

## 3000 POINTS LEVES EN TROIS JOURS AVEC UNE PRECISION DE 2 CENTIMETRES

*Eric Durand, ingénieur ESGT (GEOID)  
Claude Cailhol, agent technique (Salins du Midi)*

### INTRODUCTION

Le GPS est depuis quelques années largement reconnu par la profession comme un outil indispensable à la réalisation de canevas d'appuis et à la détermination de point de calage. D'une manière générale la qualité et la fiabilité des résultats obtenus en méthode statique ont déjà convaincu ses utilisateurs.

Si les méthodes dynamiques de levé par GPS sont parfaitement connues dans leur principe depuis le début du GPS, leurs applications n'en restent pas moins récentes.

En effet, il y a peu de temps encore, la couverture satellite ne permettait pas des observations cinématiques plusieurs heures durant.

L'évolution des logiciels de traitement ainsi que la combinaison avec d'autres méthodes plus récentes tel que le statique rapide ont permis d'optimiser les techniques de levé en mode cinématique.

Toutes les procédures de mesures dynamiques sont basées sur des temps d'observation très courts et permettent un déplacement entre les stations occupées.

La technique développée dans cet article est le mode "cinématique continu" qui permet justement de déterminer des points lors du déplacement du mobile. Cette méthode permet ainsi de lever un nombre considérable de points avec une répartition et une densité désirées en des temps records.

La seule restriction à l'utilisation de cette méthode demeure dans l'obligation d'évoluer sur un terrain relativement dégagé, ceci afin de maintenir le contact avec les signaux satellites lors du déplacement.

Une application immédiate de cette méthode réside dans la détermination d'un modèle numérique de terrain d'où peuvent ensuite être déduites toutes les informations nécessaires à l'étude envisagée (courbe de niveaux, profils, cubatures...).

### Présentation du projet

Dans le but de développer l'étude d'une unité de production de sel dans le Sud tunisien, le service COP-TEC de la Compagnie des SALINS du MIDI était chargé de réaliser le levé topographique d'une zone de 2800 ha située sur la Sebkhah de ZARZIS, immense lac salé de plusieurs milliers d'hectares.



Station de référence et station mobile (Septembre 93)

Le travail de levé consistait surtout à niveler cette zone, avec une précision de  $\pm 2$  cm, à partir d'un carroyage de 200 m x 200 m. Des échelles d'étiage réparties suivant un maillage carré de 400 m de côté devaient être implantées afin de relever périodiquement le niveau et la position des lentilles d'eau en période de pluie.

En effet, sur un relief extrêmement plat, le mouvement des plaques d'eau est comparable à une lentille se déplaçant au gré des vents et des pentes aussi faibles soient-elles.

Ce réseau de points devait être rattaché au système géodésique local en vue des futurs aménagements (accès aux routes, aux ports...). De même, un rattachement au Nivellement Général Tunisien NGT était demandé.

Les délais de réalisation de cette opération étant relativement courts, il a été décidé d'utiliser le système GPS qui offrait des garanties de résultats, tant en précision qu'en rapidité d'exécution.

La réalisation des travaux GPS a été confiée à la société GEOID.

### METHODOLOGIE

Différentes méthodes ont été utilisées pour la réalisation de ce projet.

#### Le Différentiel GPS en temps réel

La précision de la position absolue obtenue à partir des mesures sur un seul récepteur est en général insuffisante.

Celle-ci peut être améliorée en vertu du principe suivant :

- Deux récepteurs différents captant les signaux des mêmes satellites au même instant voient leurs mesures entachées d'une erreur très comparable.

En conséquence, si un récepteur est placé sur un point fixe connu, il est possible de comparer les distances observées aux distances théoriques entre récepteur et satellites.

Les corrections ainsi calculées "Pseudo Range Corrections" (PRC) peuvent être appliquées à celles observées par un autre récepteur situé sur un point inconnu.

Ce mode de détermination différentiel peut être appliqué en temps réel moyennant un système de transmission des corrections entre le récepteur fixe et le récepteur mobile.

La transmission était assurée dans le cas présent par une liaison radio VHF (Very High Frequency). Ce type de transmission nécessite un horizon dégagé entre l'émetteur et le récepteur.

La précision relative du positionnement est alors ramenée à  $\pm 1$  ou 2 m avec l'utilisation des récepteurs GPS bi-fréquence code P.

Cette méthode a donc été utilisée pour implanter les échelles d'étiage et pour la navigation en temps réel lors du levé des profils.

### Le mode statique

Cette méthode est la plus précise et celle utilisée en géodésie. Elle permet de constituer un réseau pour avoir des contrôles de fermetures afin d'apprécier la qualité et la précision des points déterminés.

Elle a donc été utilisée pour l'établissement des points de base du réseau et leur rattachement aux points géodésiques ainsi qu'aux repères de nivellement NGT.

### Le mode statique rapide

Le principe de cette méthode repose sur l'utilisation optimale de deux fréquences modulées par le code P. On a donc les observations suivantes:

- le code P sur les ondes porteuses L1 et L2
- le code C/A sur L1

On dispose donc de trois observations sur les pseudo-distances et de trois observations sur la phase (les observations sur les deux porteurs et sur une combinaison des deux fréquences). Des algorithmes appropriés parviennent donc à fixer les ambiguïtés de phase en réduisant considérablement les temps de station (2 à 5 minutes avec 6 satellites et plus, 7 minutes avec 5 satellites et 20 minutes avec 4 satellites).

La précision est de l'ordre de 2 cm pour des lignes de base inférieures à 10 km.

Cette méthode a été utilisée en début de profil pour permettre l'initialisation sur mode cinématique sur une base connue.

### Le mode cinématique

Cette méthode n'utilise que les mesures de phase. Avant toute mesure, il faut donc déterminer les ambiguïtés de phase sur la station de référence. S'il y a un suivi sur la phase, le deuxième récepteur peut être déplacé sur un point nouveau. Deux époques de mesures suffisent théoriquement pour déterminer la position de ce nouveau point car les différentes corrections sont estimées depuis la station fixe. Il est cependant préférable de stationner les points nouveaux 2 à 3 minutes.

Ceci constitue le mode cinématique et le calcul se fait par post traitement.

La précision obtenue par cette méthode est du même ordre que celle obtenue par la méthode statique rapide.

Toutes les extrémités des profils ont donc été déterminées en mode cinématique ou statique rapide. Ces

points ont donc pu être ajustés et adaptés afin de les rattacher en planimétrie à la géodésie locale (Lambert Sud Tunisien) et en altimétrie au réseau NGT.

### Le mode cinématique continu

Une fois l'ambiguïté de phase résolue, le cinématique continu permet de calculer la position à chaque enregistrement pendant que le récepteur mobile se déplace.

C'est ainsi que le levé des profils a été réalisé. A raison d'un enregistrement toutes les 5 secondes et d'une vitesse de déplacement d'environ 40 km/h, un point tout les 50 m était déterminé.



Borne géodésique de rattachement

## Le nivellement géométrique

Deux cheminements doubles dans le sens Nord Sud et Est Ouest ont été réalisés en nivellement géométrique afin de définir localement la pente du géoïde. Ces cheminements reliaient les bornes GPS déterminées en mode statique.

L'utilisation de récepteur GPS TRIMBLE 4000 SSE avec l'option navigation (c'est à dire la possibilité de générer sous le format RTCM 104 des Pseudo Range correction) a permis de réaliser l'ensemble des opérations en combinant ces différentes méthodes.

## OPERATIONS REALISEES



Echelles d'étiage

### 1- Implantation des Echelles d'étiage

Un carroyage régulier avec des échelles tout les 400 m a été implanté par la méthode différentielle GPS en temps réel. La précision planimétrique de ces échelles est donc de +/- 1m.

### 2 - Levé des profils

Le levé des profils consistait après initialisation du mode cinématique, à parcourir en voiture le profil en effectuant un enregistrement toutes les 5 secondes.

La navigation à +/- 1 m près en temps réel a permis de suivre les routes théoriques avec un écart par rapport à la ligne toujours inférieur à 2 m. Certes, ceci demande une bonne concentration du chauffeur constamment guidé et corrigé par son copilote navigateur.

Ainsi, vingt minutes de levé étaient nécessaires pour parcourir 2 profils, soit treize kilomètres avec un point déterminé tout les 40 à 50 m pour une vitesse maximale du véhicule de 40 km/h.

A cela il faut ajouter 5 à 7 minutes pour l'initialisation en début du premier profil et 2 minutes d'enregist-

rement sur la fin de profil et le début du second. Ceci afin de déterminer les extrémités de chaque profil pour pouvoir adapter les observations GPS dans le système de coordonnées finales et sur le géoïde.

## CALCULS

La détermination des points levés en mode statique, statique rapide et cinématique se fait au travers d'algorithmes appropriés propres aux techniques GPS.

Les critères de qualité issus du calcul des vecteurs permettent de juger dans un premier temps la qualité des résultats. L'étude des fermetures et la comparaison des dénivelés GPS avec celles obtenues par nivellement géométrique et l'ajustement final donnent la précision du réseau des points d'appuis constitués maintenant par chaque extrémité des profils.

Par contre, les résultats du calcul des points levés en mode cinématique continu sont sous la forme de composants dX, dY, dZ du vecteur point de référence-mobilité dans le référentiel géocentrique WGS 84.

Il convient alors d'appliquer toutes les transformations géodésiques nécessaires pour obtenir les résultats finaux en coordonnées planimétriques X, Y dans le système local et en altimétrie h.

Un logiciel a été écrit par GEOID à cet effet pour permettre ce calcul dans n'importe quelle

géodésie pour un grand nombre de points de levé.

## RESULTATS

Il était initialement prévu d'utiliser un programme d'analyse et de lissage des profils. Mais, compte tenu de l'homogénéité des résultats bruts obtenus, cette analyse s'avérait totalement inutile.

L'écart maximal entre deux points successifs était dans 95 % des cas inférieur à 2 cm. Ceci montre l'étonnante planéité de ce genre de site ainsi que la non moins étonnante homogénéité des mesures effectuées.

La dénivelée maximale obtenue sur les 2800 ha levés est de 60 cm d'une extrémité à l'autre de la zone.

La pente dans le sens Est-Ouest est de 0,3 % et est nulle dans le sens Nord Sud.

L'étude de la pente du géoïde revêtait une pente quasiment nulle dans cette région.

Le réseau final comprenant l'ensemble des points a donc été adapté en fixant les extrémités calculées à partir des observations du nivellement.

La détermination des hauteurs des échelles d'étiage s'est faite par interpolation linéaire à partir des points



du profil.

Un plan de position, un plan en courbes de niveaux ainsi qu'un diagramme en trois dimensions ont été dressés comme documents finaux.

### CONCLUSION

Cette opération a permis de mettre en évidence les possibilités du GPS pour un projet de ce type, aussi bien au niveau de la rapidité d'exécution que de la précision atteinte. Trois mille deux cent points ont donc été déterminés en trois jours de levé effectif.

Les applications du cinématique continu sont multiples et peuvent se répertorier de la manière suivante:

• Topographie, profils, levés

• Observation de mouvement de déformation (des précisions de l'ordre de 5 mm, sur la composante altimétrique et de 2 à 3 mm sur les composantes planimétriques ont été obtenues lors de test effectué à GEOID).

• Positionnement de bateaux pour des levés bathymétriques

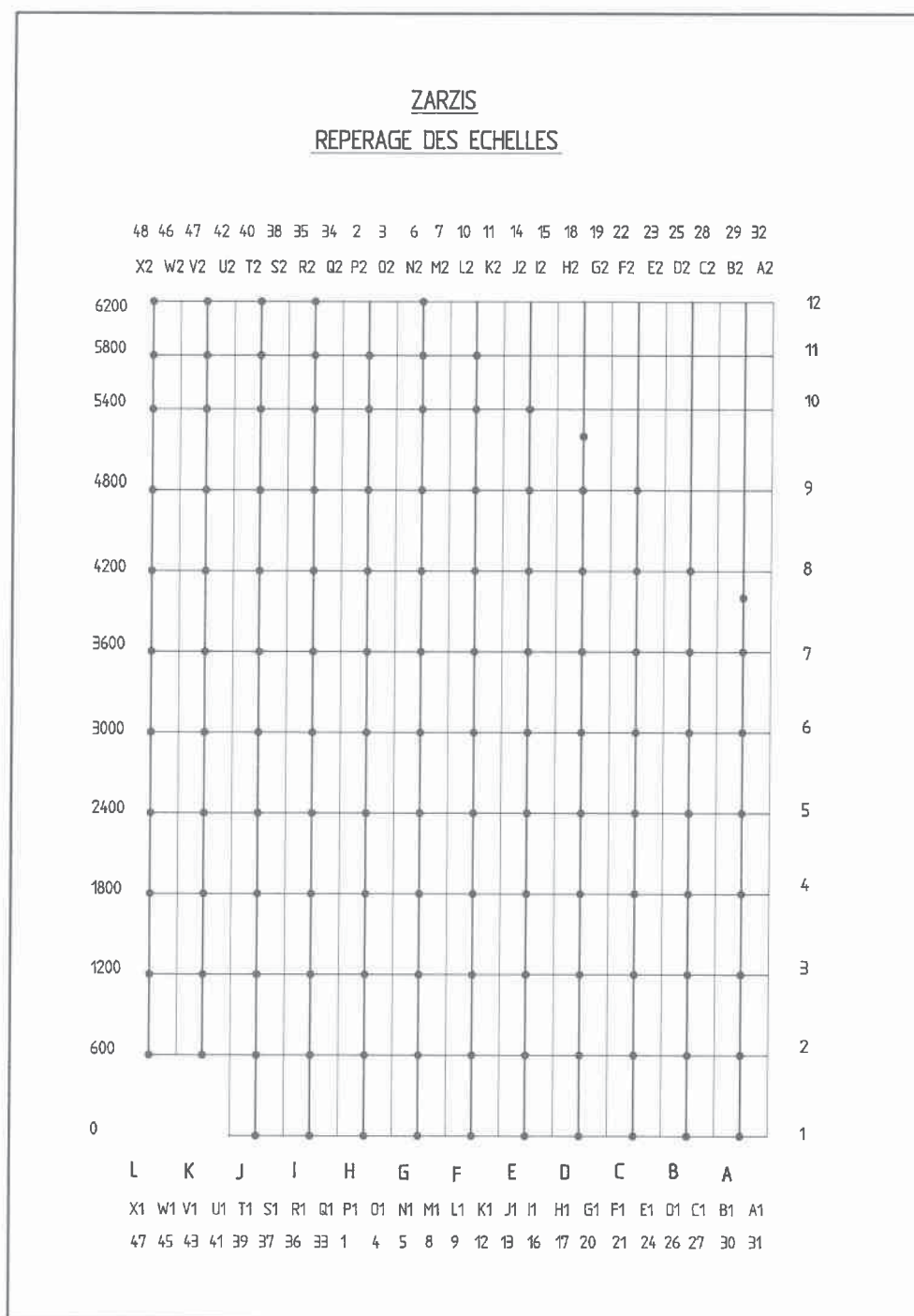
• Suivi de mouvement d'engin de travaux publics...

• Etalonnage d'instrument

• de système de navigation terrestre ou marine

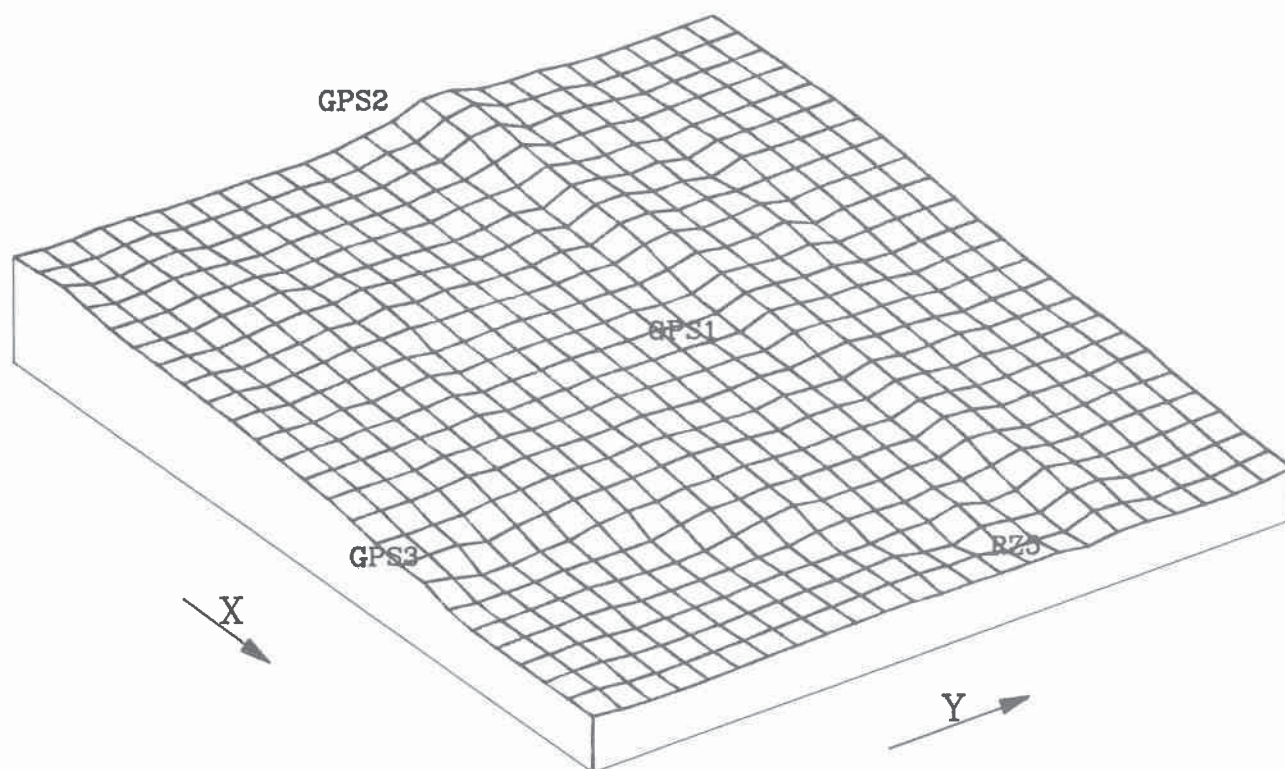
• de système de contrôle d'atterrissage d'avion

Cette liste n'est évidemment pas exhaustive.



# MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN

SEBKHAT EL MELLAH



Echelle en altitude : 1000 unités  
Echelle planimétrique : 1 unité

