

Plan côté au GPS

El Hassan BENAÏM et Lahcen BOURAMDANE, Maroc

Key words: Géoïde, ellipsoïde, ondulation, altitude orthométrique, altitude géodésique, GPS, Surfer, Autocad.

SUMMARY

No surveyor can deny that the realization of a contour map remains a lengthy and tedious job. Contrarily to the methods of horizontal determinations, where the methods of observation have recorded a spectacular evolution in equipments and procedures, the levelling has remained quasi dependent on classical methods and especially when it concerns precisions of higher order. To enable the surveyor taking advantage of modern techniques in the execution of a contour plan, the present contribution describes a method using the GPS techniques as method of data collection, the Surfer and Autocad softwares are respectively used to interpolate, plot contours, and enable graphic output, for the execution of contour plans on relatively flat land , especially on comparatively small sites without needing the geoid. A real study has been made on the IAV campus. The comparison of the results with respect to those obtained using a Total Station (terrestrial method) has showed deviations better than 3.5 cm. Furthermore, the automation of the acquisition and processing of the data gives to this method an economic character.

RESUME

Aucun topographe ne peut nier que la réalisation d'un plan côté reste une opération délicate et onéreuse. Contrairement à la planimétrie ou les méthodes d'observation ont enregistré une évolution spectaculaire tant en matériels qu'en mode opératoire, l'altimétrie est restée quasi tributaire des méthodes classiques et surtout lorsqu'il s'agit de précisions d'ordre supérieur. Dans le but de faire bénéficier le topomètre des techniques modernes dans l'exécution d'un plan côté, la présente contribution décrit une méthode utilisant la technique GPS comme méthode de collecte de données, Surfer comme traceur des courbes de niveau et l'Autocad comme moyen de sortie graphique sur papier, pour l'exécution des plans cotés des surfaces restreintes sans pour autant avoir besoin du géoïde. Une étude réelle a été réalisée sur le campus de l'IAV Hassan II. La comparaison des résultats avec ceux obtenus au moyen de la Station Totale (méthode terrestre) a montré des écarts inférieurs. L'évaluation de la méthode a été réalisée au moyen d'une étude comparative par rapport à la méthode classique d'une application réelle sur terrain non accidenté. Les écarts entre les 2 méthodes ne dépassent pas 3.5 cm l'automatisation de la collecte et du traitement des observations donne à cette méthode un important caractère économique.

Plan côté au GPS

El Hassan BENAÏM et Lahcen BOURAMDANE, Maroc

1. INTRODUCTION

La surface topographique représente la réalité physique sur laquelle le géomètre effectue ses mesures. Sa description cartographique exige la définition de surfaces de référence. Ainsi deux datums ont été définis. Le datum horizontal dont la composante essentielle est généralement un ellipsoïde, une surface mathématique choisie selon des critères précis, joue le rôle de référence pour le positionnement horizontal (x, y) ; tandis que le datum vertical constitué par une surface équipotentielle épousant, au maximum, le niveau moyen des mers, appelée géoïde, a pour mission la référence de la localisation verticale. Les deux surfaces de références sont liées par le paramètre dit ondulation N (Fig. 1). La composante verticale de la position d'un point de l'espace peut alors être définie par rapport à deux surfaces de références différentes. Dans le cas où l'on considère l'ellipsoïde, cette composante verticale est appelée altitude géodésique et sera notée h. Si c'est le géoïde qui est pris comme référence, alors elle est appelée altitude orthométrique et sera notée par H. Ces deux systèmes d'altitude sont liés par la relation suivante:

$$N = h - H \quad (1)$$

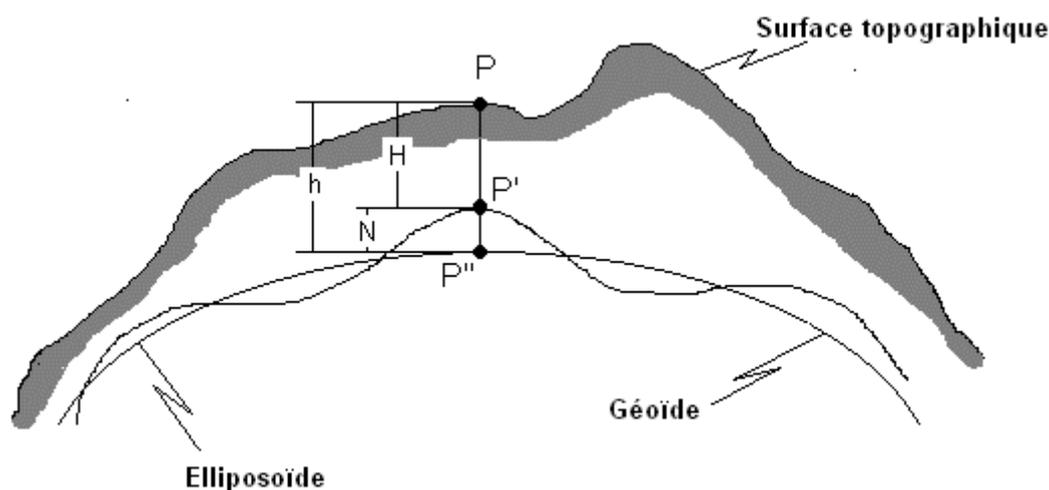


Figure 1: Surface topographique et surfaces de référence

Dans la vie quotidienne la notion de l'altitude est liée à la question "où coulera l'eau ? " que le maître d'ouvrage se pose. Cette question ne trouvera pas sa réponse en utilisant l'altitude géodésique h mais bien l'altitude orthométrique H dont les méthodes de détermination sont restées quasi classiques et indépendantes relativement aux méthodes de positionnement planimétriques qui ont connu une révolution technologique phénoménale. Cependant l'avènement des méthodes spatiales qui ne peuvent d'ailleurs mesurer que h, ont rendu

possible la déduction de l'altitude orthométrique H si l'on dispose de l'ondulation N en vertu de la relation (1). Différentes méthodes combinant les techniques spatiales et terrestres pour convertir h en H (Benaim & A. Mensour, 1992 ; Duquenne H., 1998, Doerflinger, 1997) ou pour densifier un réseau vertical orthométrique existant (Benaim, 1991, Benaim et al, 1997), ont été développées. Le présent article peut être considéré comme une continuation de ces recherches pour faciliter l'opération du plan côté par l'utilisation du GPS en mode différentiel. En effet, en différentiel, la relation (1) s'écrirait comme suit:

$$\Delta N = \Delta h - \Delta H \quad (2)$$

où;

$$\begin{aligned} \Delta N &= \text{différence d'ondulation;} \\ \Delta h &= \text{différence d'altitude géodésique;} \\ \Delta H &= \text{différence d'altitude orthométrique.} \end{aligned}$$

On peut considérer que l'ondulation du géoïde est une variable régionalisée stationnaire de faible variation dans l'espace (autour de 3 cm/km Benaim et al, 1997). Ainsi on peut admettre sur de petites portées (<1km) et pour des travaux altimétriques de précision centimétrique que les surfaces de référence ellipsoïdale et géoïdale sont parallèles sur une surface restreinte relativement plate, par conséquent on peut admettre:

$$\Delta H \approx \Delta h \quad (3)$$

C'est selon cette hypothèse que l'étude, objet du présent article, a été réalisée.

2. PREPARATION DU TERRAIN

Le site de l'étude est situé à l'IAV Hassan II entre le département des maladies contagieuses et le manège du Club Al Harka. La parcelle de superficie approximative d'un hectare (100x100m) consistant en terrain nu, dégagé et peu accidenté (3% de pente) a été quadrillée en 10x10m (plan côté au 1/500) et les nœuds ont été matérialisés par des piquets en bois (Fig.2). Les nœuds, ainsi définis, seront visités successivement par le récepteur GPS baladeur et la canne de la station totale.

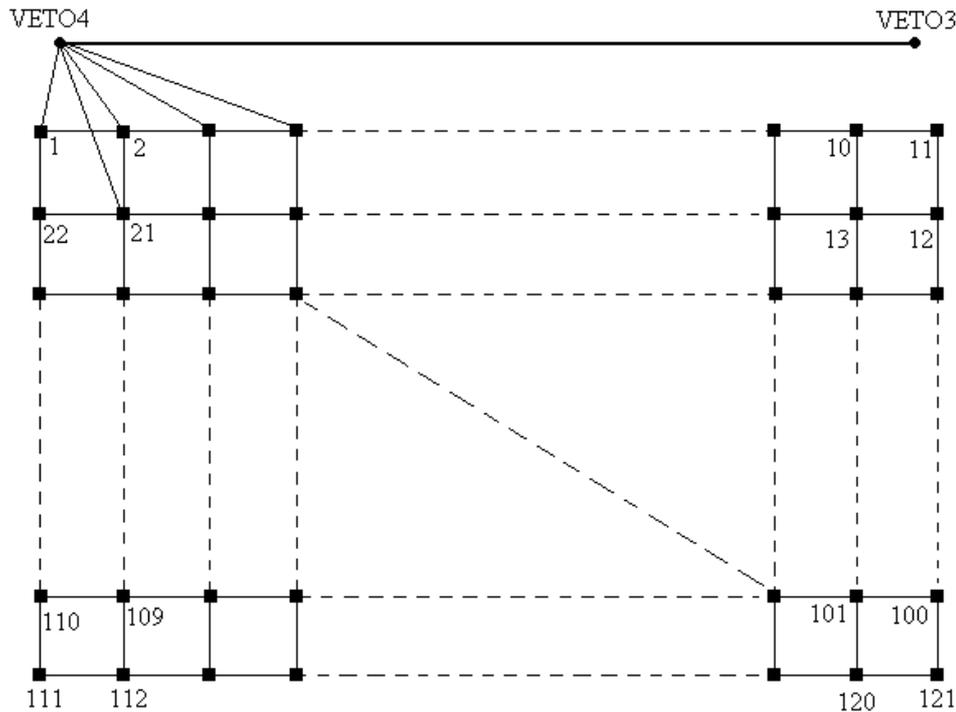


Figure 2: Quadrillage du terrain objet de l'étude

3. ACQUISITION DES DONNEES

Les observations GPS ont été réalisées au moyen d'un équipement Ashtech (Z-Surveyor) composé de 2 récepteurs bifréquences et 2 antennes géodésiques. Deux points d'appui VETO 4 et VETO 3 dont les positions planimétrique et altimétrique sont connues ont été utilisés respectivement comme station maîtresse pour le transfert de l'altitude, et point pour effectuer l'initialisation du récepteur baladeur. L'opération de l'initialisation a été effectuée en mode STATIQUE RAPIDE durant 10 minutes, après quoi, les nœuds du quadrillage ont été visités par le baladeur en mode STOP&GO, suivant le schéma de la figure 3. L'occupation de chaque nœud a duré 15 à 20 secondes. Finalement le baladeur ferme son trajet sur le point de l'initialisation VETO 3.

Les observations de la méthode conventionnelle qui constitue une référence de fiabilité pour la méthode GPS préconisée ont été réalisées sur le même quadrillage, au moyen de la Station Totale Topcon GTS-6.

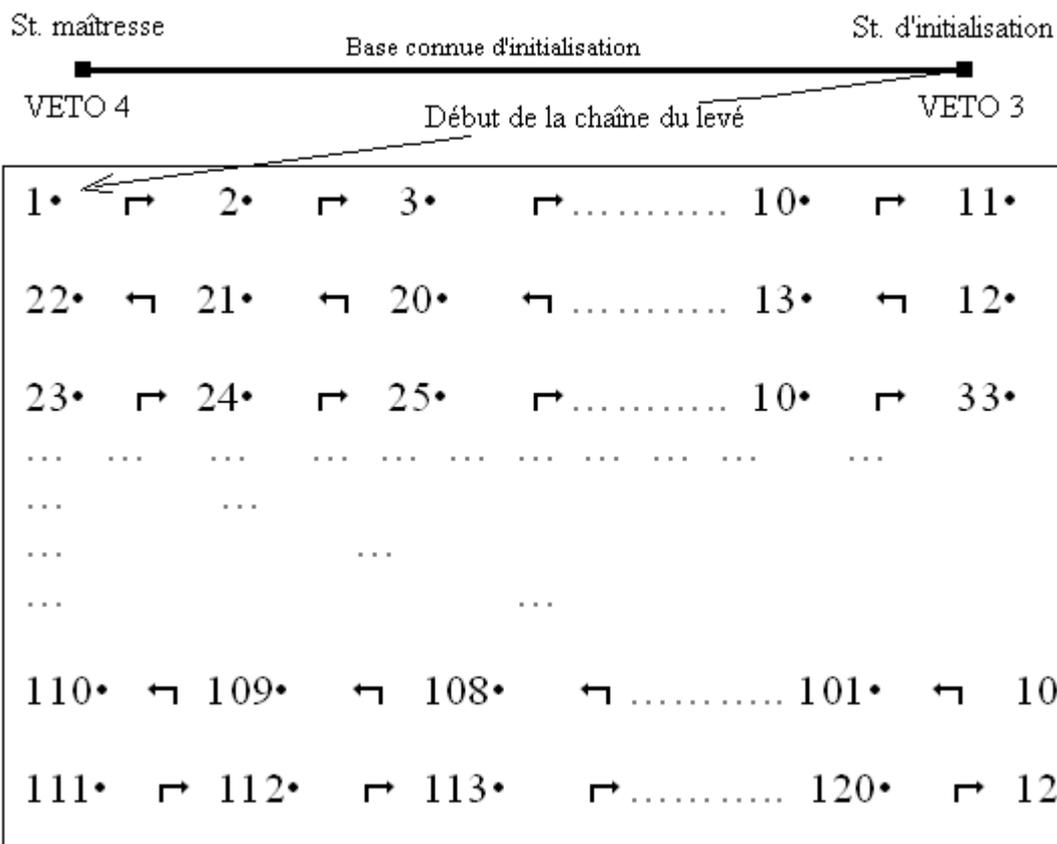


Figure 3: Croquis de levé par GPS (Stop&Go)

4. TRAITEMENT DES DONNEES

Les observations GPS ont été traitées au moyen du logiciel WINPRISM 2.2, suivant les étapes suivantes: ajustement des lignes de base par le module PROCESS, ajustement du réseau avec contrainte sur la station maîtresse VETO4 par la fixation de ses coordonnées géographiques ϕ , λ et h obtenues par transformation de ses coordonnées cartésiennes et son altitude orthométrique H par le module ADJUST, et finalement transformation des résultats dans le datum local (Merchich) par le module TRANSFORM. Les résultats sont transférés du Fichier. pts vers un un fichier GPS.DAT sous le format suivant : Numéros des points, X, Y, l'altitude orthométrique.

Les résultats du traitement des observations à la Station Totale ont été stockés dans un fichier (STAT.DAT) sous le même format que celui des résultats GPS.

Dans le souci d'automatiser la solution graphique finale une interface a été développée sous Visual Basic (Fig. 4). Elle permet l'export des fichiers GPS.DAT et STAT.DAT vers le logiciel Surfer qui les transforme en courbes de niveau. Les produits ainsi obtenus et le fichier DXF des points côtés sont exportés vers le logiciel Autocad qui les superpose et en donne deux solutions : solution GPS et Solution Station Totale (Fig.5 et Fig.6).

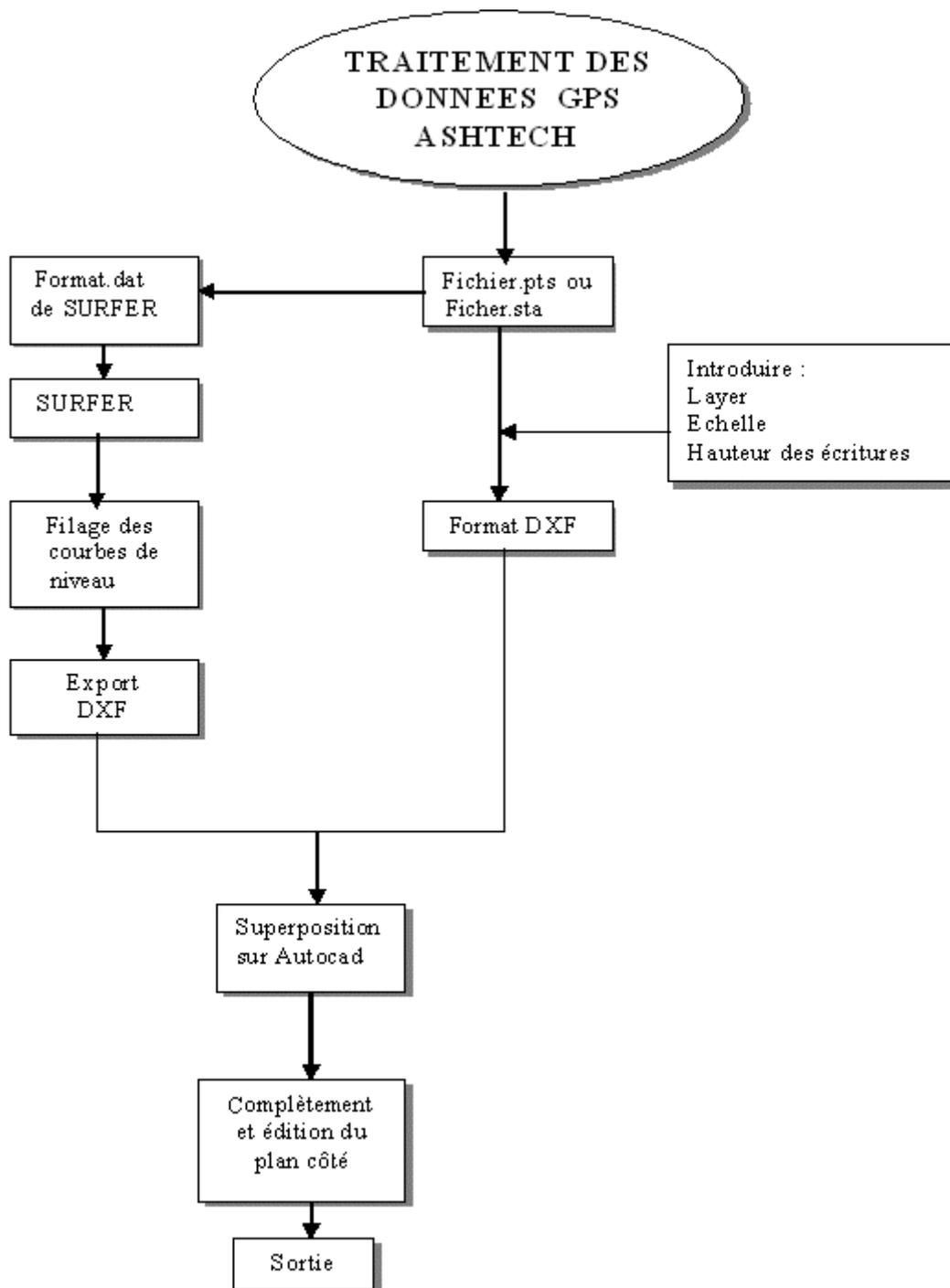


Figure 4: Organigramme du traitement des données du plan côté au GPS

5. ANALYSE DES RESULTATS

5.1 Comparaison des résultats numériques des deux méthodes (GPS et station totale)

L'analyse de la carte des écarts $\Delta H_{GPS} - \Delta H_{CONV}$ et de leurs fréquences par classe montre que:

- A tout écart positif correspond un écart négatif sensiblement égal.
- Les écarts les plus petits sont les plus nombreux (75% des écarts ne dépassent pas les 2 cm en valeur absolue).
- Les écarts ne dépassent pas 3.5 cm en valeur absolue.

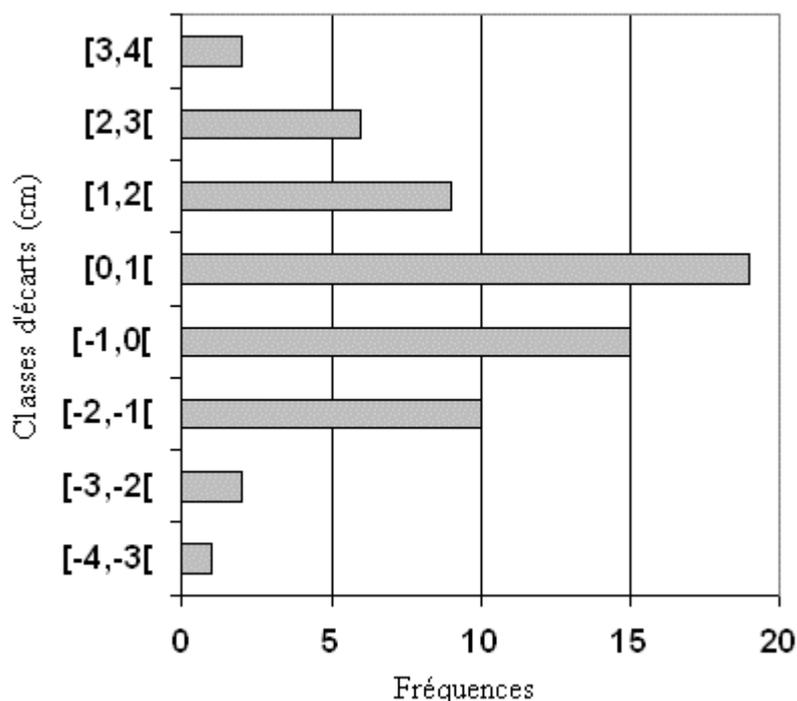


Figure 5: Fréquences des écarts entre la méthode GPS et la méthode conventionnelle.
(Ecart = $\Delta H_{GPS} - \Delta H_{CONV}$)

5.2 Test χ^2 de conformité

Ce test consiste à comparer les fréquences observées aux fréquences théoriques afin de voir si les écarts $\Delta H_{GPS} - \Delta H_{CONV}$ sont dus au hasard de l'échantillonnage. Cette variable est définie par :

$$\chi_{ob} = \sum_{i=1}^k \frac{(f_{oi} - f_{ti})^2}{f_{ti}} \quad (4)$$

Où:

f_{ti} : fréquence théorique propre à chaque classe.

f_{oi} : fréquence observée.

k: nombre de degré de liberté extraite de la population et l'hypothèse.

L'hypothèse H_0 : Les observations proviennent d'une population normale est acceptée si $\chi_{ob}^2 < \chi_{to}^2$ où χ_{to}^2 est la valeur de la distribution χ^2 avec k degrés de liberté et un niveau de signification α .

Les valeurs obtenues dans notre expérimentation sont : Avec $k=5$ et $\alpha=1\%$ $\chi_{ob}^2 = 8.82$. La valeur de χ_{to}^2 est extraite de la table statistique. Comme $\chi_{ob}^2 = 8.82 < \chi_{to}^2 = 15.086$ l'hypothèse initiale est acceptée avec un risque de 1%.

5.3 Test de la moyenne des écarts

Ce test consiste à vérifier si la moyenne m_e des écarts $\Delta H_{GPS} - \Delta H_{CONV}$ s'écarte significativement de 0. L'hypothèse $H_0 : m_e=0$ est acceptée si : $T_{ob} < T_{n-1, \alpha/2}$ telle que :

$$T_{ob} = \frac{\bar{m} - \mu_v}{S_v \sqrt{n}}$$

où:

\bar{m} : moyenne de l'échantillon.

μ_v : moyenne théorique.

S_v : écart type.

Avec $n = 64$, $\bar{m} = 0.4cm$, $S_v = 1.4cm$, $T_{ob} = 0.04$ et $T_{63,0.005} = 2.65$. L'hypothèse est donc admise.

5.4 Comparaison des solutions graphiques

Les solutions graphiques ont été établies à l'échelle 1/500 (Fig.5 et Fig.6). L'examen à l'œil nu des deux plans ne montre aucune différence. La comparaison graphique (Fig.7) atteste d'une compatibilité remarquable entre les deux méthodes.

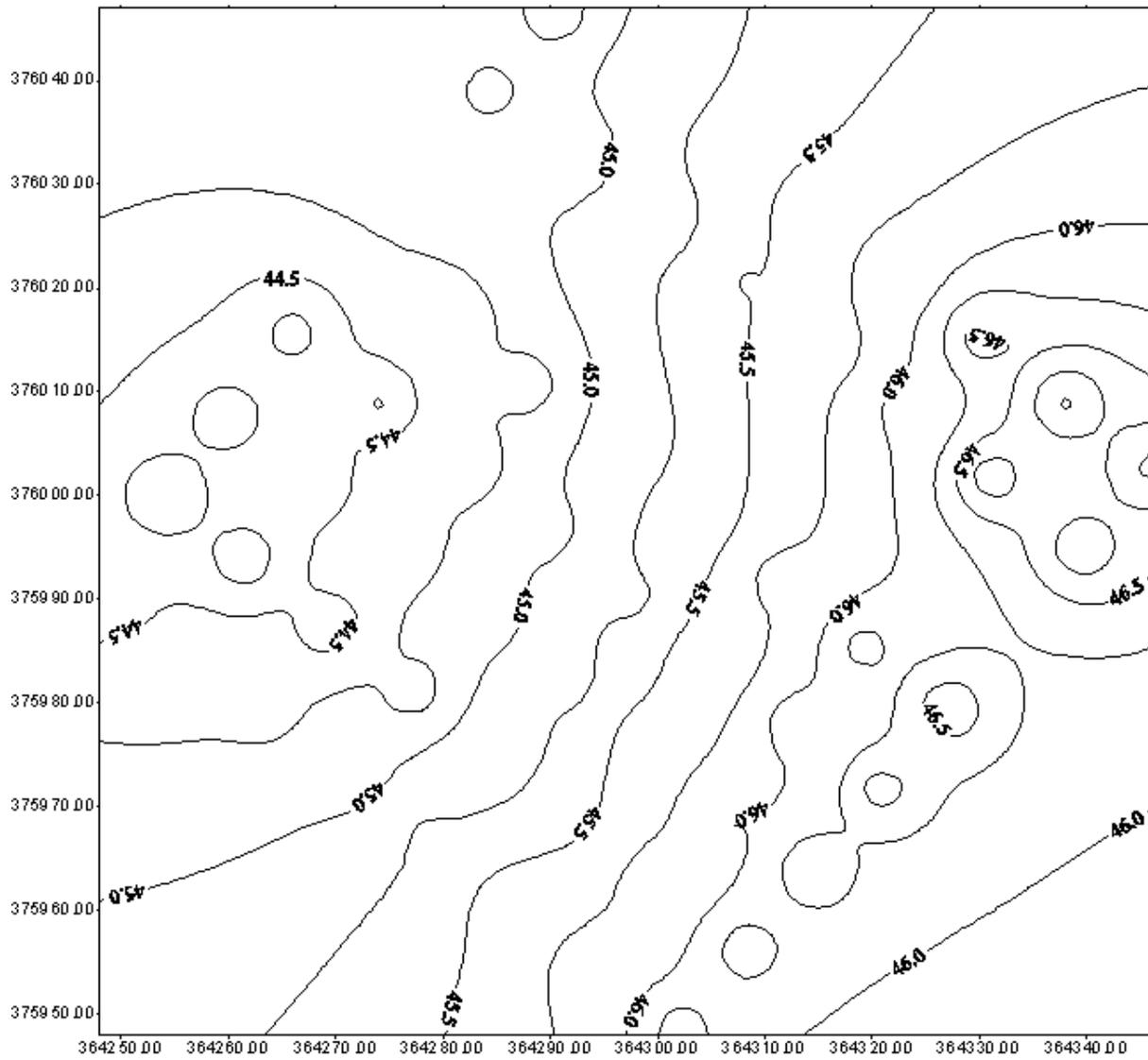


Figure 5: Plan coté établi à base des données GPS. Equidistance : 25 cm

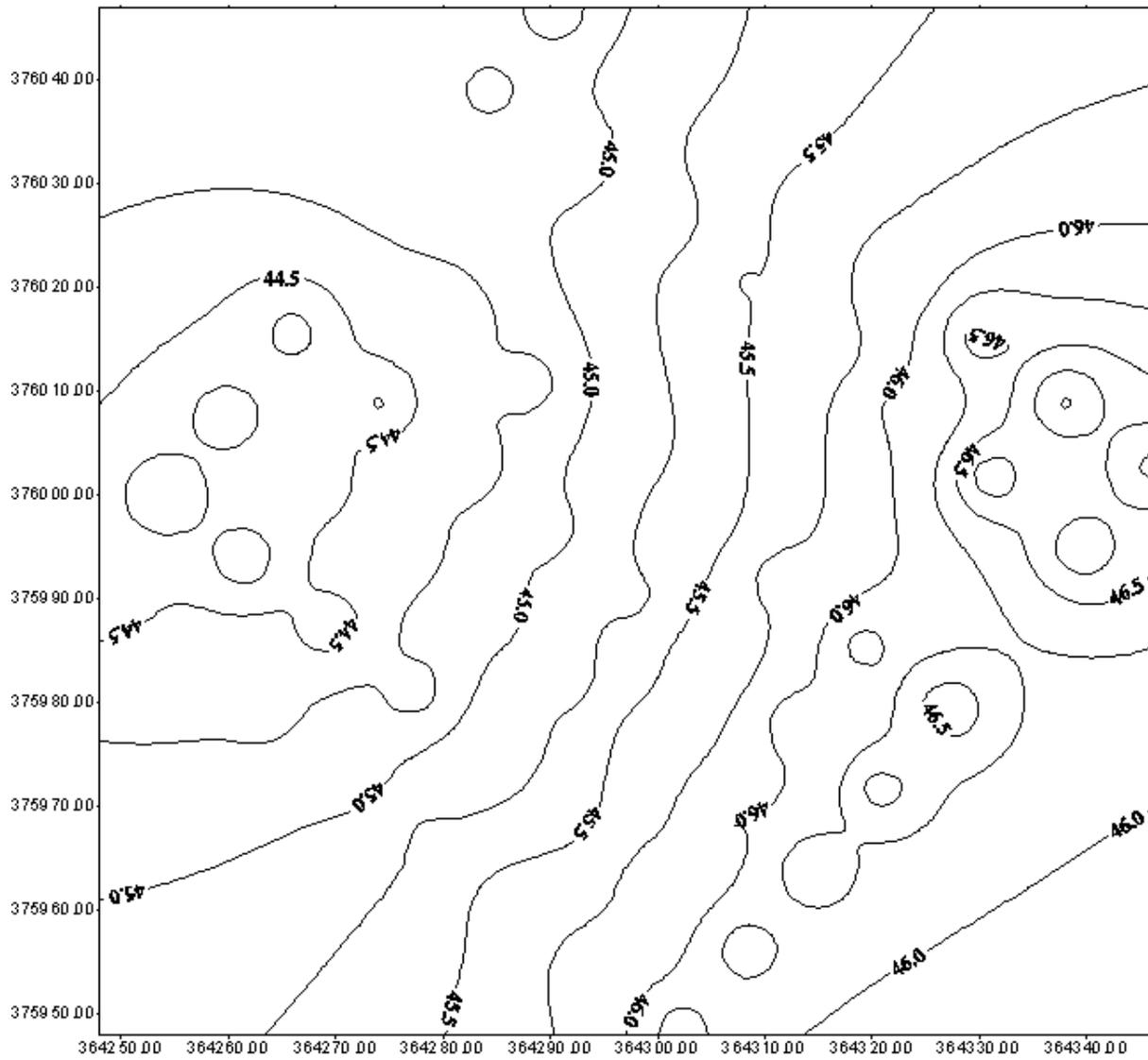


Figure 6: Plan coté établi à base des données Station Totale. Equidistance : 25 cm

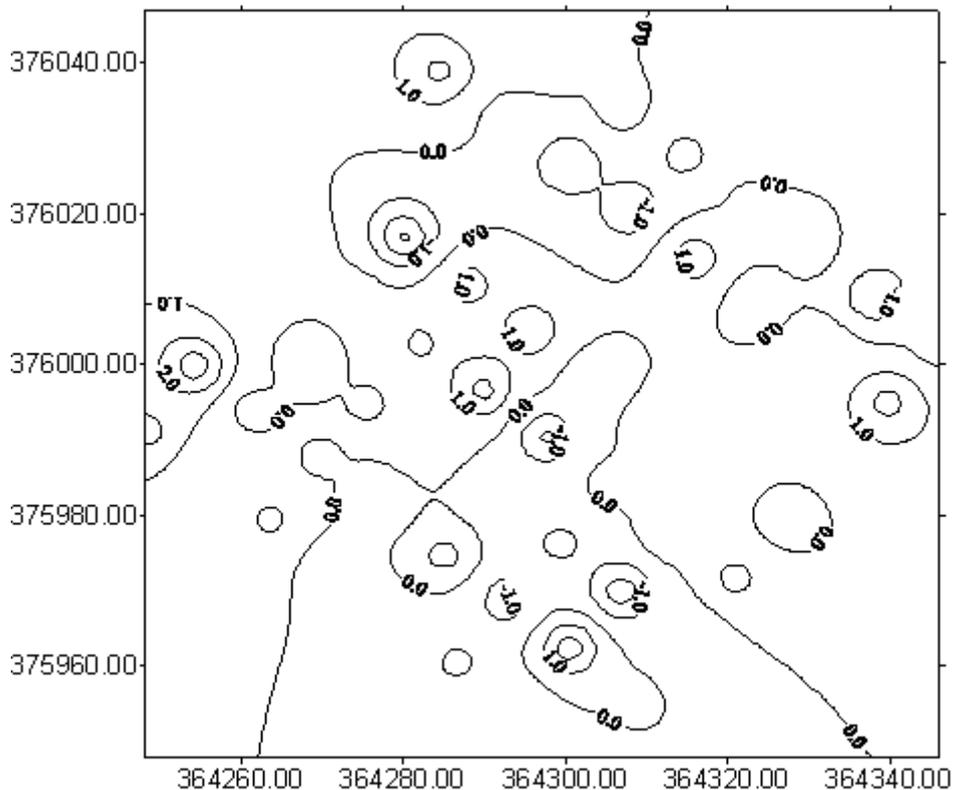


Figure 7: Carte des écarts entre les 2 méthodes. Equidistance : 1 cm

6. CONCLUSION

Dans cet article les aspects opérationnels de base utilisés couramment dans l'exécution des plans cotés ont été respectés. La méthode de la Station Totale couramment utilisée a été fixée comme méthode témoin pour évaluer le degré de fiabilité de la méthode GPS préconisée. Bien que cette dernière ait été menée avec un matériel inadéquat au niveau de l'antenne baladeuse utilisée et l'absence d'un combiné (Hausky) pour faciliter le dialogue avec le récepteur, les résultats attestent d'une compatibilité acceptable avec la méthode témoin. Il est à signaler aussi l'économie de temps de l'exécution des opérations sur le terrain, la fluidité des opérations, l'absence du stress dont souffre l'utilisateur de la Station Totale causé par entre autres, la peur de se tromper et l'attention permanente qu'il doit faire lors de la direction des opérations et la prise des observations. De ce fait, la méthode GPS peut être recommandée dans les échelles égales ou inférieures à 1/500.

REFERENCES

- Benaim E.H. (1991) " Liaison altimétrique intercontinentale sur le détroit de Gibraltar: Stratégie et étude comparative ". Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 1991.
- Benaim E.H et M. A. Mensour (1992), "Le GPS en mode cinématique au service du cadastre". Proceedings of the International Conference on Cartography - Geodesy, vol. 2; pp: 771-777. Maracaibo (Venezuela), 1992.

- Benaim E.H, A. Fliss et N. Khribech (1997): "Densification d'un réseau géodésique vertical par GPS (étude d'une application réelle)". Revue de l'association nationale des ingénieurs topographes No.3, Nouvelle série, Mars 1997
- Benaim E.H., A. M. Swassi and M.J. Sevilla (1997), " The first Northern Moroccan Geoid". Communication présentée à la XXII General Assembly of the European Geophysical Society, Vienne, Autriche, 21-25 Avril 1997. Publ.in Physics and Chemistry of the Earth Journal, Vol.23 No.1, pp.65-70.
- Duquenne H. (1998) "Comparison and combination of a gravimetric quasigeoid with a levelled PS data set by statistical analysis ". Presented at XXIII° General Assembly of European Geophysical Society, Nice, France, 20-24 April 1998. Submitted to Physics and Chemistry of the Earth.
- Doerflinger E. (1997) " Utilisation de la méthode de positionnement satellitaire GPS pour la détermination précise des altitudes relatives et absolues". Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France.
- Ashtech, (1997), "Process". User's guide, Sunnyvale, CA USA 94068.
- Ashtech, (1997), "Z-Family". Thechnical Reference Manual, Sunnyvale, CA USA, 94068.
- Ashtech, (1998), "Fillnet Winprism Network Adjustment". User's guide, Sunnyvale, CA USA 94068.
- Ashtech, (1998), "Mission Planing". User's guide, Sunnyvale, CA USA 94068.
- Ashtech, (1998), "Tools". User's guide, Sunnyvale, CA USA 94068.
- Ashtech, (1998), "File Transfer ". User's guide, Sunnyvale, CA USA 94068.

NOTES BIBLIOGRAPHIQUES (BIOGRAPHICAL NOTES)

E.H. Benaim Ph.D en géodésie, Professeur au département de Géodésie – Topographie à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc., ayant pratiqué la géodésie et topographie à l' ANCFCC, alias DCFTT, d'abord comme technicien géomètre puis comme ingénieur topographe avant de préparer M.Sc puis Ph.D en sciences géodésiques au Canada et s'engager dans l'enseignement; consultant auprès de plusieurs cabinets topographiques marocains, formateur au CRASTE-LF (Centre Régional Africain des Sciences et Techniques de l'Espace en Langue Française, à Rabat); Ayant participé à plusieurs manifestations scientifiques nationales et internationales et publié une trentaine d'articles sur l'utilisation du GPS dans les opérations cadastrales et sur le calcul du géoïde et le nivellement.

L. Bouramdane, Ingénieur Topographe, lauréat de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Chef de brigade au Service du Cadastre de Taza, Taza, Maroc

CONTACTS

El Hassan Benaim
 Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Dépt. de Géodésie et Topographie
 BP. 6202 Rabat-Instituts,
 Rabat
 MAROC
 Tel. + 212 37 68 01 80; GSM (212) 63 63 67 08
 Fax + 212 37 77 81 35
 Email: h.benaim@iav.ac.ma