. Cette région, proche de Montpellier, présente les caractéristiques voulues (zone accidentée) pour étudier l'effet de la topographie sur l'estimation du géoïde. De plus, un réseau géodésique, dit "réseau catalan POTSIS", a été réalisé récemment, sur lequel tous les travaux GPS ultérieurs peuvent s'appuyer. Enfin nos collègues de l'Institut Cartographique de Catalogne (Barcelone) ont réalisé de nom-

breux travaux de terrain qui ont abouti à une estimation locale du géoïde (UB91).

La détermination d'un modèle de géoïde local précis sur notre zone d'étude et la comparaison envisagée passent par l'acquisition de trois types de données.

## 1. Les mesures gravimétriques

A partir de données gravimétriques il est possible de calculer un géoïde par intégration des variations de pesanteur. En domaine montagneux il est nécessaire d'appliquer des corrections de terrain (utilisation d'un M.N.T.) pour obtenir une bonne précision.

Nous avons commencé à rassembler les données gravimétriques existantes : celles-ci proviennent en grande partie du BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière) et de différents laboratoires universitaires (Montpellier...) ayant travaillé sur la région. Une campagne de mesure est prévue pour densifier les mesures sur certaines parties de la zone.

## 2. Les mesures Astrogéodésiques (déviation de la verticale)

Les mesures astrogéodésiques nous donnent en un point l'angle entre la normale au géoïde et la normale à l'ellipsoïde, i.e. la pente du géoïde en ce point.

Les déviations de la verticale à détecter sont de l'ordre de la dizaine de secondes. Utilisant la caméra zénithale de l'Institut de Géodésie et Photogrammétrie de l'ETH-ZURICH, nous avons réalisé une campagne nocturne de mesure en Juin 1994. L'analyse préliminaire des données a montré la bonne qualité de celles-ci. Le traitement particulièrement complexe sera réalisé à Zurich à la fin 94. Une collaboration avec l'Institut Cartographique de Catalogne à Barcelone est prévue pour l'interprétation finale.

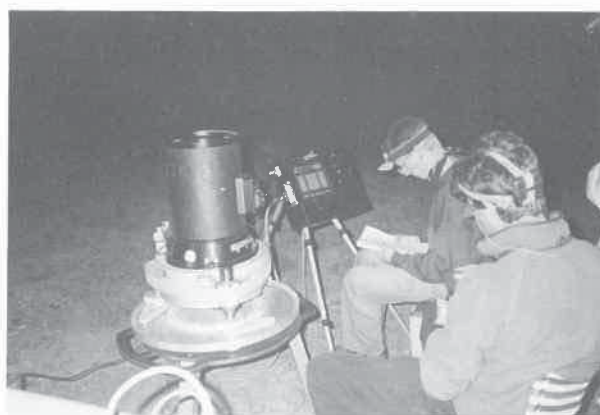


Photo 2 : Utilisation nocturne de la caméra zénithale (à gauche), A droite se trouve l'acquisition numérique (temps, écart à l'horizontale du géoïde, numéro de la photo...)

## 3. Le nivellement GPS et le nivellement orthométrique

Nous avons utilisé des mailles du réseau NGF qui fournissent des altitudes normales. La moitié des 50 points retenus appartient à des mailles du premier et deuxième ordre, l'autre moitié à des mailles d'ordre

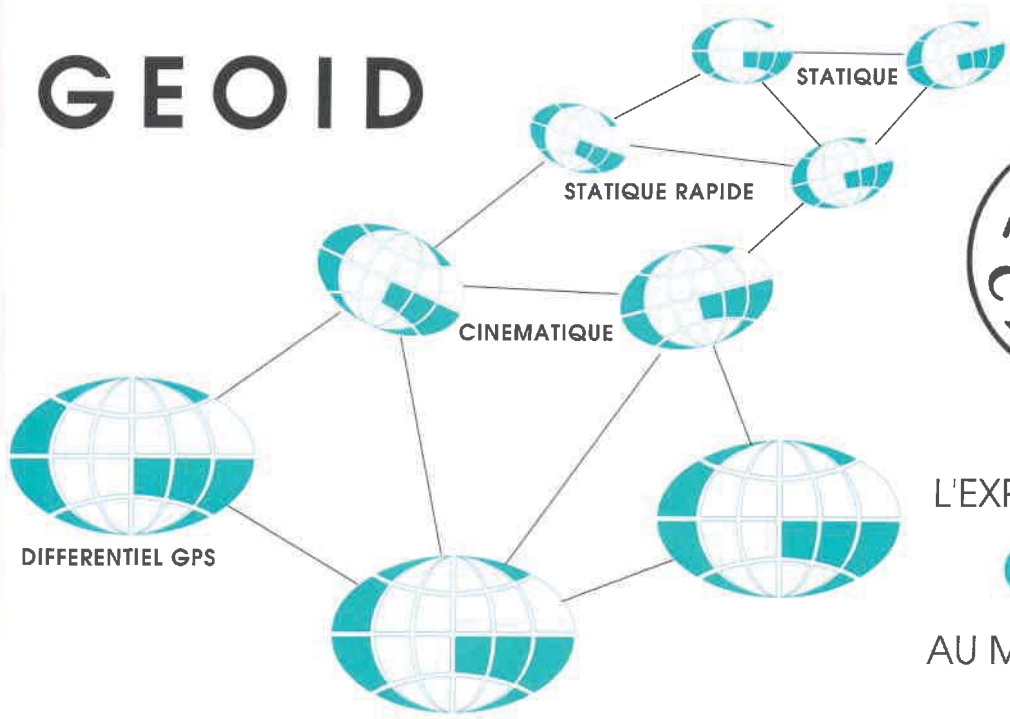
inférieur. Le choix des sites fut principalement conditionné par l'emplacement des repères de nivellement et le dégagement nécessaire à la mesure GPS. La campagne de mesure a duré sept jours (septembre 94) avec 4 récepteurs GPS bifrèquence code P, 78 vecteurs indépendants ont été mesurés. Ce réseau est rattaché à 5 piliers du réseau géodésique Catalan.


Les différentes mesures relatives à la détermination du géoïde seront ensuite traitées, une analyse critique des méthodes sera opérée (rôle des corrections topographiques, nombre minimum de points NGF, nombre de points gravimétriques, contraintes données par les déviations de la verticale,...). Les résultats seront d'abord comparés puis intégrés à une démarche globale.

*L'étude dont nous venons de parler a produit à ce jour un grand nombre de données qu'il va être long et fastidieux de traiter. Les traitements vont se dérouler jusque dans les premiers mois de 1995, nous aurons alors les premiers résultats bruts intéressants qu'il faudra ensuite analyser avec soin.*

L'auteur est chercheur à la Société GEOID - Montpellier Technopole - 3 rue Jean Monnet - 34830 Clapiers

# GEOID





L'EXPERIENCE DU

## GPS

AU MEILLEUR PRIX

**GEOID** - Montpellier Technopole - 3, rue Jean Monnet - 34830 CLAPIERS - FRANCE  
Tél. (33) 67 59 26 44 Fax (33) 67 59 28 42