

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 95 (1997)

Heft: 7

Artikel: Techniques GPS en mode cinématique

Autor: Rey, J.-M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-235359>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Techniques GPS en mode cinématique

L'emploi de GPS en mode statique est maintenant bien établi pour de nombreux travaux de mensuration. A la rapidité du mode cinématique s'opposent encore diverses complications lors de son utilisation. Dans de nombreux cas, un risque économique important demeure lié à l'usage incorrect de ces techniques.

Die statische Anwendung von GPS ist heutzutage für eine Vielzahl vermessungstechnischer Arbeiten etabliert. Der Zeitersparnis der kinematischen Methoden stehen jedoch noch diverse Schwierigkeiten in der Praxis gegenüber. In vielen Fällen verbleibt ein erhebliches wirtschaftliches Risiko bei unsachgemäßer Anwendung dieser Techniken.

L'uso del GPS in modo statico è ora riconosciuto per numerosi lavori di misurazione. Il vantaggio della rapidità del modo cinematico è contrapposto a diverse complicazioni al momento dell'applicazione pratica. In numerosi casi, un rischio economico importante è legato all'uso scorretto di queste tecniche.

J.-M. Rey

1. Introduction

Cet article décrit le mode cinématique en présentant des informations provenant d'une part, de la littérature GPS et d'autre part, des résultats obtenus lors de mon travail de diplôme effectué cet hiver à l'Institut de géomatique du Département de Génie Rural de l'EPFL.

Le mode statique, actuellement bien connu des praticiens, ne peut s'appliquer dans certains travaux de mensuration où le nombre de points à mesurer est élevé. En effet, le fait de résoudre les ambiguïtés sur chaque nouveau point demande un temps considérable (5–10 min. par point) et ne peut par conséquent être employé, pour des raisons économiques, sur des applications telles que mesure de profils en long ou encore mesure de modèles numériques de terrain.

Par contre, en mode cinématique, le fait de ne résoudre qu'une seule fois les ambiguïtés pour une série de points accélère la prise de mesures sur chaque point (1–15 sec. par point selon la méthode) et permet ainsi dans certaines applications de concurrencer les méthodes traditionnelles terrestres et la méthode satellitaire sta-

tique. Cependant, le mode cinématique possède diverses contraintes que l'utilisateur doit maîtriser afin de rentabiliser au mieux cette technique de mesure.

La première partie de l'article décrit les différentes méthodes de mesure en mode cinématique et cerne les situations où celles-ci peuvent remplacer avantageusement les méthodes traditionnelles (terrestres ou satellitaires statiques). La deuxième partie traite particulièrement des facteurs à prendre en compte lors de la planification et conseille l'utilisateur pour optimiser chaque méthode de mesure.

Lors de ce travail, les tests ont été effectués à l'aide d'un système GPS mesurant la complète longueur d'onde sur L1 et la demi-longueur d'onde sur L2. Le fait de ne capter qu'une demi-longueur d'onde

sur L2 diminue la précision des résultats et augmente le temps de résolution des ambiguïtés (3 à 5 min.). Actuellement les nouveaux appareils disponibles sur le marché sont capables de mesurer la longueur d'onde complète sur L1 et L2 et la résolution des ambiguïtés peut ainsi se faire en moins d'une minute.

2. Le mode cinématique

Les méthodes cinématiques basées sur les mesures des phases nécessitent l'emploi d'au moins deux récepteurs (cf. fig. 1).

L'un, appelé la référence, est placé généralement sur un point connu et mesure en mode statique.

L'autre, le «rover», débute les mesures par une phase d'initialisation (statique rapide, sur un point connu ou «on-the-fly») pendant laquelle les ambiguïtés doivent être résolues. Après cette phase d'initialisation, le rover poursuit les mesures dans une phase itinérante durant laquelle l'utilisateur parcourt un trajet en prenant des mesures, soit à des intervalles de temps présélectionnés, par exemple toutes les 5 secondes (méthode cinématique), soit sur des points déterminés (méthode stop & go). Durant cette deuxième phase, le contact avec au moins 4 satellites doit être maintenu, sinon une réinitialisation devra être effectuée.

Les deux méthodes (cinématique et stop & go) ne requièrent que de très courtes périodes d'observation et permettent d'obtenir une haute productivité avec une bonne précision ($\pm 1-2$ cm + 1 ppm en planimétrie; $\pm 2-4$ cm + 1 ppm en altimétrie). Par contre, de par la faible sur-

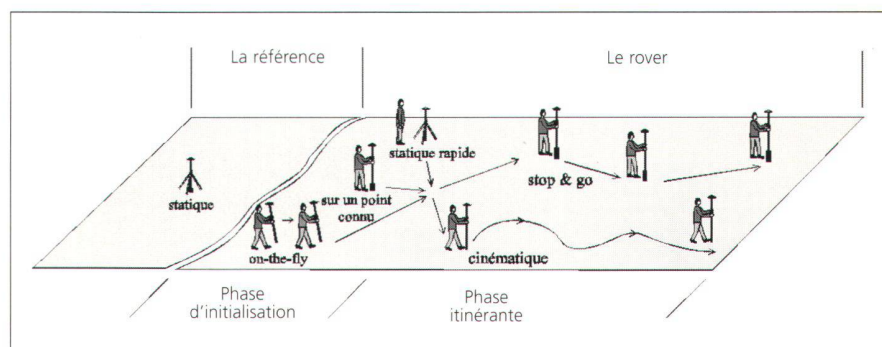


Fig. 1: Description du mode cinématique.

abondance de mesures prises sur chaque point, ces techniques sont très sensibles aux valeurs élevées du GDOP, aux «cycle slips», aux interférences de multipath et aux pertes de captage de satellites.

3. Post-traitement et temps réel

Dans les travaux topographiques GPS classiques (statique rapide), les mesures sont enregistrées dans la station de référence et dans la station itinérante en vue d'un post-traitement sur ordinateur: les résultats ne sont disponibles qu'après qu'on ait effectué toutes les observations sur le terrain.

En «temps réel», les données observées à la station de référence sont immédiatement transmises à la station rover par le biais d'un modem radio. Les données sont combinées et traitées en continu par la station itinérante. L'utilisateur obtiendra donc des résultats déjà pendant les observations.

En mode cinématique, il est possible de pratiquer les deux types de traitement décrits ci-dessus (post-traitement ou temps réel). Tous deux ont leurs avantages et se complètent de façon idéale. Le temps réel s'applique dans les travaux d'implantation ou de localisation de points où des informations instantanées sont indispensables, tandis que le post-traitement s'applique lorsque la zone (grandes distances) ou la présence d'obstacles empêchent toute transmission par radio.

Lorsque les résultats ne sont pas indispensables immédiatement sur le terrain, il est préférable de pratiquer du post-traitement afin d'éviter les inconvénients survenant fréquemment avec la liaison radio en temps réel.

4. Emploi du mode cinématique

Le mode cinématique s'avère particulièrement efficace lorsque la zone à mesurer possède peu d'obstructions vers le ciel et que la liaison avec au moins 4 satellit-

tes peut être garantie d'un point de mesure à l'autre.

Le choix de la méthode, cinématique ou stop & go, dépend du genre de mesures à effectuer:

La méthode cinématique enregistre en continu des observations à une fréquence de temps présélectionnée. Elle est particulièrement employée dans les applications suivantes:

- élaboration de modèles numériques de terrain,
- mesure de profils en long,
- surveillance de mouvements de plates-formes,
- localisation ou implantation de points (uniquement en temps réel),
- trajectographies d'objets en mouvement,
- levés routiers.

La méthode stop & go permet d'enregistrer plusieurs époques (mesures) uniquement sur les points à lever. Elle est spécialement utilisée dans les travaux suivants:

- levés de points rapprochés,
- levés de détails,
- polygonales,
- modèles numériques de terrain,
- levés de routes, pipeline.

5. Optimisation du mode cinématique

De par sa nature, le système de positionnement GPS subit de nombreux phénomènes perturbant la bonne résolution des calculs. Certaines de ces influences peuvent être réduites par modélisation (erreurs ionosphérique et troposphérique), tandis que d'autres sont éliminées par différenciation des phases (Selective Availability, erreurs liées aux satellites et erreurs liées aux récepteurs).

Le nombre de satellites, la géométrie des satellites (GDOP), leur variation (BGDOP: cf. revue MPG d'avril 1996: Optimisation de l'usage des récepteurs GPS) et la longueur des lignes de base sont encore d'autres sources d'erreur qui ne peuvent ni être modélisées, ni être éliminées, et doivent être prises en considération par l'utilisateur lors de la planification des mesures.

Ci-dessous, les conseils donnés aux utilisateurs sur chaque méthode de mesure permettent d'optimiser le mode cinématique et d'effectuer des observations en toute confiance.

Le test qui a permis de tirer les conclusions suivantes a été établi sur des lignes de base de différentes longueurs (1, 3, 6 et 9 km).

5.1 La phase d'initialisation

La phase d'initialisation est la période durant laquelle le récepteur itinérant capte les signaux satellitaires dans le but de résoudre les ambiguïtés. Il s'agit de la partie la plus importante des mesures. Si les ambiguïtés n'arrivent pas à être résolues, toutes les mesures de la phase itinérante sont perdues.

Il existe trois types d'initialisation:

L'initialisation «statique rapide» est la plus simple et la moins exigeante (4 satellites, GDOP et BGDOP < 8), mais requiert un stationnement de 3 à 5 minutes.

L'initialisation «sur un point connu» est particulièrement avantageuse pour la méthode stop & go ou sur une petite aire de travail (1 ha). Le temps d'initialisation est très court (env. 15 sec), le nombre minimum de satellites doit être de 4, les facteurs DOP et BDOP ont peu d'influence et la précision du point connu doit être inférieure à ± 15 cm sur chaque coordonnée. Par contre, si la longueur du temps de parcours qu'il faut faire pour se positionner sur le point connu est excessive, on peut opter pour la méthode d'initialisation statique rapide.

L'initialisation «on-the-fly» est la plus avantageuse des trois si toutes les conditions le permettent (5 satellites sans interruption pendant 200 secondes sur L1 et L2, bons BGDOP et GDOP et pas d'obstructions sur le parcours d'initialisation). Cette initialisation on-the-fly permet de résoudre les ambiguïtés bien que le récepteur itinérant soit en mouvement.

Remarques: A l'aide des nouveaux appareils, capables de mesurer la longueur d'onde complète sur les deux fréquences, l'initialisation statique rapide se fait en moins d'une minute. Avec ce type

d'appareil, l'initialisation sur un point connu perd de son importance. Le temps qu'il faut mettre pour se repositionner sur un point connu et réinitialiser dépasse largement, dans la plupart des cas, la durée d'une minute.

5.2 La phase itinérante

L'indicateur GDOP est de loin le facteur le plus important à respecter si l'on veut obtenir les meilleures mesures en mode cinématique.

L'expérience a montré que lorsque le GDOP se situe à la limite (7–9), la précision des coordonnées est deux fois moins bonne que lorsqu'il se trouve en dessous de 4.

La fig. 2 nous montre la précision des résultats obtenus à l'aide de mesures faites durant une période où le GDOP a varié rapidement et fortement (en abscisse). Lorsque le GDOP dépasse la valeur de 12, les erreurs résiduelles augmentent rapidement et peuvent atteindre des valeurs de ± 30 mètres. Ce graphique nous informe encore que des mesures prises après une pointe de haut GDOP sont utilisables si ce dernier atteint à nouveau une valeur acceptable.

Le nombre minimum de satellites doit être de 4. Si le GDOP est suffisamment bon (<4) déjà avec 4 satellites, il est théoriquement inutile de chercher à disposer de plus de satellites. Toutefois, un nombre supérieur de satellites constitue une bonne garantie contre une dégradation du GDOP et pour la «récupération» d'éventuels sauts de cycles (cycle slips).

6. La corrélation et la méthode stop & go

Pour la détermination d'un point, les mesures nécessaires sont plus nombreuses avec la méthode stop & go (minimum de deux observations par point) qu'avec la méthode cinématique (une seule observation par point). Cependant, l'une et l'autre fournissent approximativement la même précision. Pour expliquer ce phénomène une étude sur la corrélation des mesures a été établie.

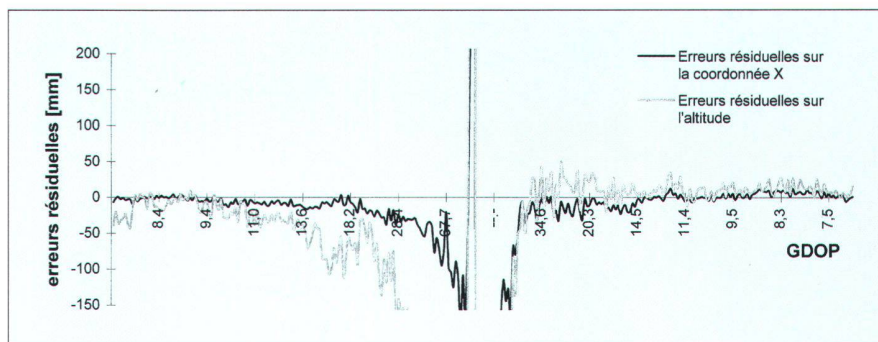


Fig. 2: Comportement des erreurs résiduelles face à une pointe de haut GDOP.

6.1 La corrélation

Un premier test a été effectué pour démontrer la forte corrélation existant entre les positions correspondant aux époques successives d'une même chaîne cinématique. La figure 3 montre l'évolution de la corrélation en fonction de l'intervalle entre les époques. Cette corrélation évolue de manière identique, que l'on considère les valeurs X, Y ou Z des positions calculées. On constate bien que même pour des intervalles très grands entre chaque mesure (60 secondes) la corrélation des résultats est très élevée (coef. de corrélation = 0.7).

Pourtant, l'étude de la corrélation des mesures de phase, et plus particulièrement celle des doubles différences, considérées comme «observations» dans un modèle de compensation par les moindres carrés, montre que le temps de corrélation est de 10 secondes, c'est-à-dire qu'un intervalle de 10 secondes suffit entre les observations pour que la corrélation de leur double différence devienne négligeable.

Comment expliquer que la corrélation

subsiste très longtemps entre les positions déterminées en mode cinématique (comme le montre la figure 3), alors que la corrélation disparaît déjà au bout de 10 secondes au niveau des doubles différences?

On peut imaginer que c'est la conséquence du fait qu'un certain nombre de paramètres ne changent pas tout au long de la chaîne cinématique, comme le nombre d'ambiguïtés, résolu une seule fois au moment de l'initialisation, ou les éléments fournis par les éphémérides, qui ne sont renouvelés que toutes les 60 minutes.

6.2 Le stop & go

Suite à une expérience effectuée sur une cinquantaine de points, l'hypothèse suivante a pu être établie: un stationnement stop & go de «x» mesures fournit une valeur très proche à la moyenne de «x» mesures calculées avec la méthode cinématique.

Si les résultats de la méthode cinématique étaient indépendants entre eux, une moyenne de 5 mesures cinématiques apporterait un gain de 50% précision par

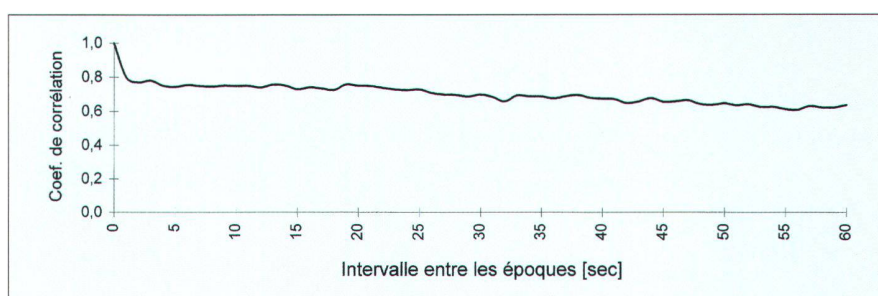


Fig. 3 : Evolution de la corrélation entre les valeurs X, Y ou Z des positions calculées dans une chaîne cinématique, en fonction d'un intervalle croissant entre chaque mesure.

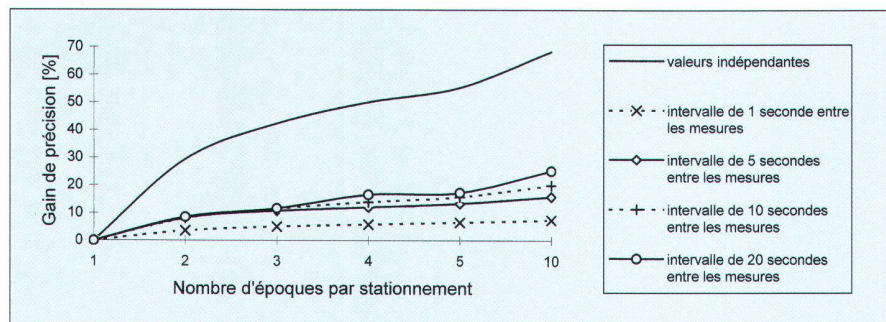


Fig. 4: Gain de précision d'un stationnement stop & go par rapport à une mesure cinématique.

rapport à une seule mesure. Cependant, ces résultats sont fortement corrélés entre eux (coef. de corrélation = 0.8) pour de petits intervalles de temps entre chaque mesure (cf. figure 3) et un simple calcul d'erreur, en tenant compte cette fois-ci de la corrélation, nous fournit un gain de 10% de précision par rapport à une seule mesure cinématique.

Les résultats d'un test effectué sur 50 stationnements, mesurés une fois en cinématique et plusieurs fois en stop & go (en faisant varier à chaque fois la fréquence et le nombre de mesures prises sur chaque stationnement), nous montre le gain de précision de la méthode stop & go par rapport à la méthode cinématique (cf. figure 4).

Le graphe de la figure 4 nous fournit deux renseignements:

1. l'hypothèse faite ci-dessus est vérifiée,
2. le gain de précision de la méthode stop & go par rapport à la méthode cinématique est très minime voire négligeable ($\approx 15\% = 3 \text{ mm}$), bien que le nombre d'enregistrements soit élevé (10). De plus, un plus grand intervalle

de temps entre chaque mesure n'améliore que peu le gain de précision et prouve que les mesures sont fortement corrélées.

Le graphe de la figure 4 nous permet encore de répondre aux deux questions posées par les praticiens pour appliquer le mode stop & go:

- Combien d'observations faut-il enregistrer pour atteindre une bonne précision?
- A quel intervalle de temps doit-on prendre les mesures?

6.3 Choix du nombre de mesures à prendre par stationnement

Lorsque l'antenne est stabilisée par un trépied, le graphique de la figure 4 prouve qu'il ne sert à rien de prendre plus de 2 époques par stationnement. Par contre, lorsque seule la canne à plomb est employée, le centrage de l'antenne n'est pas évident à maintenir (1–2 cm) et plusieurs époques (env. 5) s'avèrent nécessaires pour moyenner cette oscillation indésirable.

6.4 Choix du taux d'enregistrement des mesures

Deux facteurs influencent le taux d'enregistrement des mesures:

- 1) la capacité de la carte mémoire
 - 2) le temps de mesure sur chaque point
- Un taux élevé d'enregistrements, par ex. une époque par seconde, permet de gagner du temps sur chaque point à mesurer mais remplit rapidement la carte mémoire lors de chaque initialisation, tandis qu'un petit taux d'enregistrement, par ex. une époque toutes les 30 secondes, permet de gagner de la place sur la carte mémoire mais allonge le temps de stationnement sur chaque point. Un taux d'enregistrement de 5 secondes s'avère être un compromis raisonnable pour tirer le meilleur parti de ces deux facteurs limitatifs.

7. Conclusion

L'emploi du mode cinématique apporte de la rapidité dans la prise des mesures. Mais les facteurs limitants, encore plus nombreux que dans les méthodes GPS traditionnelles (Statique et Statique Rapide) font que le mode cinématique n'est pas encore beaucoup utilisé de nos jours dans le domaine de la topométrie. Seule la maîtrise par le praticien des facteurs décrits ci-dessus permet d'optimiser ce mode Cinématique et d'en faire ainsi un mode qui s'imposera de plus en plus.

Jean-Marc Rey
Vy-Neuve 9
CH-1470 Estavayer-le-Lac