

MISE EN ŒUVRE DE STATIONS GPS DIFFERENTIEL POUR LA NAVIGATION ET LA SIGNALISATION MARITIME

S. KAHLOUCHE, A. ZEGGAI, A. AYOUAZ, S. TOUAM, H. ABDELLAOUI

Centre National des Techniques Spatiales CNTS BP 13 Arzew 31200 - ALGERIE

ملخص: إن التشويش العمدي للإشارات المرسل من المجموعة « GPS » تحدد بقيمة معتبرة تطبيقات ألت موضع الأنبي (100م). لكن استعمال قواعد « DGPS » التي تبث عن طريق موجة HM التصحيحات المستنتجة، يسمح لنا تموضع انبي بدقة معتبرة، تقارب 2 إلى 5 م، وهذا مهما كان موقع المتحرك عن بعد لا يفوق 800 كلم .
إن هذه التصحيحات يتم الحصول عليها عن طريق مقارنة بين قياسات الأبعاد والنتيجة الابتدائية للموقع الدقيق لقاعدات « DGPS » في المعلم « WGS84 ». بداية تشغيل قاعدات « DGPS » التابعة للديوان الوطني للإشارات البحرية، تتطلب اختبار موقع لتنصيبها بصفة تسمح تغطية كل السواحل الجزائرية والحوض الجنوبي للبحر الأبيض المتوسط .
لقد تم تثبيت هذه القواعد في المعلم « WSG84 » في البداية كان باستعمال شبكة نقاط « ADOS » ثم تم استعمال شبكة نقاط « TYRGEONET » في المرة الثانية إن استعمال خلال حملات المشاهدة، آلات من نوع « ASHTECH Z-12 » مزدوج الموجة ن أعطوا دقة سنتيمترية على الموقع المطلق لقاعدات الإرسال.

Résumé :

La dégradation volontaire des signaux émis par la constellation GPS limite significativement (100m) les applications de positionnement en Temps réel.

L'utilisation de stations émettrices GPS Différentiel qui transmettent par liaison H.F les corrections élaborées, permet en fonction de la proximité du mobile dont la portée peut atteindre 800 Km, une précision de positionnement temps réel 2 à 5 m. Les corrections différentielles sont obtenues par comparaison des mesures de pseudo-distance avec une solution de référence déduite de la position précise des stations dans le système WGS84.

La mise en service des stations GPS Différentiel acquises par l'Office National de Signalisation Maritime a nécessité un choix de site d'implantation pour la couverture optimale de la côte algérienne et du bassin sud de la Méditerranée Occidentale. La configuration dans le système WGS84 (World Geodetic System) a été basée initialement sur l'utilisation du réseau ADOS (African Doppler Survey) et la détermination des lignes de base de rattachement par les récepteurs WM101.

La configuration géodésique finale a été effectuée à partir d'un réseau absolu précis déterminé dans le système mondial WGS84, et appuyé sur le réseau TYRGEONET établi dans le cadre d'une étude géodynamique régionale sur la Méditerranée. Les campagnes d'observations GPS menées successivement avec les récepteurs bifréquence Ashtech Z-12, ont fourni une précision centimétrique sur la position absolue des sites d'émission.

Mots clés : positionnement par GPS - GPS Différentiel - référentiels - signalisation et navigation maritime.

INTRODUCTION

La mise en service, par le Centre National des Techniques Spatiales (CNTS), du système de localisation par satellites sur GPS (Global Positioning System) acquis auprès de la société SERCEL / France par l'Office National de Signalisation Maritime (ONSM) a nécessité une étude pour la définition des sites d'implantation, la configuration et la mise en service de ces stations. Cette acquisition de l'ONSM entre dans le cadre de la mise en place et de la fourniture de trois stations GPS Différentiel en vue d'apporter une aide à la navigation le long des côtes algériennes.

Le GPS est un système de positionnement tridimensionnel dont la mesure est basée sur la réception des signaux émis par la constellation dans la bande L (L1=1.2Ghz, L2= 1.6 Ghz). Il fournit à partir d'observations de pseudo-distance ou de

déphasage (combinaisons simples, doubles, triples...) des positions absolues (X,Y,Z) dans le référentiel de coordonnées cartésiennes WGS84 ou des différences de position ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) entre stations.

Le système GPS permet un positionnement précis, dans le système mondial WGS84, aussi bien pour les applications civiles (géodésie, génie civil, cartographie, localisation isolée, navigation expédiée,...) que pour les applications stratégiques (navigation, conduite précise de mobiles, poursuite de satellite,...).

Les principaux facteurs qui affectent la précision du positionnement sont essentiellement :

- le niveau de codage accessible et la configuration des satellites.

- le niveau de codage accessible et la configuration des satellites.
- les modèles introduits (atmosphériques, éphémérides,...) et la durée des observations.
- la qualité du récepteur (bifréquence,...) et la puissance du logiciel

1- Principe du GPS Différentiel

Afin d'interdire toute utilisation du système GPS pour des applications stratégiques en Temps -Réel (navigation aérienne et conduite de missiles au mètre près, navigation satellite,...), le DOD / US impose des dégradations sur le signal émis par les satellites. Ainsi, seuls les organismes autorisés peuvent accéder au contenu du message de navigation (codage et intégrité) leur permettant d'atteindre les pleines performances du système. Une variante, le DGPS, a été permise par les militaires américains, le GPS Différentiel ou DGPS qui n'est opérationnel que pour des applications particulières comme la navigation et la signalisation maritime.

Pour pallier à la dégradation volontaire mise en place par le DOD / US qui génère un systématisme d'ordre hectométrique et corriger certaines erreurs inhérentes au système, le mode de positionnement DGPS consiste à utiliser un récepteur multicanaux (10 à 12) basé à terre, de coordonnées précisément connues dans le système mondial WGS84. Sur la base des signaux dégradés qu'il reçoit, le récepteur calculera en fonction de sa position réelle, les corrections à appliquer (pour chaque satellite GPS) aux pseudo-distances mesurées qu'il suffira alors d'émettre vers les utilisateurs potentiels.

La réception, selon la gamme de fréquence utilisée (haute fréquence), pourrait être effectuée jusqu'à une distance de 800 Km (en mer) et permettre une précision en temps réel (toutes les 0.6s pour le système Sercel) de quelques mètres ($\sigma < 5m$). La précision métrique ainsi obtenue, hormis les applications en navigation maritime, est indispensable à des travaux bathymétriques et hydrographiques.

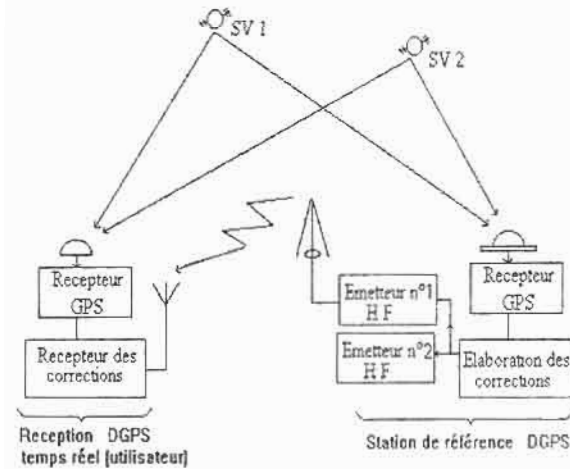


Fig. 1 : Principe du GPS Différentiel

2- Définition des sites des stations d'émission

La mise en service des stations nécessite une étude pour la définition des sites d'implantation, la configuration et l'implantation de ces stations.

Les sites retenus pour les stations d'émission GPS Différentiel sont :

- Ouest : Cap Falcon : station longue portée (800 Km, 100 Watts)
- Est : Rabta / Jijel : station longue portée (800 Km, 100 Watts)
- Centre : Cap Caxine : station mobile courte portée (50 Km, 8 Watts)

Si la station de Cap Caxine n'exige pas de préalables du point de vue choix de site de par sa caractéristique de station mobile; les stations longues portées doivent par contre obéir pour leur implantation, à des considérations d'ordre technique (couverture optimale de la partie du territoire ou côte) et de pérennité (garantie de fonctionnement pour les utilisateurs potentiels).

L'analyse des différents résultats numériques obtenus montre clairement que les sites d'émission les plus favorables techniquement pour les stations GPS Différentiel longues portées sont Cap Falcon à l'Ouest et Cap Bougaroune à l'Est; néanmoins, concernant le site de l'Est, des modalités pratiques imposent le choix de Rabta dans la zone de Jijel.

3. Sites de réception

Le choix des sites de réception pour évaluer la qualité de réception dépend de deux facteurs principaux :

- La topographie de la côte (cas défavorables constitués par l'intérieur des baies).
- La nature du site (proximité de port important) et l'utilisation potentielle des stations.

Les principaux paramètres de calcul dont dépend la qualité de réception sont le type de sol (terrain pauvre, zones boisées, urbain, marécages, mer.), la puissance rayonnée (8 à 100 W), les fréquences d'émission (1.6 à 3.2 Mhz), le nombre et la longueur de chaque section traversée par le signal Haute Fréquence.

La portée maximale est obtenue en propagation sur la surface marine (800 Km); en terrain pauvre la portée excède à peine 50 Km.

Les paramètres choisis pour le traitement sont ceux qui sont considérés comme les plus probables et ce dans le cas le plus défavorable. Pour les stations longues portées de l'Est et de l'Ouest, une étude comparative sur la qualité de réception a été effectuée selon les paramètres les plus défavorables. La qualité de la réception est caractérisée par le rapport Signal / Bruit qui est donné par le champ total reçu dont est déduit le bruit atmosphérique.

Pour les fréquences allouées (F1 et F2) aux stations de Falcon (terrain pauvre) et de Rabta (sol humide), la qualité de réception est fournie par la figure 2. La

couverture des stations côtières algériennes et de la station de Toulon (reçue à Arzew) est donnée par la figure 3.

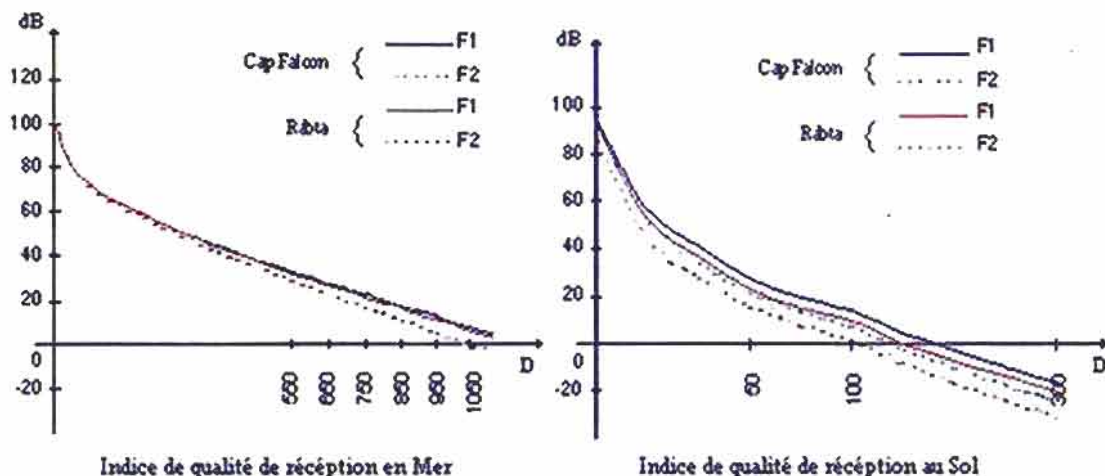


Fig. 2 : Indice de qualité de réception et nature du sol

NAVIGATION MARITIME PAR DGPS

Zones de réception des signaux DGPS

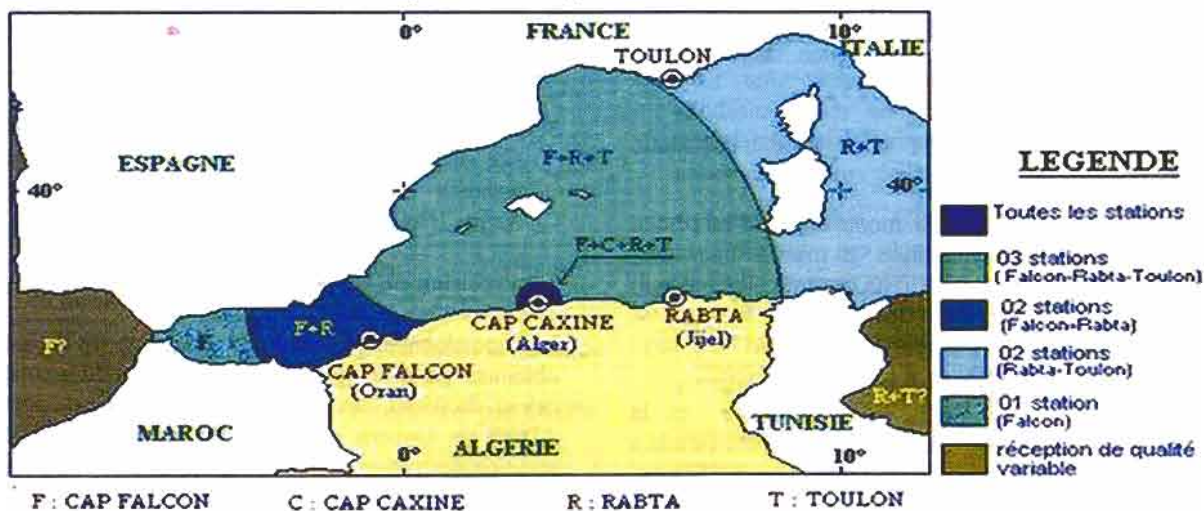


Fig. 3 : zones de réception des signaux DGPS

4. Systèmes de référence WGS84

Les systèmes WGS sont développés par le DOD-US, depuis WGS60, l'approximation de la figure de la terre et de son champ de gravité a évolué pour aboutir à la définition actuelle du WGS84 qui est le système de référence pour les éphémérides GPS radiodiffusées et précises. Actuellement, le WGS84 est défini par un système de coordonnées géométriques, un modèle ellipsoïdique, un modèle du champ gravitationnel terrestre et un jeu de paramètres de transformation. Les paramètres choisis pour le WGS84 sont proches de ceux du GRS80 (Geodetic Reference System) adopté comme système international.

En pratique, il est défini par un jeu de stations réparties à la surface terrestre. Il est obtenu à partir du système NSW 9Z-2 utilisé pour les éphémérides précises des satellites NNSS et de l'introduction des résultats d'autres techniques spatiales. Pour les applications du GPS, les paramètres de transformation entre les différents systèmes géodésiques et le WGS84 sont pour la plupart du temps connus et publiés, néanmoins pour l'exploitation précise des données fournies par le positionnement par GPS Différentiel le long des côtes algériennes, la transformation WGS84 - Nord Sahara reste à définir.

4.1 Réseau ADOS - African Doppler Survey :

Le projet ADOS a été lancé en 1982 afin de permettre la normalisation des réseaux géodésiques africains. Le réseau, exprimé dans le référentiel NSW 9Z-2 réalisé par technique Doppler sur satellites Transit et comprenant 310 points (dont 18 en Algérie), constituera un réseau d'ordre zéro, canevas de base du Réseau Géodésique Intégré pour l'Afrique (RGIA), particulièrement au vu de la précision finale obtenue (0.9 m en absolu).

4.2 Réseau TYRGEONET - TYRhenian GEOdetic NETwork :

Le projet TYRGEONET est monté autour d'un réseau de surveillance géodynamique en mer Méditerranée, mené principalement par l'ING (Istituto Nazionale di Geofisica) de Rome et l'Université de Bologne et auquel participent plusieurs institutions de pays limitrophes depuis 1990 dont le CNTS et l'INCT.

Initialement monté pour l'océanographie et la surveillance de la péninsule italienne, il a été étendu à plusieurs pays riverains de la Méditerranée : France, Tunisie, Grèce, Albanie, Slovénie, Croatie et Algérie.

Plus de 50 points constituent le réseau TYRGEONET dont certains sommets sont déterminés par les techniques VLBI et SLR.

5- Détermination de la position des stations d'émission

L'élaboration des corrections sur les pseudo-distances nécessite la position de chaque station d'émission DGPS (Caxine/Alger, Falcon/Oran et Rabta/Jijel) dans le référentiel WGS84 à mieux que 5 mètres. Les divers travaux menés ont été basés sur l'utilisation d'un point (Douéra-AAG008) appartenant au réseau ADOS et connu avec une précision de 0.9 mètres et de deux points TYRGEONET (Alger et Arzew).

5.1 Campagnes d'observations GPS

Trois campagnes GPS ont eu lieu entre Alger, Oran, et Jijel. Elles ont porté sur l'observation pour une durée d'une heure pour les sites de Douéra, Caxine, Arzew et Falcon; et de quatre heures pour le triangle Arzew (CNTS), Alger (INCT) et Jijel (Rabta).

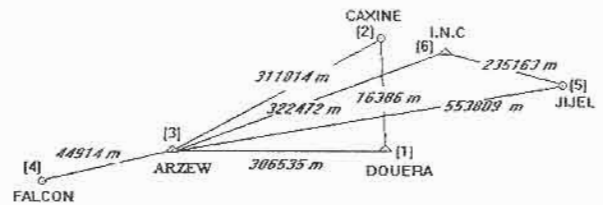


Fig 4 : le réseau GPS Différentiel

1ère phase: Mai 1994, avec deux récepteurs monofréquence WM101 pour l'observation des lignes de bases Douéra -Caxine, Douéra-Arzew et Caxine-Arzew.

2ème phase: Mai 1995, après le choix du site de Falcon, avec deux récepteurs bifréquences Ashtech Z-12 pour l'observation de la ligne de base Arzew-Falcon.

3ème phase: Juin 1997, après le choix définitif du site de Rabta, avec trois récepteurs bifréquences Ashtech Z-12 pour l'observation du triangle Arzew (CNTS) - Alger (INCT) - Jijel (Rabta).

5.2 Précision du réseau de stations

Les coordonnées des stations de Caxine et Falcon, obtenues dans le système WGS84 lors du premier calcul de 1996, sont déterminées à partir du point ADOS de Douera (coordonnées transformées) par addition des composantes de lignes de bases.

Une nouvelle détermination du réseau ONSM dans le système WGS84 avec introduction d'observations supplémentaires de Rabta (Jijel) a permis d'obtenir des coordonnées précises. Le réseau est appuyé cette fois-ci sur des points appartenant au réseau

géodynamique de TYRGEONET (Arzew-CNTS et Alger-INCT) dont la précision est d'environ 02 centimètres. La précision finale du réseau de stations est :

Site	Ecart type	Observation
Arzew	2 cm	Point fixe TYRGEONET
Alger	2 cm	Point Fixe TYRGEONET
Rabta	7.8 cm	Point rattaché à TYRGEONET par récepteurs bifréquence
Falcon	2.4 cm	Point rattaché à TYRGEONET par récepteurs bifréquences
Caxine	90 cm	Point rattaché au réseau ADOS (Douéra) par récepteur GPS monofréquence WM101

Tab. 1 : Précision de la position ajustée des points du réseau

En outre, des observations GPS pour un positionnement absolu ont été effectuées avec les récepteurs WM101 monofréquence (code C/A) et multicanaux (8) et traitées avec le logiciel POPS (Post Processing Software) de l'université de Berne. La précision absolue obtenue sur les divers points stationnés avoisine 10 m à partir d'observations effectuées sur 4 à 7 satellites.

La comparaison des coordonnées absolues du site de Falcon (WGS84) obtenues par les différentes méthodes a donné les résultats suivants :

Méthode de détermination	Précision
GPS absolu (WM101)	10 m
Nord-Sahara transformé par le modèle de Bursa	7 m
Liaison GPS/WM101 à partir de Douéra (ADOS)	1.6 m
Liaison GPS/Ashtech Z-12 à partir du réseau TYRGEONET	3 à 8 cm

Tab. 2 : Précision de détermination selon la méthode de positionnement

5.3 Précision de localisation Temps réel par DGPS

Le décalage, par contrôle des coordonnées, entre la position DGPS et la position obtenue par la méthode statique confirme la précision (<5m) du DGPS. En outre, la réception des corrections élaborées par la station de Toulon (France) et reçue à Arzew a permis de mettre en évidence le décalage longue portée (800 Km) des stations DGPS.

Date	Site de réception	Site d'émission	Décalage constaté
16-6-96		Toulon	2.7 m
12-2-96	Arzew	Falcon	1.2 m
10-3-98		Falcon	1.7 m
17-6-97	Jijel	Rabta	1.7 m

Tab. 3 : Contrôle des résultats GPS différentiel

6. Configuration des équipements DGPS

La configuration des équipements DGPS consiste à introduire les données relatives à la station DGPS et aux paramètres de traitement de l'utilisateur (récepteur mobile).

6.1 Configuration de la station émettrice

L'opération de configuration est réalisée en assurant le contrôle automatique de la liaison Récepteur - 'Formatter' de la station par l'intermédiaire d'un logiciel et en tenant compte des paramètres caractéristiques suivants :

- Position : dans le système WGS84, avec une précision inférieure à 5 mètres.
- Fonctionnement : fréquences et puissance d'émission, élévation et désélection des satellites.
- Codage : clé de cryptage des données de corrections transmises.

La configuration peut être reprise dès qu'il y a disponibilité de données plus précises.

6.2 Configuration du récepteur

Pour tenir compte de la diversité des systèmes géodésiques, la configuration des récepteurs de navigation est personnalisée en fonction des paramètres locaux de la zone de navigation :

- **Configuration GPS (aspect géodésique) :**
Définition des données relatives à la géodésie (ellipsoïde de référence, datum, paramètres,...), et mise à jour des données GPS (almanachs, paramètres ionosphériques, UTC,...).

- **Mode de fonctionnement différentiel :**

Définition des paramètres de fonctionnement interne du récepteur en mode différentiel (position de la station d'émission, fréquences, sélection de station). Pour les stations codées, les données de corrections étant cryptées à l'émission, il faudra disposer des clés d'identification du récepteur et de décryptage qui ne peuvent être fournies que par les gérants de la station.

CONCLUSION

La mise en place de stations GPS Différentielles par l'Office National de Signalisation Maritime, permet une localisation temps réel de précision métrique, le long des côtes algériennes en couvrant tout le bassin sud de la Méditerranée Occidentale.

Les données fournies par le GPS Différentiel dans le référentiel WGS84, hormis les applications de grande précision ($\sigma < 1$ m) peuvent être intégrées en travaux maritimes.

Les applications relatives aux levés hydrographiques précis avec une combinaison avec le procédé cinématique, permet une restitution précise du fond marin. En outre, la mise en place de système d'information hydrographique et de navigation ou de bases de données côtières doivent être appuyées sur des données de localisation précises et en temps réel comme pour les besoins de localisation isolée (navigation, signalisation maritime, ...).

L'utilisation du GPS mode différentiel dans le système local nécessite la disponibilité des paramètres de transformation entre réseaux et des informations sur le géoïde le long de la côte. Pour l'exploitation dans le système cartographique national des positions fournies par le DGPS, et pour une meilleure détermination lors de la conduite de travaux maritimes précis, il convient d'utiliser un réseau d'appui basé sur une densification par GPS Bifréquence avec une longue durée d'observation et un traitement utilisant les éphémérides précises.

Les diverses applications océanographiques portent essentiellement sur les travaux de signalisation maritime (localisation précise des équipements, bouées,...), la navigation maritime précise ($\sigma \approx 2$ m) en temps réel (0.6 s), les levés bathymétriques (échosondeur couplé au récepteur DGPS), l'établissement ou la mise à jour de Bases de Données (hydrographiques, littoral,...) et la constitution de SIG sur le littoral.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'Office National de Signalisation Maritime pour avoir mis à leur disposition les stations d'émission GPS Différentiel et

les récepteurs de navigation qui ont permis de mettre en œuvre le positionnement en Temps réel.

Bibliographie

H. ABDELLAOUI

Positionnement et navigation en temps réel par satellites GPS

Thèse de Magister - CNTS- 1998

A. AYOUAZ

Positionnement temps réel par DGPS

Rapport technique CNTS - 1997

H. HOFMANN WELLENHOF, H. LICHTENEGGER

GPS: Theory and Practice

Second Edition Springer Verlag

S. KAHLOUCHE

Differential GPS in Maritime Signalling

Assemblée générale de l'UGGI/ IAG Positioning symposium -Boulder/ USA - 2 au 14 Juillet 1995

S. KAHLOUCHE, A. ZEGGAI, A. AYOUAZ

Positionnement temps réel par GPS différentiel en Méditerranée occidentale

Journées Nationales d'Etudes sur les Sciences de la Mer - Tamentfoust - 25 au 27 Mai 1998

F.Z. LOHMAR

World Geodetic System 1984

In GPS Techniques Applied to Geodesy and Surveying - Darmstadt April 1988

SERCEL

NDS200 Station DGPS HF

Manuel technique - 1994

D. WELLS

Guide to GPS positioning

Canadian GPS Associates, 1997