

L'analyse de performance RTK dans la zone urbaine

MEGREROUCHE Mohamed Hamza¹ et Professeur ZHANG Hongping²

¹Institut National de Cartographie et de Télédétection

²Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing
GNSS Research Center Wuhan University, 2017.

ملخص : تتطرق هذه الدراسة لدقة و إمكانية تكرار الحركة الأنيبة التي يمكن تحقيقها من خلال مختلف مظاهر الأقمار الصناعية و أوضاع المواقع في منطقة حضرية، لأنه في الوقت الحالي، لا يوجد إلا صيغة RTK التي تمكننا من الحصول على دقة عالية و تحديد مختلف خصائص الأداء المفيدة لحل الغموض (AR) و تتمثل هذه المعايير في المسافة base-rover، الموثوقية AR، الدقة RTK، التوافر و الدمج. الخ.

الأنظمة الحالية لتحديد المواقع عن طريق الأقمار الصناعية (NAVSTAR/US GPS و GLONASS الروسي) و النظام الأوروبي المستقبلية GALILEO المعروفة بـ GNSS و التي تسمح لجميع المستخدمين بحساب موقعه في الوقت الحقيقي. و تعتمد على مبدأ تعددية الأطراف المكانية و التي يمكن من خلالها تحديد الموقع المجهول للمستخدم من خلال قياس المسافات الجيومترية الفاصلة بين جهاز الاستقبال الخاص به بمجموعة من الأقمار الصناعية الموجودة في المدار. تم إنشاء نظام الملاحة الساتلية BDS (BeiDOU) و تشغيله بشكل مستقل من طرف الصين حيث له أهمية كبيرة في البحث الحركي في الوقت الحقيقي و المرتكز حول BDS و GPS. إن زيادة سواتل المراقبة، يؤدي إلى تحسين المظهر الجيومترية لمجموع الأقمار الصناعية، تحسين الدقة.

تعتمد منهجية تحديد المسافة الجيومترية بين جهاز الاستقبال و القمر الصناعي، على استعمال القياس مباشرة في مرحلة الموجة الحاملة للإشارة المستقلة. هذا القياس في هذه المرحلة هو أكثر دقة من القياس على الزائف-العشوائي الذي يكون مع الأسف غامض و يجب استعماله من أجل تصحيح هذا الغموض مسبقاً.

إن صيغة تحديد المواقع باستعمال المرحلة في الوقت الحقيقي، و المعروفة باسم RTK هي الصيغة الأكثر أهمية فهي تسمح بالحصول على دقة ببعض السنتيمترات على الموقع بسرعة كافية تماماً.

تستخدم حالياً أنظمة GNSS وخاصة GPS و BeiDOU في جميع التطبيقات الجيومترية من أجل الحصول على تحديد موقع دقيق بالسنتيمترات. يتم الحصول على مثل هذا المستوى من الدقة من خلال تحقيق معطيات معالجة مركبة على أجهزة الاستقبال و هوائيات باستعمال حلول دقيقة. بالإضافة إلى ذلك تم إجراء هذه التطبيقات عادة في مناطق مفتوحة و لا يمكن استعمالها في مناطق معقدة.

تبين النتائج أن دقة RTK هي أكثر ثباتاً بالنسبة للاحداثيات الأفقية من الارتفاع خاصة عندما نستخدم زمن الوصول إلى

المعطيات GPS / BeiDOU للحصول على أخطاء بيضعة ملليمترات. إن دقة تحديد المواقع على مستوى م م هي جد دقيقة على RTK التي يمكن تحقيقها بصورة اعتيادية من خلال ملاحظة عدد كاف من الأقمار الصناعية. لا يمكن لجهاز تحديد المواقع GPS وحده، بتوفير الجيومترية الضرورية من أجل حل بشكل صحيح الغموض في الوقت المناسب، الضروري خاصة في المناطق الحضرية أين يقل عدد الأقمار الصناعية. من أجل هذا السبب استعملنا طريقة الجمع بين BeiDOU و GPS.

الكلمات الأساسية : GPS، RTK، BeiDOU، طريقة الجمع، AR، تعدد المسارات، دقة، اختلاطات مزدوجة.

Résumé : Cette étude explore la précision et la répétabilité de RTK réalisables sous différentes configurations de satellites et conditions de site dans une zone urbaine. Parce que à l'heure actuelle il n'y a que le mode RTK, qui est capable de nous donner la haute précision et définit diverses caractéristiques de performance utiles pour la résolution d'ambiguïté (AR), ces paramètres, y compris la distance base-rover, fiabilité AR, précision RTK, disponibilité et intégrité, etc.

Les systèmes actuels de positionnement par satellite (NAVSTAR / US GPS et GLONASS Russian) et le futur européen GALILEO, regroupés sous le terme générique GNSS, permettent à tout utilisateur de calculer sa position en temps réel. Ils sont basés sur le principe de multilatération spatiale dans lequel la position inconnue de l'utilisateur est déterminée en mesurant les distances géométriques séparant son récepteur d'un ensemble de satellites en orbite.

Le système de navigation par satellite BeiDou (BDS) est construit et exploité indépendamment par la Chine. Il a une signification importante dans la recherche de la cinématique en temps réel basée sur BDS et GPS. La fusion de multi-GNSS dans le traitement des données peut augmenter les satellites observés, améliorer la configuration géométrique de la constellation des satellites, améliorer la précision.

La méthode pour déterminer la distance géométrique entre le récepteur et le satellite consiste à utiliser la mesure directement en phase de la porteuse du signal reçu. Cette mesure sur la phase, beaucoup plus précise que la mesure sur le code pseudo-aléatoire, est malheureusement ambiguë et il faut pouvoir l'utiliser pour corriger cette ambiguïté à l'avance.

Le mode de localisation utilisant la phase en temps réel, appelé RTK (Real Time Kinematic) est le mode le plus

intéressant. Il permet d'obtenir des précisions de l'ordre de quelques centimètres sur la position à une cadence tout à fait suffisante.

Les systèmes GNSS et en particulier GPS et BeiDou sont actuellement utilisés dans toutes les applications géodésiques pour obtenir une position précise au centimètre près. Un tel niveau de précision est obtenu en réalisant des données de traitement complexes sur des récepteurs et des antennes, et en utilisant des corrections précises. De plus, ces applications sont généralement effectuées dans des environnements de zone ouverte et ne peuvent pas être appliquées dans des environnements contraints.

Les résultats prouvent que la précision de RTK est plus stable pour les coordonnées horizontales que la hauteur, en particulier lorsque nous utilisons la latence de données GPS / BeiDou pour créer des erreurs de quelques millimètres. La précision de positionnement au niveau mm est très précise en RTK, ce qui peut être atteint de façon habituelle en observant un nombre suffisant de satellites. Le GPS seul peut ne pas fournir la géométrie nécessaire pour résoudre correctement les ambiguïtés en temps opportun, nécessaire en particulier dans les zones urbaines où le ratio des satellites diminue. C'est pourquoi nous avons utilisé le système de combinaison BeiDou et GPS.

Mots clés : RTK, GPS / BeiDou, combinaison, AR, multi-chemin, Précision, Double différences.

Abstract : This study explores the accuracy repeatability of RTK achievable under different satellite configuration and site conditions in urban area. Because at the present time there is only the mode RTK which is able to give us the high precision and defines various characteristics of performance useful for the resolution of ambiguity AR .these parameters, including the distance base-rover, reliability AR, RTK accuracy, availability, and integrity, etc.

The current satellite positioning systems (NAVSTAR / US GPS and GLONASS Russian) and the future European GALILEO, grouped under the generic term GNSS, allow any user to calculate his position in real time. They are based on the principle of spatial multilateration in which the unknown position of the user is determined by measuring the geometric distances separating its receiver from a set of satellites in orbit.

BeiDou Navigation Satellite System (BDS) is constructed and operated by China independently. It has important significance in researching the real-time kinematic based on BDS and GPS. The fusion of multi-GNSS in data

processing can increase satellites observed, improve the geometric configuration of satellites constellation, enhance the accuracy.

The method for determining the geometric distance between receiver and satellite is to use the measure directly phase of the carrier of the received signal. This measure on the phase, which is much more precise than the measure on the pseudo-random code, is unfortunately ambiguous and it is necessary to be able to use it to fix this ambiguity beforehand.

The location mode using the real-time phase, called RTK (Real Time Kinematic) is the most interesting mode. It makes it possible to achieve precisions of the order of a few centimeters on the position at a rate that is quite sufficient.

This study explores the RTK attainable accuracy and repeatability underneath different satellite configurations and site conditions in a city area. Because at present there are only RTK mode, which is capable of giving us the high accuracy and defines various useful performance characteristics for carrier phase Ambiguity Resolution (AR), these parameters, including base-rover distance, AR reliability, RTK accuracy, availability and integrity, etc.,

GNSS and particularly GPS and BeiDou systems are currently used in all geodetic applications to obtain a centimeter-level precise position. Such a level of accuracy is obtained by performing complex processing data on receivers and antennas, and by using precise corrections. Moreover, these applications are typically performed in open area environments and cannot be applied in constrained environments.

Results prove that the accuracy of RTK is more stable for the horizontal coordinates than the height, particularly when we use GPS/BeiDou data latency creates errors of a few millimetres. Positioning precision on the mm level is very precise in RTK which can be habitually attained when observing a sufficient number of satellites. GPS alone may not furnish the necessary geometry to correctly solve the ambiguities in a timely, necessary especially in city areas where satellites ratio decreases. That's why we used the combination system BeiDou and GPS.

Keywords : RTK, GPS/BeiDou, combination, AR, multi-path, Accuracy, Double differences.

1. Introduction

Dans de nombreuses études, il a été démontré que de meilleurs résultats, comme la réduction du temps

pour corriger les ambiguïtés et la capacité d'étendre les séparations entre le récepteur et les récepteurs de référence, permettent d'obtenir de meilleurs résultats avec des observations GNSS multifréquences et multi-systèmes.

Et en RTK, nous pouvons réduire le temps nécessaire pour corriger les ambiguïtés ou augmenter la longueur de la ligne de base. Cependant, aucune étude n'a été menée en ce qui concerne les comparaisons de performance de positionnement cinématique entre deux systèmes BeiDou et GPS.

Le AR utilise différents ensembles de signaux GNSS, tels qu'un récepteur GPS mono fréquence à système unique, comparé à un récepteur GPS / BDS combiné à double fréquence. En ce qui concerne l'erreur multipath dans la zone urbaine et son impact sur la position. L'important pour la future conception du récepteur GNSS RTK est d'utiliser des observations sur plus de fréquences de GNSS existantes ou d'autres GNSS signifie plus d'ambiguïtés de phase porteuse à résoudre pendant le processus de résolution d'ambiguïté, ce qui augmente considérablement la charge de calcul du volume d'espace de recherche de filtrage et d'ambiguïté. Cependant, il devrait être plus facile de réparer lorsque nous utilisons le GPS et BDS et réduire les erreurs résultant de trajets multiples dans les zones urbaines, toute cette proposition est étudiée dans cette thèse.

2. Objectif

Le but de cette étude est d'évaluer la performance de RTK et la résolution d'ambiguïté à l'aide d'un GNSS multi-systèmes (GPS et BeiDou dans cette enquête). Les objectifs de cette recherche sont déterminés comme suit :

- Traitement des données GPS et BeiDou pour le code de mode d'observation et la phase avec une comparaison précise entre elles en RTK de base unique (traitement post-mission est adopté ici au lieu de traitement en temps réel) applications d'enquête et l'importance de cette comparaison dans la ville zones.

- Evaluer les performances de résolution de l'ambiguïté en termes d'ambiguïté temporelle des premières fixations et de fiabilité de la fixation de l'ambiguïté lors de l'utilisation des observations sur des sous-ensembles pour chacun des deux systèmes GPS et BeiDou.

- Évaluer les résultats de la fixation des sous-ensembles d'ambiguïtés de flottabilité liées au décor en termes de temps de première fixation, de probabilité de correction correcte et de précision de position fixe.

- Fournir des recommandations pour la conception future du GNSS RTK en termes d'utilisation des fréquences, d'attribution des canaux et des stratégies de traitement.

3. Matériel et méthode

Afin de tester les performances de PPK GPS et BeiDou, différentes configurations de test sont envisagées, dans la ville de Wuhan, située à 2000 km au sud de Pékin, une étude de cas a été réalisée pour obtenir les résultats de positionnement PPK. Le levé a été effectué le 10 octobre 2016. L'équipement utilisé dans ce levé suit comme suit un récepteur GNSS Trimble R9 GPS / Beidou pour la station de base figure 5-2, et pos 310 dans la voiture et l'antenne (GNSS) a été montée sur le toit de la voiture ont été utilisés pendant toute la collecte de données GNSS. La précision proclamée de ces récepteurs (Trimble R9 GNSS) est montrée dans (Tableau 5-1), tout en étant capable d'utilisation.

Les signaux de plusieurs systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS). La Figure 5-3 montre la trajectoire de la voiture de l'Université de Wuhan à la zone du lac Ziyang, La durée totale de la course était de 01H: 43M: 03S.

Un programme précis a été utilisé pour analyser les résultats des algorithmes RTK tels que le logiciel GINS en Chine / Wuhan MAP Space Time Navigation Technologyco, LTD. Nous avons été en mesure de faire cette vérité de travail calculée par post-traitée.

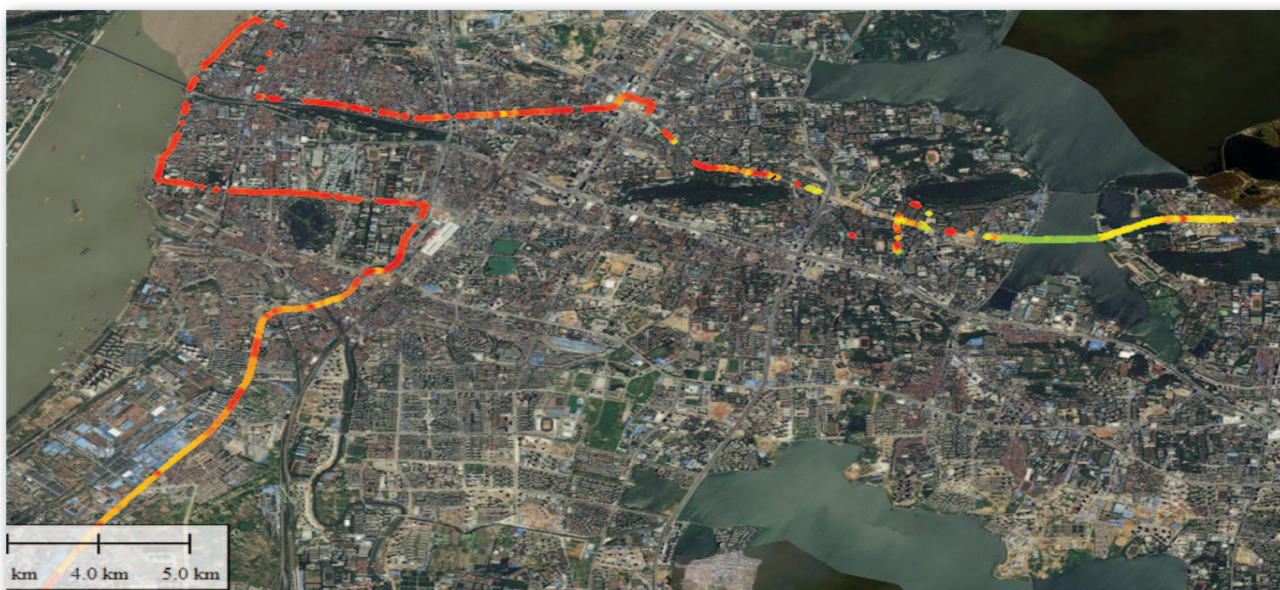
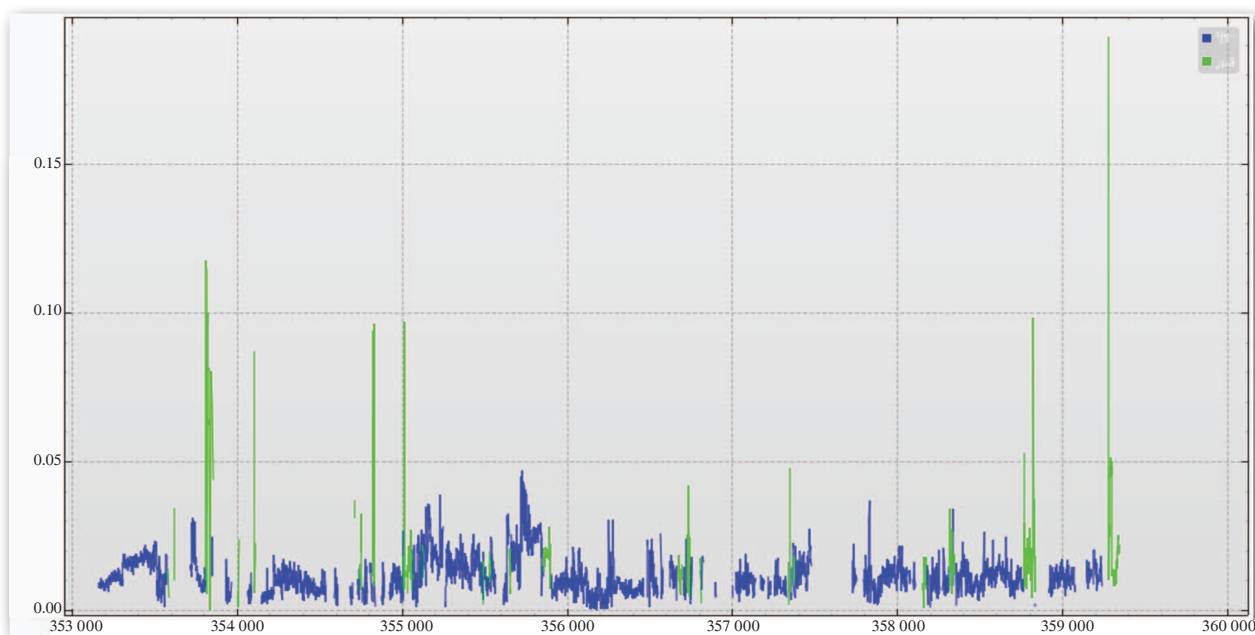


Fig. 5-3 Trajectoire du véhicule au centre-ville de Wuhan, china.

4. Résultats

Cette caractéristique de performance que nous pouvons dire est définie comme les taux fixes des résultats d'estimation d'entier. Mais nous ne pouvons pas toujours trouver une solution fixe à la résolution d'ambiguïté dans le logiciel, car les satellites dans le champ de vision sont peu nombreux ou les effets des différentes erreurs sont trop forts. Le taux fixe de résolution d'ambiguïté peut être calculé par le rapport entre le nombre total d'entiers de différence double fixes

et le nombre total d'entiers de différence double sur une session continue. Les ambiguïtés entières fixes ne sont pas faciles à suivre dans le processus de recherche d'ambiguïté. Le problème consiste à s'assurer que le processus ne peut pas entrer des entiers incorrects et exclure les entiers corrects. Ces paramètres peuvent affecter le RA et donc la qualité de la position.



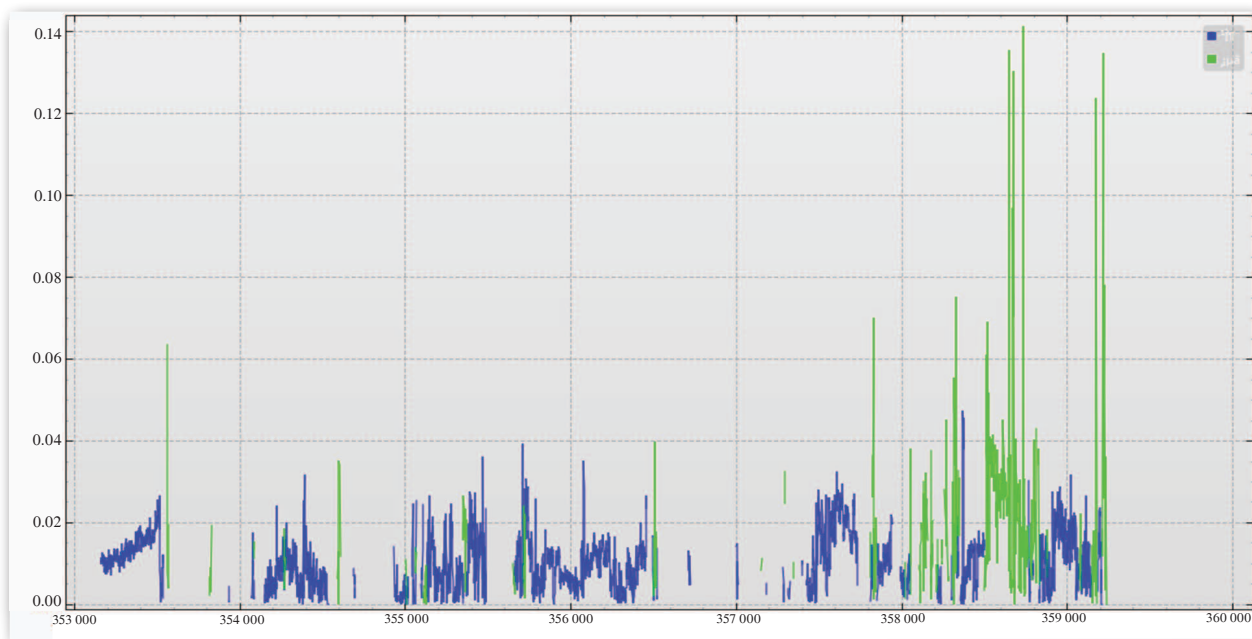


Fig. 5-4 RMS pour la résolution flottante et fixe dans chacun des : GPS / Beidou, GPS et Beidou respectivement (vert : Flottant, bleu : Fixe) pour toutes les périodes.

Dans la Figure 5-6, on voit les résultats de la composante est-ouest et la hauteur sur toute la période en comparant les solutions GPS et BeiDou ; l'utilisation de la solution GPS seule donne les résultats les moins précis avec une erreur de position RMS de 7,93 cm, 6,83 cm et 12,04 cm respectivement dans les composantes est, nord et hauteur. Cela est dû à la constellation BeiDou à Wuhan est terminée. La solution BeiDou est plus précise que le GPS avec une erreur de position RMS de 4,16 cm, 3,58 cm et 10,51 cm respectivement dans les composantes est, nord et hauteur. La solution combinée est la plus précise avec une erreur

RMS positionnelle de 1,66 cm, 1,38 cm et 3,42 cm dans les composantes est, nord et hauteur respectivement. Ceci est dû à la constellation globale des satellites donnant une meilleure distribution des signaux.

À partir de cette analyse un petit écart-type indique une solution précise (répétable), où toutes les valeurs sont proches les unes des autres. Un écart-type plus grand indique que les valeurs sont plus étalées et que les observations contiennent probablement de grandes erreurs fluctuantes, telles que les trajets multiples.

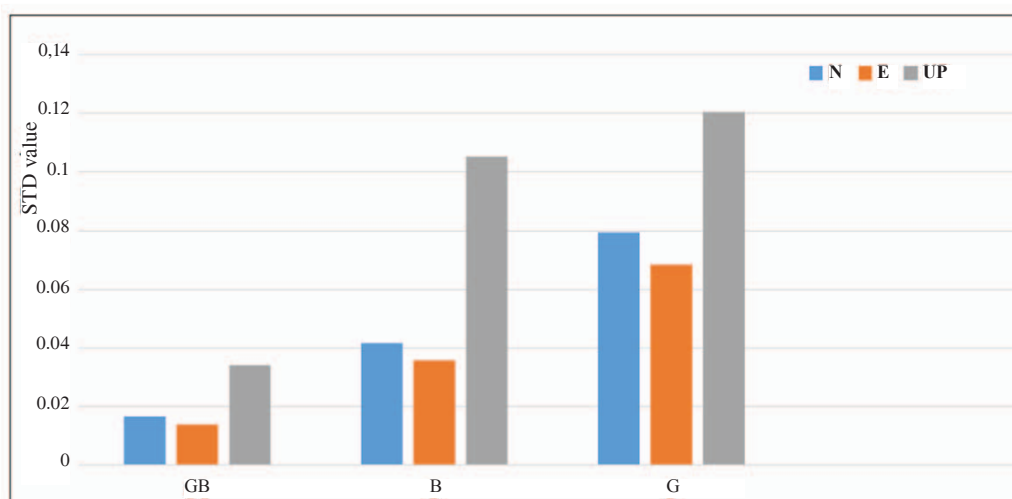


Fig. 5-6 STD pour NorthingEasting Up dans chacun des : GPS / Beidou, GPS et Beidou respectivement dans toutes les périodes.

Nous avons choisi un espace ouvert où il n'y a pas de zones urbaines dans cet exemple, comme nous pouvons le voir à travers cette Figure 5-7 que la qualité des

points GPS et Beidou est supérieure à celle du GPS seul ou BeiDou seul car les points verts indiquent cette haute qualité.

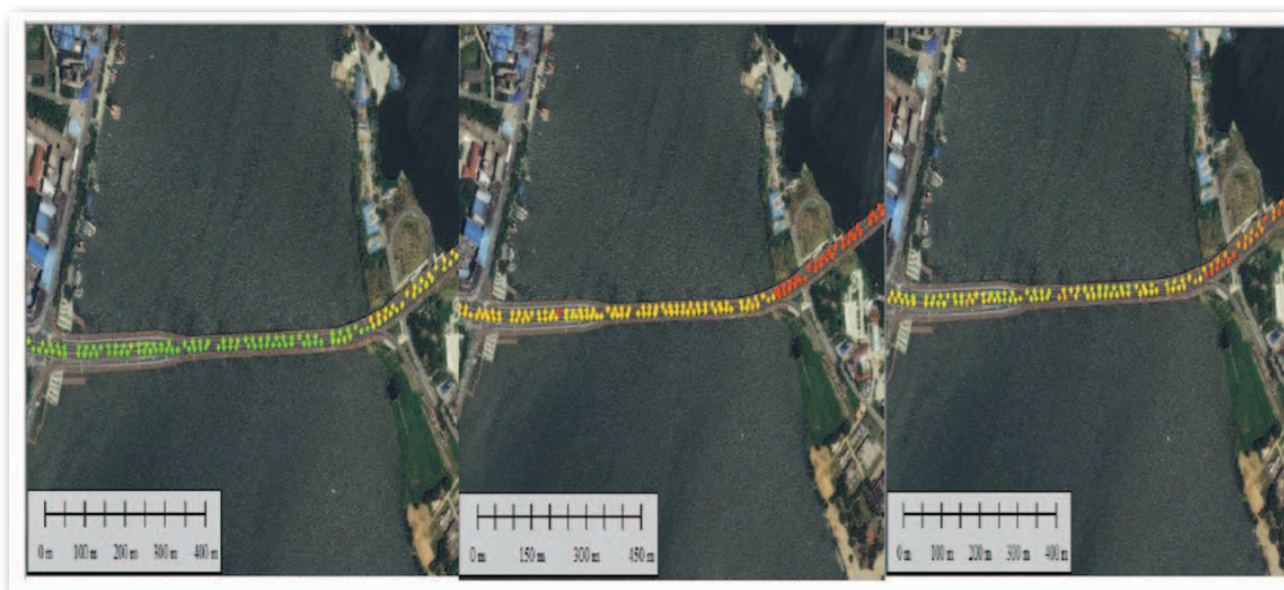


Fig. 5-7 La qualité du signal dans chacun des : GPS / Beidou, GPS, et Beidou respectivement.

Aussi dans la Figure 5-8, la densité des points dans GPS et Beidou, Il y a beaucoup de points, et c'est ce que nous cherchons à obtenir les résultats de positionnement RTK, Comme on le voit dans cet exemple avec des arbres denses, dans la ville Le centre ne pouvait obtenir aucun point dans

chacun des GPS seulement ou Beidou seulement, mais lorsque leur utilisation simultanée du GPS et du BeiDou nous permet d'obtenir quelques points et ce résultat montre l'importance de combiner GPS et BeiDou lorsque nous utilisons RTK.

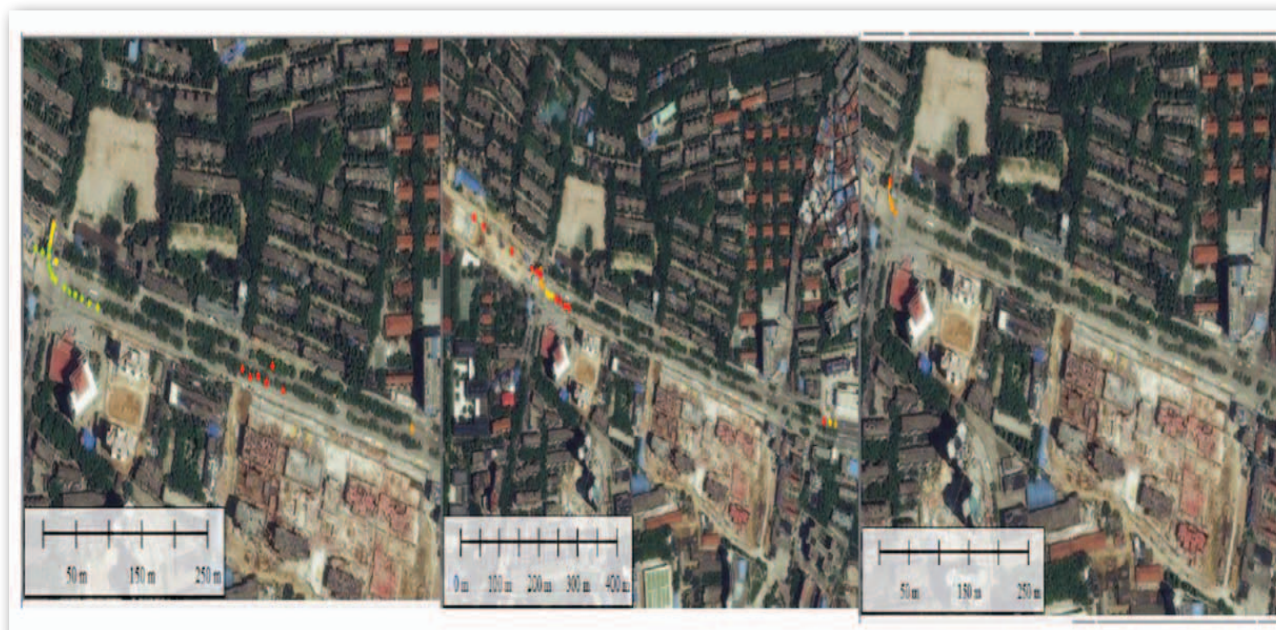


Fig. 5-8 Disponibilité des points dans chacun des : GPS / Beidou, GPS, et Beidou respectivement.

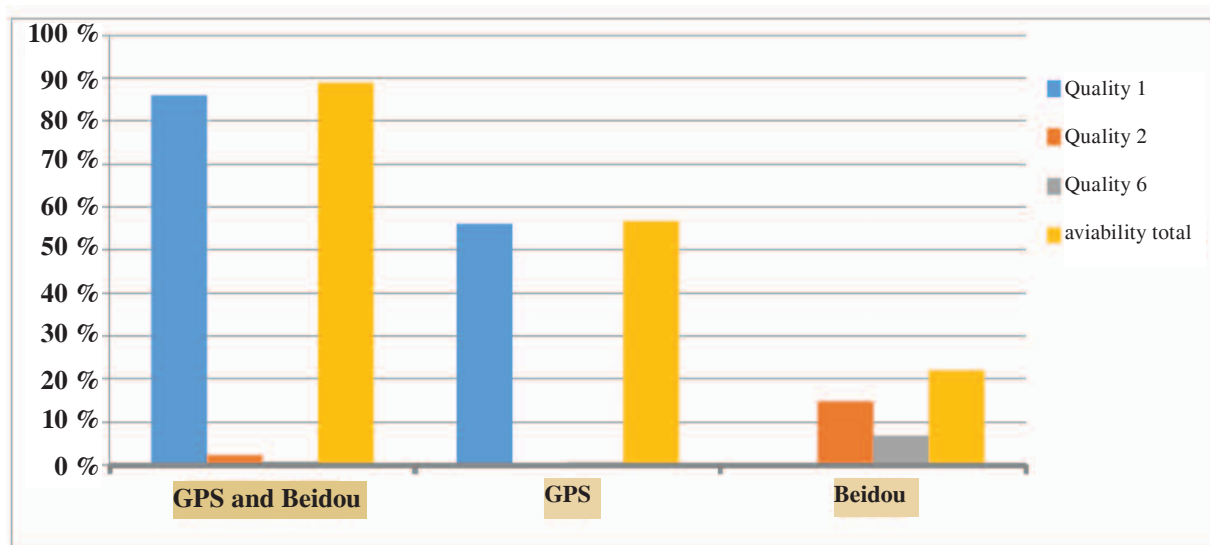


Fig. 5-9 Disponibilité des points [%] et qualité du signal dans chacun des : GPS / Beidou, GPS, et Beidou respectivement, dans la ville de Wuhan.

Tab 5-2. Disponibilité de la position [%] atteinte dans le test RTK de 3 heures dans une zone urbaine.

GNSS	GPS and Beidou	GPS	Beidou
Num Obs Total	89 %	56,77 %	22,07 %
Quality 1	86 %	56,07 %	0,50 %
Quality 2	2,30 %	0	14,88 %
Quality 6	0,83 %	0,69 %	6,85 %

Le tableau 5-2 et la figure 5-9 présentent la disponibilité de position calculée à l'aide de l'équation. (3,69) dans les tests RTK de la zone urbaine, respectivement. Le nombre de toutes les positions mesurées (Points tous) est très différent pour chacun des GPS et BeiDou, alors que BeiDou délivre moins de positions en raison de sa

géométrie satellitaire limitée montrée sur la Figure 5-10. Toujours dans le tableau 5-2, le GPS produit environ 35% de disponibilité en plus que BeiDou, mais quand il mélange la disponibilité GPS et BeiDou Arrive à 89% de plus que le BeiDou seul ou le GPS seul.

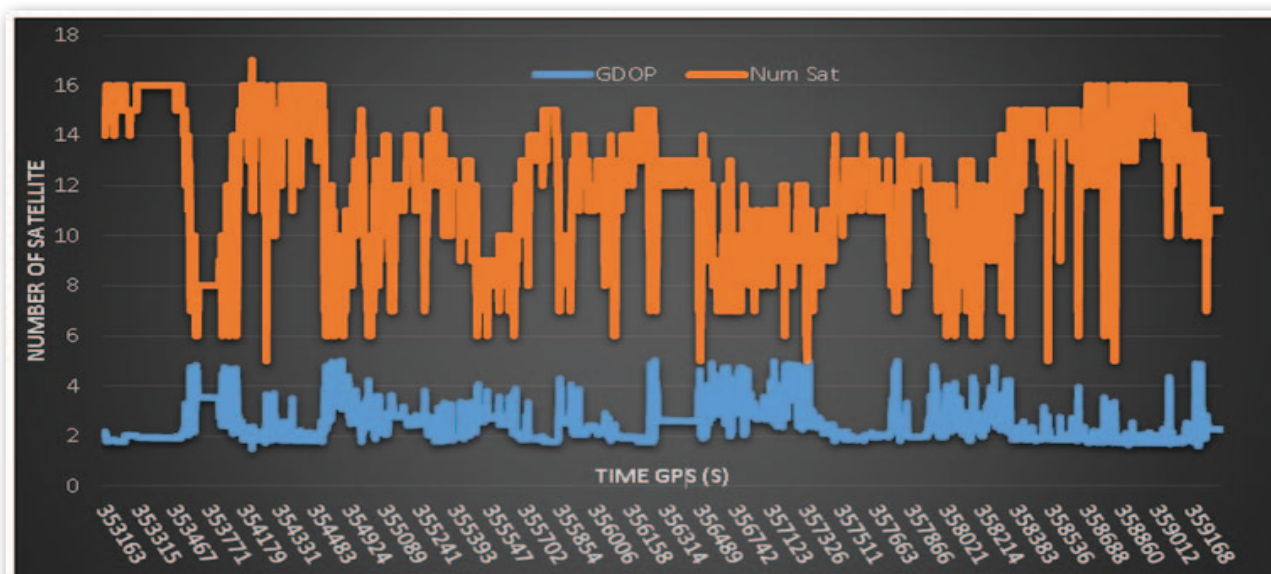


Fig. 5-10 GDOP et nombre de satellites pour GPS et Beidou.

Ces analyses concluent que la meilleure performance de la constellation est le GPS, et les avantages lorsque nous utilisons la solution de combinaison GPS et BeiDou sont

que nous pouvons obtenir de bons résultats dans la résolution de l'ambiguïté.

Tab 5-3. Dilution moyenne de précision de positionnement (PDOP) pour différents systèmes GNSS (BeiDou, GPS et GPS / BeiDou) pendant 3 minutes

GNSS	Average RMS	Max RMS
Beidou	2,02 cm	9 cm
GPS	0,94 cm	1,7 cm
Beidou and GPS	0,82 cm	1,7 cm

Dans la zone urbaine, le GPS est moins précis que le Beidou (Tableau 5-3 et Figure 5-11), mais plus précis quand on utilise le GPS avec BeiDou. Comme prévu, la

solution combinée GPS et BeiDou fournit les positions les plus précises dans la zone urbaine. Ses avantages semblent augmenter avec l'augmentation de la longueur de base.

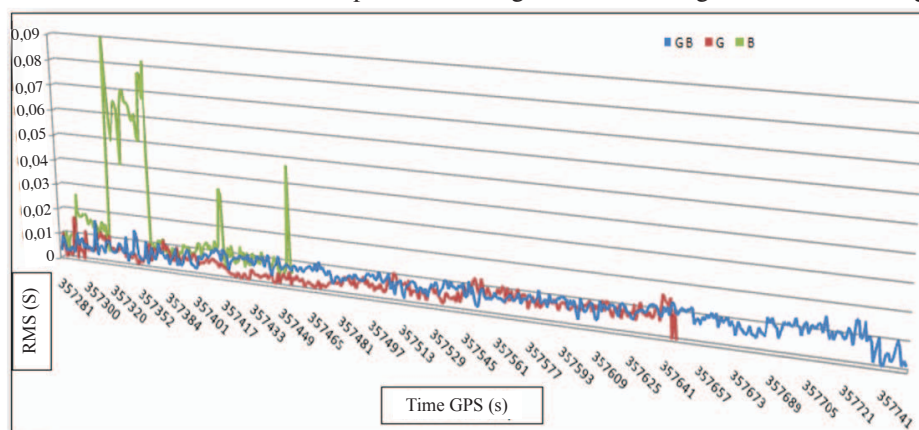


Fig. 5-11 RMS dans chacun des : GPS / Beidou (GB), GPS (G) et Beidou (B) respectivement pendant 3 minutes.

Cependant, les erreurs de position résultant de BeiDou sont très fortement au cours du temps et illustrent une corrélation négative avec le nombre de satellites utilisés. En d'autres termes, plus les satellites BeiDou contribuent à une solution RTK fixe, plus l'erreur de position sera faible.

Par rapport au GPS, le GPS et le BeiDou montrent des améliorations de 8 mm au niveau (Tableau 3) de la précision et de la cohérence des positions, obtenues en utilisant simultanément un maximum de 17 satellites (voir Figure 5-11).

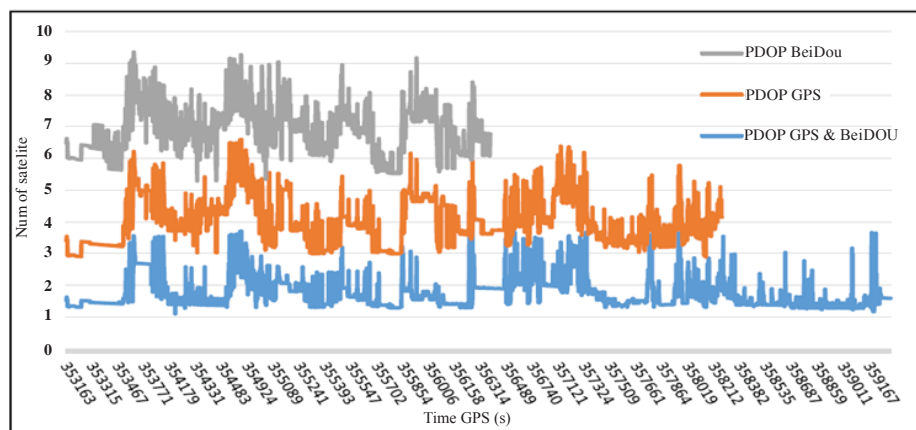


Fig. 5-13 Dilution positionnelle de précision (PDOP) dans chacun des : GPS / Beidou, GPS et Beidou respectivement dans toutes les périodes.

Il est également noté que la valeur de PDOP diminue lorsque le nombre de satellites augmente dans la Figure 5-13, la précision n'est également pas stable dans la comparaison BeiDou avec le GPS.

Ici, on peut montrer que, plus important encore, la valeur de PDOP est constamment faible. Il y a aussi un ensemble de satellites qui sont entrés puis sortis du champ de vision dans les deux parcelles de la Figure 5-13, mais cela a moins

d'effet sur la solution satellite GNSS ce résultat peut être comparé à celui obtenu en utilisant le GPS seul ou qui utilise BeiDou seul

Le (DOP) est un index de la géométrie satellitaire GNSS des satellites utilisés pour déterminer une position, pour une constellation unique. Positions étiquetées avec une valeur DOP supérieure.

5. Conclusion

Dans le traitement des données GNSS, la disponibilité des satellites et l'amélioration du signal ont permis d'accroître la portée de l'étude des signaux GNSS dans les zones urbaines denses.

La nouvelle technologie a également réduit la complexité de l'application du GNSS pour les techniques en temps réel et post-traitées, permettant à un géomètre de positionner avec confiance et précision des points dans presque n'importe quel environnement extérieur, nous concluons de ces points :

- » La précision horizontale a été légèrement améliorée dans les environnements difficiles avec l'ajout de signaux BeiDou
- » Les combinaisons incluant les signaux BeiDou ont systématiquement dégradé la précision de la hauteur dans cette étude.
- » Les résultats montrent que l'ajout de BeiDou améliore nettement la disponibilité des satellites et la performance RTK dans les zones urbaines.

» La performance RTK du positionnement autonome dans l'urbain utilise pour différents scénarios du GPS actuel et du système combiné GPS-Beidou.

» Chaque fois que nous disposons d'un grand nombre de satellites, en particulier le plus grand nombre de constellations satellites, le temps nécessaire pour résoudre une ambiguïté entière atteignant une solution RTK fixe est beaucoup plus court qu'avec une seule constellation GPS (avec 0-2).

» Les performances du RTK utilisant des méthodes GNSS différentielles en phase porteuse fournissent des solutions fiables pour des mesures avec des niveaux de précision centimétriques lorsque nous lui donnons les bonnes conditions.

L'environnement urbain a créé de nombreuses obstructions qui ont produit des glissements de cycle dans les signaux satellites pour chaque observation. Les trajets multiples dégradent la qualité des données reçues et donc la qualité de la position par un récepteur GNSS. En outre, en milieu urbain, le récepteur itinérant est capable de suivre

suffisamment de satellites pour déterminer une solution positionnelle RTK pendant l'observation. La résolution simultanée des signaux satellites à partir d'un nombre minimal de cinq satellites à la fois par le récepteur de base et le récepteur itinérant est nécessaire pour effectuer des levés GNSS RTK dans des conditions favorables.

Références bibliographiques

- Anderson, J. M., and Mikhail, E. M. (1998). *Surveying : Theory and practice* (7th ed.) Boston : McGraw-Hill.
- Davis, L. A., E. P. and Gao, G. X., Publishers (2012). *Global Navigation Satellite Systems: Report of a Joint Workshop of the National Academy of Engineering and the Chinese Academy of Engineering*. The National Academy of Engineering, the National Academies Press.
- De Jonge, P. and Tiberius, C. (1996). The LAMBDA method for integer ambiguity estimation : implementation aspects. LGR-Series Publication of the Delft Geodetic Computing Centre No.12.
- Gerdan, G. P., Coombe, L. J., and Takac, F. (1995). The effects of RF interference, multipath and signal obstruction on the GPS observables. (Department of Land Information, Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT) No.SDC95/1). Retrieved October 2006, from : <http://www.ourwater.vic.gov.au/land/lnlnc2.nsf>
- Goergiadou, Y. and Kleusberg, A. (1988). (On carrier signal multipathe effects in relative GPS positioning). *Manuscriptageodetica*, 13 :172-179.
- Golub, G. and Loan, C. V. (1996). *Matrix Computations - 3rd Edition*. The Johns Hopkins University Press.
- Han, S. and Rizos, C. (1997). Comparing GPS Ambiguity Resolution Techniques. *GPS World*, 8(10) : 54-61.
- Hein, G. and Werner, W. (1995). Comparison of Different on The-Fly Ambiguity Resolution Techniques. Dans *Proc. of ION GPS Meeting 1995*, Palm Springs, California.
- Hofmann -Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Collins, J. (2001). *GPS theory and practice* (5th ed.). New York : Springer-Verlag Wien.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Collins, J.(1997). *GPS, Theory and Practice*. Fourth, Revised Edition. Springer-Verlag.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Wasle, E. (2008). *GNSS -Global Navigation Satellite Systems*. Springer-Verlag
- Kaplan, E. D. (1996). *Understanding GPS, principales and applications*. Artech House Publishers.
- Kouba, J. (2009). *A guide to using International GNSS Service (IGS) products*. Rapport technique, IGS.
- Leick, A. (2004). *GPS satellite surveying* (3rd ed.). N. J. John Wiley & Sons, Inc.