

ETABLISSEMENT DE PLANS CADASTRAUX EN ZONE RURALE PAR LA TECHNIQUE G.P.S.

B. GHEZALI, N. NABED, H. TAIBI, A. Boudaoud, D. Benkhalef, B. GOURINE, C. SAHEL

Centre National des Techniques Spatiales
Laboratoire de Géodésie - CNTS B.P, 13 ARZEW31 200.

*

ملخص:

باعتبار الصعوبات التي يمكن أن يتلقاها مستعملو (GPS) لإنتاج التصاميم التأسيسية في المناطق الريفية يقترح فريق من المركز الوطني للتقنيات الفضائية عرض ، بواسطة هذه المقالة ، مراحل إنجاز مساحة تأسيسية باستعمال تقنية (GPS).

ترتكز المنهجية المطورة على استغلال قياسات مرحلة إشارات (GPS) بالطريقة الإحصائية فيما يخص شبكة التحكم و بالطريقة الحركية (STOP&Go) فيما يخص المسح التفصيلي إن الاختبارات المنجزة قد خصصت لإنشاء مخطط تأسيسي بمنطقة ريفية ، تبلغ مساحتها 150 هكتار، متواجدة بقرية بوسفر.

RESUME :

Prenant en compte les possibles difficultés des utilisateurs GPS pour la production des plans cadastraux en zone rurale, une équipe au CNTS s'est proposée de présenter à travers cet article un processus de réalisation d'un levé cadastral par la technique GPS. La méthodologie développée est basée sur l'exploitation de mesures de la phase des signaux GPS en mode statique pour le canevas d'appui et en mode cinématique (Stop & Go) pour le levé de détails.

Les tests effectués ont porté sur l'établissement d'un plan cadastral d'une zone rurale, d'une superficie de 150 hectares, située dans la commune de Bousfer.

MOTS-CLES: Ambiguïtés, Cadastre rural, Cinématique, GPS, Initialisation, Statique, Stop&Go, Transformation, WGS84, Nord Sahara.

ABSTRACT :

Taking into account the possible difficulties of GPS users for cadastral plans production in rural areas, an NCST group propose to present through this article, a process of realization of a cadastral survey by GPS technique.

The developed methodology is based on the exploitation of measures of GPS signals in static mode for the control network and in kinematic mode (STOP & go) for the detail survey . the tests achieved focused on the establishment of a cadastral plan in a rural area, with a surface of 150 hectares situated in the village of Bousfer.

* Article publié dans le Bulletin des Sciences Géographiques avec l'aimable autorisation des auteurs.

INTRODUCTION :

Différentes méthodes d'établissement de plans cadastraux en zone rurale (levé à la planchette, levé tachéométrique, restitution des photographies aériennes) sont jusqu'à présent utilisées par les services du cadastre. A ces techniques classiques se sont substituées de nouvelles techniques, basées sur l'utilisation de satellites artificiels comme le Global Positioning System (GPS), offrant des performances beaucoup plus intéressantes compte tenu des critères suivants :

délais d'exécution très courts (rapidité des observations, moins d'interventions et d'intervenants),
fiabilité des résultats (canevas d'appui précis et homogène),

système tout temps et continu,

absence de contraintes d'inter visibilité ou de répartition géométrique,

Les tests effectués ont porté sur l'établissement d'un plan cadastral d'une zone rurale, d'une superficie de 150 hectares, située dans la commune de Bousfer. Les données utilisées dans le traitement et qui ont permis la réalisation de ce travail sont constituées de 05 sessions d'observation GPS conduites entre le 27 Avril et le 06 Mai 1997. La durée maximale d'une session d'observation est d'environ 02 heures.

Les paramètres de transformation entre les systèmes mondial (WGS84) et local (Nord Sahara), appliqués à la zone de travail, sont déterminés à partir d'un jeu de coordonnées de points connus dans les deux systèmes.

Les coordonnées des points, exprimées dans le système géodésique Nord Sahara (UTM), sont obtenues avec une précision de 06 cm en planimétrie et de 27 cm en altimétrie.

I. PLANIFICATION DE LA MISSION GPS :

1.1. Avant projet :

Cette étape consiste essentiellement à la collecte des données relatives à la zone de travail (documents administratifs, cartes topographiques, répertoires géodésiques, ...).

1.2. Reconnaissance :

La phase "reconnaissance sur le terrain" consiste à :

- identifier les bornes géodésiques existantes,
- choisir les sites assez dégagés qui peuvent être des stations de référence pour le levé de détails,
- localiser tous les obstacles pouvant interrompre les signaux émis par les satellites au cours du levé cinématique,
- repérer et fixer les limites des propriétés,
- tenir compte des changements des limites,
- choisir l'itinéraire optimal de chaque chaîne cinématique,
- choisir le mode d'observation adéquat,
- établir des croquis de repérage de toutes les chaînes du levé de la zone avec leur station de référence.

1.3. Modes d'observations et configuration des récepteur GPS :

Le matériel utilisé lors de cette campagne d'observations GPS est de type " WILD GPS SYSTEM 200 " et se composé de :

- deux capteurs bifréquences GPS WILD SR 299 à 9 canaux,
- deux embases avec trépied,
- une canne à longueur variable,
- deux contrôleurs GPS WILD CR 233 (RAM 512 ko),
- deux batteries (12 V, durée de 06 heures).

1.3.1. Modes d'observations :

Le levé des points de détails (limites de parcelle, pistes, routes, oueds, puits,...) a été effectué en mode cinématique "Stop&Go" qui est une méthode d'observation rapide et économique.

Le récepteur mobile enregistre les observations uniquement sur les points à déterminer tout en maintenant le contact "récepteur-satellites". En d'autres termes, le récepteur itinérant n'enregistre pas les observations au cours des déplacements d'un point à un autre ce qui favorise d'éviter quelques obstructions qui figurent entre les points.

Le récepteur fixe enregistre en continu les observations. Comme la capacité de la carte mémoire est limitée à 512 ko, il est utile pour l'opérateur d'évaluer pour chaque sortie sur le terrain la durée maximale des observations qui est fonction de la cadence d'enregistrement choisie et du nombre de satellites observés. Le tableau suivant fournit la durée maximale des observations en fonction du nombre de satellites et pour différentes cadences d'enregistrement qui sont recommandées en mode Stop&Go :

Intervalle d'enregistrement	Nombre de satellites		
	4	5	6
3 secondes	2h.	1h 45mn	1h 30mn
4 secondes	2h 45mn	2h 30mn	2h.
5 secondes	3h 30mn	3h.	2h 30mn

Tableau 1 : Durées des observations.

1.3.2. Configuration des récepteurs :

Les paramètres à introduire au niveau des deux récepteurs sont :

- le mode d'observation(mode statique pour le récepteur de référence et mode Stop&Go pour le récepteur itinérant),
- la cadence d'enregistrement des mesures doit être identique pour les deux récepteurs,
- le nombre minimum de satellites à observer (0 4 satellites),
- l'angle de coupure en élévation (15°).

1.4. Levé cinématique : "Stop&Go"

Afin d'assurer un bon déroulement d'une campagne d'observations GPS, il est souhaitable de prévoir pour chaque sortie sur terrain :

- les stations de référence,
- les meilleures périodes d'observations
- le meilleur itinéraire et le type de véhicule nécessaires pour les déplacements,
- la vérification de la carte mémoire du récepteur,
- le contrôle de la charge des batteries.

1.4.1. Initialisation d'un levé cinématique :

Le principe du GPS cinématique repose sur la résolution des ambiguïtés de phase au début du levé qui sont reportés sur la totalité des points de détails à condition que le contact soit maintenu en continu avec au moins quatre satellites.

La phase d'initialisation consiste alors à déterminer le nombre d'ambiguïtés entières de la phase et s'effectue avant de commencer le levé des détails de chaque chaîne cinématique.

Il existe plusieurs méthodes d'initialisation :

- Initialisation sur une ligne de base connue
- Initialisation en mode statique rapide
- Initialisation par permutation d'antennes
- Initialisation en vol (OTF)

La technique d'initialisation utilisée lors de cette campagne d'observations GPS est celle en mode statique rapide qui consiste à observer sur le premier point de la chaîne cinématique pendant quelques minutes.

Principe: le récepteur fixe qui est mis en station sur le point de référence (R) enregistre les mesures en continu et le récepteur mobile effectue des mesures pendant quelques minutes sur le premier point (M₁) à déterminer afin de réaliser l'initialisation du levé puis se déplace sur les autres points de la chaîne (M₂, M₃, ...).

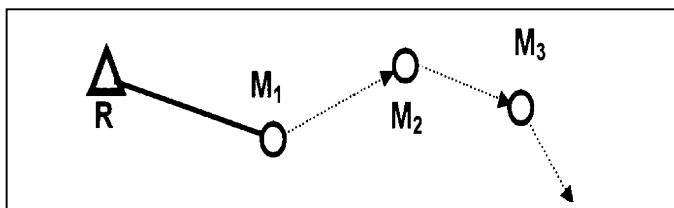


Figure1 : Initialisation en mode statique rapide

1.4.2. Déroulement du levé des détails :

Après avoir effectué l'étape d'initialisation (pour chaque chaîne Stop&Go), le récepteur itinérant se déplace d'un point à un autre. Chaque point est occupé pendant 3 à 4 époques (nombre recommandé par WILD) dont une époque correspond à la cadence d'enregistrement. Une chaîne Stop&Go comprend plusieurs points de détails dont les ambiguïtés sont fixes pour toutes les observations de cette chaîne. Une session d'observation est composée d'une ou de plusieurs chaînes Stop&Go et qui correspond à une sortie sur le terrain. Dans le cadre de ce travail, la campagne d'observation GPS comporte 05 sessions dont chacune comprend 01 à 04 chaînes Stop&Go et sont fournies par le tableau suivant:

N° session	Durée des observations	Nbre de chaînes	Nbre de points levés
1	00h 34 mn	01	13
2	01h 27 mn	01	66
3	02h 00 mn	03	37
4	01h 40 mn	04	24
5	01h 45 mn	05	56

Tableau 2 : Sessions d'observations GPS.

La cadence d'enregistrement des données est de **04 secondes** pour les deux premières sessions d'observation. Face aux contraintes de la capacité de la carte mémoire du contrôleur CR233, on était amené à augmenter la cadence d'enregistrement à **05 secondes** pour bénéficier un gain de 30 minutes d'observation. La durée maximale d'une session d'observation est d'environ 02 heures (session n°3).

Le contact doit être maintenu avec **au moins quatre satellites** lors des déplacements du récepteur entre les points. En cas de perte du contact avec un ou plusieurs satellites causé par des obstructions (arbre, bâtis, ...), le contrôleur GPS CR233 signale en temps réel cette interruption en indiquant le(s) numéro(s) du(es) satellite(s) correspondants.

Si le nombre de satellites est inférieur à 04, la chaîne Stop&Go doit être clôturée (problème de la résolution des ambiguïtés) et on sera amené à effectuer une nouvelle chaîne Stop&Go pour conserver une précision homogène de toutes les chaînes.

L'opérateur doit établir sur le terrain un croquis de repérage de chaque chaîne et reporte tous les numéros des points de détails correspondants.

1.4.2.1. Contrôle des points de détails :

Il existe deux méthodes de contrôle du levé des points de détails :

- la première méthode consiste à réoccuper quelques points du levé en utilisant une autre station de référence
- et la seconde méthode consiste à équiper le chantier de points de contrôle (déterminés en mode statique rapide) et à les réobserver en mode Stop&Go.

1.4.2.2. Précautions à prendre :

Les précautions essentielles à prendre avant la sortie sur le terrain et durant les observations sont :

- bien qu'il soit possible avec la méthode Stop&Go d'observer seulement 04 satellites, il est recommandé d'utiliser des fenêtres d'observation de 05 à 07 satellites pour des raisons de sécurité. (cas d'une interruption du signal GPS).
- l'opérateur doit mentionner le temps du début des mesures et estimer la durée maximale des observations avant d'effectuer les observations (capacité de la carte mémoire du récepteur limitée).
- l'opérateur doit mesurer la hauteur d'antenne de la station de référence au début et à la fin de chaque session.
- l'opérateur doit mentionner et vérifier la hauteur de la canne aux points de détails avant d'enregistrer les mesures.

1.4.2.3. Validation des observations G.P.S. :

A la fin de chaque journée d'observation, on effectue un prétraitement des données collectées durant toute la session afin de valider les observations par le moyen du contrôle de la résolution des ambiguïtés et des écarts types des coordonnées de chaque point de la chaîne. Le traitement préliminaire se fait chaîne par chaîne.

1.4.2.4. Etablissement des fiches de synthèse :

Une fiche de synthèse est une fiche d'observations de chaque chaîne Stop&Go et qui regroupe toutes les informations jugées utiles au contrôle et à l'édition des données lors des traitements; Elle contient :

- le numéro de la chaîne ainsi que les numéros des points de départ et d'arrivée,
- le temps du début et fin des observations,
- le nombre de satellites visibles et le GDOP correspondant,
- les numéros des satellites dont le signal a été interrompu,
- la hauteur et l'excentrement d'antenne,
- le croquis de repérage.

2. TRAITEMENT DES DONNEES G.P.S. :

2.1. Processus de traitement de la campagne d'observations G.P.S. :

Les principales étapes du traitement des données GPS sont :

1- transfert et contrôle des données collectées (vérifier l'identification des points, les coordonnées des points fixes, les hauteurs et les excentrement d'antennes),

2- choix des paramètres de calcul (type d'éphémérides : radiodiffusées, modèle atmosphérique: standard (Hopfield), angle de coupure : 15°, type de traitement : bifréquences (L1 + L2), EMQ (écart type) à priori : 10 mm).

3- traitement des observations :

Les données sont traitées en mode relatif "Stop&Go" par rapport aux stations de référence et le calcul a été effectué chaîne par chaîne.

Les sauts de cycles sont détectés par la triple différence et corrigés de façon automatique par le logiciel SKI.

Le logiciel SKI fournit pour chaque chaîne les résultats suivants :

- composantes des lignes de base de chaque point de détail ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$).

- coordonnées cartésiennes (X, Y, Z) et géographiques (λ, ϕ, h) des points de détails, exprimées dans le système WGS84.

- coordonnées GPS (WGS84) transformées en coordonnées locales (Nord Sahara/UTM).

4-Contrôle du traitement :

Après chaque traitement, Il est nécessaire de consulter les fichiers "résultats" et d'effectuer les opérations suivantes :

- contrôle du nombre de satellites visibles.

-identification de tous les satellites dont l'ambiguïté n'a pas été résolue et intervenir manuellement pour éliminer ces satellites pour un nouveau traitement. Dans ce cas, il faut être prudent car l'élimination d'un satellite peut augmenter la valeur du GDOP.

- contrôle des divers EMQ : la solution est bonne si les **EMQ flottant** (EMQ avant fixation des ambiguïtés) et **EMQ fixé** (EMQ après fixation des ambiguïtés à leurs valeurs entières) sont inférieurs à l'**EMQ à priori**. Dans le cas contraire, il faut faire varier l'EMQ à priori et refaire le traitement.

2.2. Précision et analyse des résultats :

Les résultats finaux obtenus lors de ce traitement sont au niveau de précision permis par cette campagne d'observation GPS en mode Stop&Go. L'EMQ à posteriori des résidus, après ajustement de chaque ligne de base, correspond à une valeur moyenne de l'ordre 03 cm. La moyenne des écarts types (EMQ) sur les coordonnées de chaque point de détail du levé est de l'ordre centimétrique. Pour l'ensemble des points des chaînes Stop&Go, les ambiguïtés ont été résolues (fixées à leurs valeurs entières) et la valeur de l'écart type des résidus (EMQ à posteriori : 2.2 à 3.4 mm) est inférieure à l'EMQ à priori (10 mm). En d'autres termes, tous les EMQ fixés et flottants correspondants sont inférieurs à l'EMQ à priori (10 mm). Néanmoins, il a été constaté pour quelques points des chaînes Stop&Go que les résidus ont des écarts types (EMQ à posteriori) supérieurs à l'EMQ à priori (10 mm) et sont situés dans un intervalle de [11, 60 mm]. Diverses causes peuvent être à l'origine : GDOP à 06, sauts de cycles, ambiguïtés non résolues (non fixées à leurs valeurs entières).

En résumé, la précision sur les coordonnées des points de détails dépend :

- de la durée des observations,
- de la distance entre le point de la chaîne et le point d'initialisation,
- du GDOP,
- des incidents survenus sur le terrain (stabilité de la canne, sauts de cycles, ...),
- de la résolution des ambiguïtés.

2.3. Transformation des coordonnées GPS en coordonnées locales :

Les travaux du cadastre s'appuient sur le réseau géodésique national (Nord Sahara) et les coordonnées GPS sont exprimées dans le système mondial géocentrique (WGS84). A cet effet, les paramètres de transformation entre les deux systèmes s'avèrent indispensables pour l'exploitation des résultats obtenus lors du traitement des données GPS.

La méthode de détermination des paramètres de transformation entre les deux systèmes est l'approche "Stepwise" qui est intégrée dans le logiciel SKI. Cette technique nécessite la connaissance de :

- 02 points d'appuis au minimum connus en planimétrie dans les deux systèmes géodésiques pour effectuer la transformation planimétrique (méthode d'Helmert à 04 paramètres),

- 03 points de contrôle connus en altitudes pour la transformation altimétrique. Cette méthode est utilisée lorsqu'on ne dispose pas d'information précise sur la hauteur du géoïde et n'est valable que pour des petites étendues relativement plates dont la variation du géoïde est quasiment nulle.

La relation permettant la détermination des paramètres de transformation planimétrique par la méthode d'Helmert est la suivante :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_{UTM} = \Delta \begin{pmatrix} \cos \varepsilon & -\sin \varepsilon \\ \sin \varepsilon & \cos \varepsilon \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_{GPS} + \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix}$$

Avec :

- $(X, Y)_{GPS}$: coordonnées planes GPS obtenues à partir des coordonnées tridimensionnelles $(X, Y, Z)_{GPS}$ (en adoptant l'ellipsoïde local du Nord Sahara et en omettant l'altitude H_e)

- $T_x, T_y, \varepsilon, \Delta$: quatre paramètres de la transformation planimétrique (02 translations, 01 rotation et 01 facteur d'échelle).

Huit points ont été utilisés pour le calcul des paramètres de transformation :

- 03 points déterminés lors de la campagne d'observation GPS en Mars 1997, par l'antenne local du cadastre d'Oran, Bousfer,

- 02 points observés dans le cadre de la "Densification cadastrale par GPS" ~Thèse de Mr N. Nabad Mai / 1995),

- 03 points connus seulement en altimétrie .

Les paramètres de la transformation planimétrique entre les deux systèmes sont

fournis par le tableau suivant :

Paramètres	Valeurs
Translation en X : T_x (m)	- 0.057
Translation en Y : T_y (m)	0.073
Rotation ε : (")	0.466330
Facteur d'échelle : Δ (ppm)	12.208921

Tableau 3 : Paramètres de transformation entre les systèmes WGS84 et Nord Sahara.

Les précisions planimétrique et altimétrique sur les coordonnées des points obtenues lors de la transformation sont respectivement de l'ordre de 06 cm et 27 cm.

3. REDACTION DU PLAN CADASTRAL :

Le logiciel utilisé lors de la rédaction du plan cadastral s'intitule "SURFER" et offre deux possibilités de tracé du plan :

- la première consiste à gérer le fichier global contenant les coordonnées de tous les points du levé, exprimées dans le système local Nord Sahara UTM, pour établir le semi de points avec les numéros correspondants. Les opérations du tracé sont ensuite effectuées manuellement en se référant aux fiches de synthèse (croquis de repérage),

- la deuxième consiste à effectuer automatiquement le tracé du plan. Pour cela, il est nécessaire de créer des tables pour chaque objet (polygone, ligne, point) et contenant comme attributs les coordonnées correspondantes.

L'habillage du plan a été réalisé par le logiciel "MAPINFO" (figure 2).

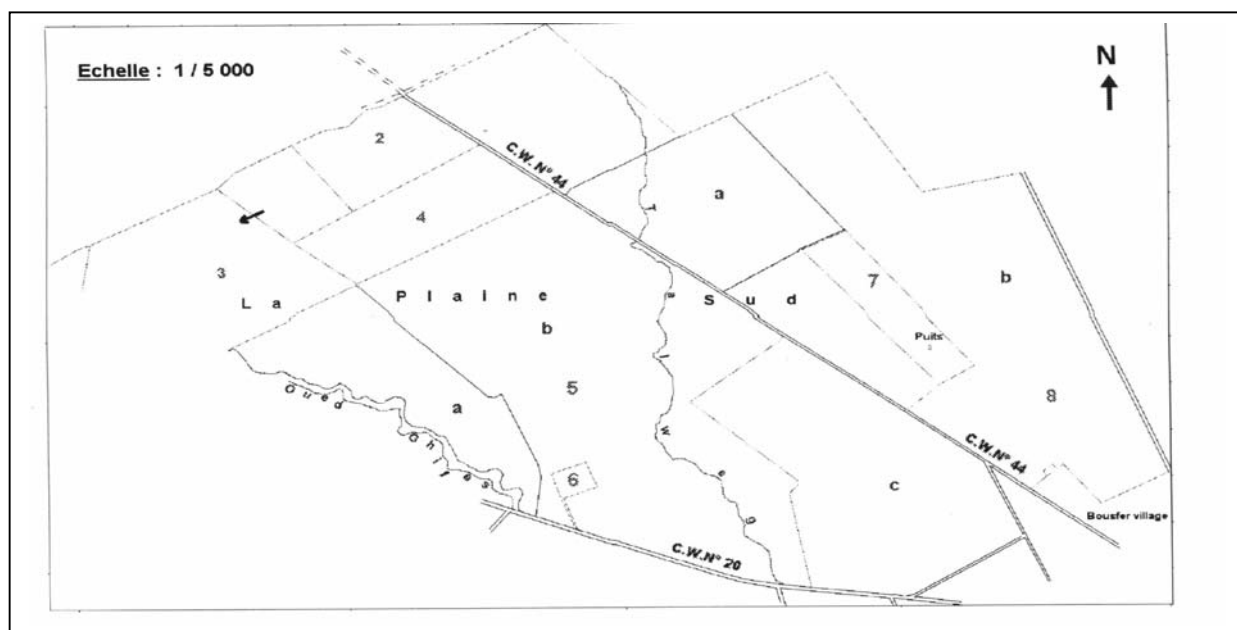


Figure 2 : Tests effectués "plan cadastral par GPS d'une zone rural située dans la commune de Bousfer"

CONCLUSION :

Dans la réalisation d'un plan cadastral en zone dégagée, la méthode Stop&Go offre un gain en temps, en précision et en coût. Pour ce type de besoin, la durée de l'exécution d'une campagne d'observation GPS en mode Stop&Go dépend essentiellement du nombre de récepteurs et de la nature des détails à lever (Ex : avec deux récepteurs, on peut lever un oued d'une longueur de 1500 mètres en une heure). La précision obtenue sur les coordonnées des points du levé est de l'ordre centimétrique et elle répond largement aux besoins du cadastre. Le coût d'un levé par le mode Stop&Go est faible compte tenu du nombre réduit d'intervenants sur le chantier (au maximum égale au nombre de récepteurs) et de la rapidité des observations (absence de contraintes d'intervisibilité, matériel d'observation pratique et facile d'utilisation, durée des observations courte (15 secondes/ point)).

Toutefois, en raison de la nécessité d'un verrouillage de quatre satellites en un point quelconque du levé, cette méthode ne peut être généralisée à l'ensemble d'une commune à cause du risque d'interruption du signal par la présence de masques tels que haies, arbres, construction, Etc.

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

Une meilleure réalisation (délais, précision et coût) des plans cadastraux en zones rurales par la technique GPS nécessiterait :

- une enquête foncière plus approfondie (propriétaires, limites et superficies des îlots et parcelles) pour délimiter avec précision les propriétés.
- des récepteurs munis de carte mémoire de grande capacité pour augmenter le nombre de points du levé lors d'une seule sortie sur le terrain,
- l'utilisation du mode cinématique (vrai) pour le levé des objets rectilignes (Oued, piste, route, ...),
- d'effectuer les mesures avec une antenne plus légère que l'antenne qu'on a utilisé (SR 299 E de IKG) et avec un support fixant le contrôleur pour des raisons pratiques,
- la répartition d'une façon homogène des stations de référence de manière à bien couvrir le chantier,
- d'utiliser des point de référence les plus proches de la zone de travail,
- l'équipement du chantier de quelques points de contrôle du levé (déterminés en mode statique rapide ou en mode réoccupation).

BIBLIOGRAPHIE :

- [1]AGENCE NATIONALE DU CADASTRE, 1998 : Instruction technique fixant les modalités d'établissement du cadastre en zone urbaine et en zone rurale
- [2] Boudaoud A., Benkhalef D., 1997 : Production des plans cadastraux par la technique GPS, Mémoire d'ingénieur/ CNTS.
- [3] Hofmann-Wellenhof B., B. W. Remondi, 1988 : The antenna exchange : one aspect of high-precision GPS Kinematic survey, Article du document GPS-Techniques Applied to Geodesy and Survey.
- [4] Hofmann-Wellenhof B., J. Collins, H. Lichtenegger, 1993: GPS Theory and Practice, Second edition.
- [5] LEICA, 1992: SKI. Statique Kinématique Software, Manuel de référence.
- [6] NABED A. N., 1996 : Apport du GPS aux travaux cadastraux, Thèse de Magister / CNTS.
- [7]SAFIA A., 1999 : GPS cinématique, application : Lever Cadastral, Mémoire d'ingénieur / CNTS.
- [8] Saidi F. & El Aihar C., 1999: Réalisation d'un réseau cadastral par GPS : Application à la commune d'Arzew, Mémoire d'ingénieur / CNTS.