

TRAITEMENT TRIMBLE HD-GNSS

LIVRE BLANC

TRIMBLE SURVEY DIVISION

WESTMINSTER, COLORADO, ÉTATS-UNIS

Septembre 2012

RÉSUMÉ

Le traitement des phases des porteuses du GNSS s'est considérablement amélioré depuis le développement des premiers algorithmes pour les arpentages de précision par satellite. Conformément à ces progrès en cours, le nouveau moteur de traitement HD-GNSS de Trimble apporte des temps de convergence fortement réduits ainsi qu'une fiabilité élevée en matière de position et de précision comparé aux moteurs de traitement antérieurs, particulièrement dans des environnements GNSS médiocres. Comme avantage supplémentaire, le moteur de traitement Trimble HD-GNSS requiert beaucoup moins de filtrage de données et très peu de contrôles de la part des utilisateurs pour le post-traitement. Ce livre blanc décrit les avantages du moteur de traitement HD-GNSS de Trimble. Il décrit également les applications pratiques pour des levés en temps réels sur le terrain et des levés post-traités au bureau.

Survey Division, 10355 Westmoor Drive, Suite #100, Westminster, CO 80021, USA

© 2012, Trimble Navigation Limited. Tous droits réservés. Le logo du Globe & Triangle et Trimble sont des marques commerciales de Trimble Navigation Limited, déposées dans le Bureau des marques et des brevets des États-Unis et dans d'autres pays. Toutes les autres marques appartiennent à leurs propriétaires respectifs. PN 022543-550-FRA (10/12)

www.trimble.com



INTRODUCTION

Le levé GNSS (Global Navigation Satellite System) est hautement productif avec un grand nombre d'applications. Contrairement aux méthodes classiques de levé, un mobile GNSS n'est pas limité par la ligne de visée d'un capteur optique. Avec le développement des réseaux de contrôle GNSS permanent, il devient de plus en plus rare qu'un géomètre ait besoin d'installer une station de référence de terrain. Cependant, l'utilisation du GNSS pour un positionnement précis était auparavant limitée à des zones possédant une bonne visibilité du ciel. L'utilisation du GNSS près d'arbres ou dans des zones urbaines denses était très difficile et parfois quasi impossible. Les géomètres ont dû alors revenir aux méthodes optiques dans les environnements où la ligne de visée était particulièrement restreinte.

La technologie de poursuite et de traitement des signaux GNSS s'est considérablement améliorée ces dernières années. En outre, le nombre de satellites et de signaux disponibles a augmenté, et continue d'augmenter, avec l'introduction de nouvelles constellations de satellites modernisées. Actuellement, il existe trois constellations GNSS qui sont entièrement opérationnelles (GPS, GLONASS, et QZSS) et deux qui sont activement déployées (COMPASS and Galileo). Ainsi, il est maintenant possible pour les géomètres d'élargir la portée de leurs mobiles GNSS dans des zones qui auparavant étaient trop obscurcies. Ce livre blanc se concentre sur les améliorations apportées au moteur de traitement GNSS, le composant d'un logiciel qui calcule la position précise d'un mobile GNSS en fonction d'observations des phases des porteuses.

La RTK (Cinématique en temps réel) et les systèmes de post-traitement de Trimble utilisent désormais le moteur de traitement le plus récent et le plus avancé : Trimble HD-GNSS. Comparé aux anciens moteurs de traitement, Trimble HD-GNSS :

- Produit des positions plus fiables dans des zones GNSS médiocres
- Réduit le temps requis pour converger vers une solution
- Améliore la cohérence des rapports sur la précision

Pour les applications en temps réel, les utilisateurs font l'expérience de temps réduits des démarrages des levés GNSS et d'une meilleure fiabilité des précisions RTK affichées. Pour les applications post-traitées, les utilisateurs profitent d'un traitement plus rapide avec un flux de travail simplifié qui en général ne requiert aucun filtrage des données GNSS brutes avant le traitement.

PRINCIPE DU TRAITEMENT DES GNSS

Positionner un récepteur GNSS avec une précision de l'ordre du centimètre en utilisant des signaux transmis par des satellites qui orbitent à environ 20000 kilomètres au-dessus de la terre à 14000

kilomètres par heure est une tâche extrêmement difficile. Mais, il est possible de comprendre facilement le principe de base. Si nous savons où se trouvent les satellites, et si nous pouvons mesurer la distance à laquelle se trouve le récepteur par rapport à chaque satellite, nous pouvons alors calculer l'emplacement du récepteur par trilatération (Figure 1).



Figure 1. Trilatération des distances des satellites pour estimer la position d'un récepteur autonome

Chaque satellite GNSS transmet sa position à un récepteur sous la forme d'éphémérides qui décrivent l'orbite et le décalage des horloges atomiques pour le satellite. Les distances entre le récepteur et les divers satellites peuvent être mesurées à l'aide des signaux codés de bruit pseudo-aléatoire (PRN) transmis. Cependant, à cause des effets atmosphériques sur la propagation des signaux et de la faible précision des éphémérides des satellites transmis, la position d'un récepteur individuel autonome ne peut être estimée qu'avec une précision de l'ordre de 1 à 5 mètres. Pour surmonter ces sources d'erreurs fondamentales et atteindre un positionnement de l'ordre du centimètre, un récepteur GNSS autonome devrait se connecter à une source supplémentaire pour recevoir les positions très précises des satellites ainsi que les décalages précis des horloges, de même que les modèles précis de tous les effets atmosphériques. Quand les éphémérides transmis sont utilisés, un géomètre atteint un positionnement précis à l'aide d'une combinaison d'un récepteur mobile et d'une station GNSS de référence ou d'un réseau VRS (Station de référence virtuelle).

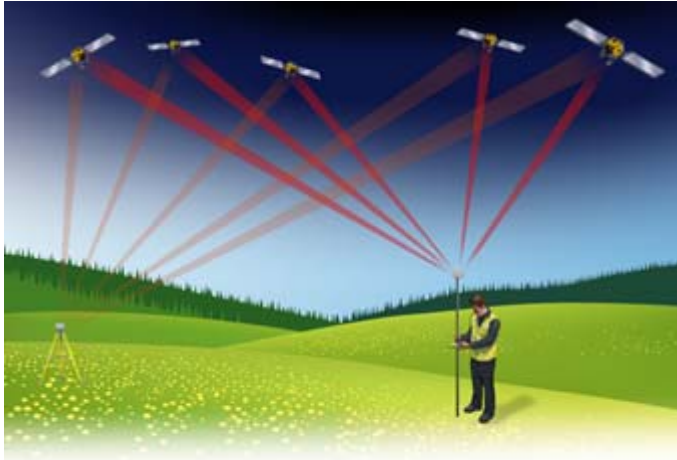


Figure 2. Positionnement de mobile précis avec une station de référence

Un moteur de traitement des GNSS différentiels utilise les données combinées en provenance d'un mobile et d'un récepteur de référence pour réduire les effets des erreurs orbitales et atmosphériques, puisque ces erreurs sont pratiquement identiques au niveau des deux récepteurs (Figure 2). Le moteur de traitement utilise la phase de la porteuse du signal de chaque satellite pour mesurer la distance depuis le mobile jusqu'au satellite avec une précision de l'ordre du millimètre. Ceci est possible car la phase de la porteuse possède une longueur d'onde beaucoup plus petite que le signal codé PRN. Le signal PRN a une longueur d'onde efficace donnée par la longueur en bits du code. Pour le code C/A du Système de positionnement global (GPS), c'est 300 mètres. La longueur d'onde de la porteuse de la fréquence GPS L1 est juste 19 centimètres. Ainsi, comme un ruban à mesurer comportant une graduation plus fine, la phase de la porteuse peut être utilisée de façon plus précise pour mesurer la distance jusqu'à un satellite.

Aux fins de cette discussion, le signal de la phase de la porteuse peut être considéré comme une simple onde sinusoïdale comme indiqué dans la Figure 3. La mesure de la phase de la porteuse est la différence entre la phase du signal reçu et la phase d'un signal équivalent généré à partir de l'oscillateur ou de l'horloge du récepteur. La phase de l'horloge du récepteur, qui démarre à zéro lorsqu'elle est activée, est arbitraire par rapport à l'horloge du satellite. Pour la première mesure après l'acquisition du signal satellite, seule la partie fractionnaire de la phase peut être mesurée. La distance réelle entre le satellite et l'antenne du mobile est la somme de cette fraction et un nombre inconnu de longueurs d'onde complètes. Le nombre inconnu de longueurs d'onde est appelé "l'ambiguïté de nombre entier". Pour mesurer avec précision la distance, le moteur de traitement doit résoudre cette ambiguïté.



Figure 3. L'ambiguïté de nombre entier est le nombre inconnu de longueurs d'onde complètes de la phase de la porteuse entre le mobile et chaque satellite.

Les moteurs de traitement GNSS traditionnels utilisaient la combinaison des données de la référence et du mobile pour tenter de "fixer" le nombre de longueurs d'onde complètes entre le mobile et les satellites. Le processus se faisait normalement en deux étapes distinctes dans le moteur de traitement :

1. Une solution "flottante" a été créée en utilisant à la fois les observables du code PRN et ceux de la phase de la porteuse.
2. Une recherche a été menée pour résoudre les ambiguïtés de nombre entier.

Un processus de recherche a réussi à produire une solution qui était "fixe".

Les précisions pour les solutions flottantes ont été principalement influencées par le bruit du code PRN, les solutions étaient de ce fait plutôt médiocres. Les précisions des flottantes habituelles correspondaient à plusieurs décimètres et étaient de valeur limitée pour la plupart des applications de levé. La solution flottante était souvent retenue pendant une période de temps considérable lorsque l'on travaillait dans un environnement difficile ou avec une longue ligne de base, et était suivie par un basculement instantané vers une solution fixe. Ainsi, la convergence de flottante vers fixe était hautement polarisée.

L'approche flottante/fixe pour la résolution de l'ambiguïté de nombre entier comportait toutefois un certain nombre d'inconvénients. D'une part, l'utilisateur était incapable d'extraire des positions utilisables jusqu'à ce que le récepteur ne converge sur une solution fixe. D'autre part, il y avait un risque de solution incorrecte si le moteur de traitement venait à choisir le mauvais groupe d'ambiguïtés de nombre entier. Dans ce cas, le groupe correct de nombres entiers serait alors écarté et ne pourrait être choisi jusqu'à ce que la recherche ne soit renouvelée. Pour la RTK, cela donnait lieu à une position aberrante indiquée avec des précisions trop bonnes et donc irréalistes pendant plusieurs secondes jusqu'à ce qu'elle soit détectée par une vérification automatisée de l'intégrité.

Ces diverses conditions sont décrites dans la Figure 4, où les précisions sont données par l'ampleur des ellipses.

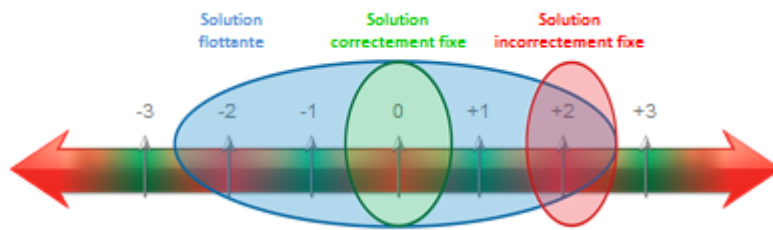


Figure 4. Dans les environnements GNSS médiocres, un ancien instrument de traitement GNSS pouvait être sujet à des solutions flottantes imprécises et à des solutions fixes incorrectes pour l'ambiguïté de nombre entier.

Trimble HD-GNSS permet une percée en matière de technologie de résolution des ambiguïtés qui est possible grâce à un certain nombre de facteurs :

- Il y a eu plusieurs améliorations au niveau des matériels informatiques des récepteurs GNSS depuis que ces premiers algorithmes de traitement ont été mis au point. Les récepteurs ont notamment évolué avec la disponibilité accrue de satellites et de signaux. Les premiers récepteurs GPS de topographie ne pouvaient poursuivre que deux signaux de porteuse : GPS L1 et L2. Le tout nouveau récepteur R10 de Trimble, avec sa capacité de 400 canaux, est capable de poursuivre les 16 porteuses GNSS énumérées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Capacités de poursuite du Trimble R10

Système GNSS	Signal de la porteuse	Fréquence (MHz)
GPS	L1	1575,42
	L2	1227,60
	L5	1176,45
GLONASS	L1	$1602 + 0,5625 \cdot N$
	L2	$1246 + 0,4375 \cdot N$
Galiléo	E1	1575,42
	E5	1191,795
	E5a	1176,45
	E5b	1207,14
QZSS	L1	1575,42
	L2	1227,60
	L5	1176,45
	LEX	1278,75
Boussole	B1	1561,098
	B2	1207,14
	B3	1268,52

- Les antennes et récepteurs GNSS modernes sont bien meilleurs dans l'atténuation des signaux à trajets multiples. Une fois échantillonnées numériquement, les erreurs de trajets multiples sont réduites encore davantage via des techniques de traitement de logiciels propriétaires.
- La disponibilité de puissance de calcul améliorée a facilité l'utilisation d'algorithmes de poursuite de signaux GNSS beaucoup plus sophistiqués ainsi que des techniques de traitement RTK plus poussées. Le récepteur R10 GNSS repose sur la technologie de pointe de circuit imprimé personnalisé Trimble Maxwell-6 pour le traitement des signaux GNSS. Les calculs RTK sont accomplis dans le R10, avec un micro-processeur beaucoup plus puissant et efficace en termes de consommation d'énergie que ses prédécesseurs. Pour le post-traitement des données GNSS, l'ordinateur de bureau moyen est habituellement équipé d'un micro-processeur multi-couches de très haute puissance.

Toutes ces améliorations ont conduit à la mise au point d'une méthodologie de traitement des GNSS beaucoup plus solide.

Pour bénéficier pleinement des nombreuses constellations GNSS d'aujourd'hui ainsi que de la technologie Maxwell de Trimble, le récepteur Trimble R10 ainsi que le logiciel de bureau Trimble Business Center (TBC) sont désormais équipés du moteur de traitement Trimble HD-GNSS. La technologie Trimble HD-GNSS offre une nouvelle approche à la résolution des ambiguïtés de nombre entier qui diffère des solutions traditionnelles fixe/flottante.

La résolution des ambiguïtés se présente désormais comme une convergence rapide vers une solution précise avec une indication de davantage de précisions réalistes. La discontinuité qui survenait de la transition flottante/fixe est désormais éliminé. Les utilisateurs n'ont de ce fait plus besoin de se préoccuper des solutions "fixe" et "flottante", mais peuvent au contraire se concentrer sur la précision de la solution souhaitée. La convergence de la solution de positionnement est très rapide dans des conditions normales de poursuite. Elle n'est visible que sur des lignes de base plus longues ou dans des environnements difficiles, tels que près des feuillages des arbres. Mais, même dans ces environnements difficiles, de bonnes solutions sont habituellement disponibles durant la convergence, contrairement aux solutions flottantes traditionnelles. Le Trimble HD-GNSS est également beaucoup moins sujet à un comportement imprévisible en présence de biais de mesures tels qu'une multi-trajectoire, qui désormais dégradera simplement les précisions comme prévu.

Avec des données multi-fréquences provenant d'au moins cinq satellites communs au niveau de la référence et du mobile, le moteur de traitement Trimble HD-GNSS est capable de résoudre les ambiguïtés de nombre entier. Les occupations de point RTK subséquentes permettent le stockage avec des précisions de l'ordre du centimètre avec seulement deux époques de données. Pour prendre en compte les nouveaux

satellites et les pertes temporaires de la poursuite des signaux, le moteur de traitement résout l'ambiguïté de nombre entier selon un processus continu. Dans les environnements GNSS difficiles, les moteurs de traitement traditionnels vont invariablement prendre une solution flottante et produire des positions inacceptables. Le Trimble HD-GNSS, au contraire, fournit continuellement les meilleures positions possibles avec des estimations fiables de la précision qui sont en rapport avec la visibilité de l'environnement et des satellites. Cela augmente considérablement la disponibilité des positions utilisables dans les environnements difficiles.

La Figure 5 affiche l'erreur de position au fil du temps pour les solutions du Trimble HD-GNSS par rapport aux solutions traditionnelles flottante et fixe. Dans les anciens traitements, le passage de flottante à fixe survenait après une période de convergence de flottante, mais les erreurs des solutions flottantes restaient néanmoins importantes. La solution Trimble HD-GNSS converge très rapidement, et en général atteindra des précisions de niveau fixe plusieurs secondes avant l'ancien moteur. La figure montre également que l'ancienne méthode était sujette à la production de solutions fixes incorrectes avec une erreur de position élevée. Quand cela se produisait, des précisions acceptables étaient faussement rapportées à l'utilisateur. En revanche, le moteur de traitement Trimble HD-GNSS rapporte davantage de valeurs de précision fiables durant le processus de convergence.

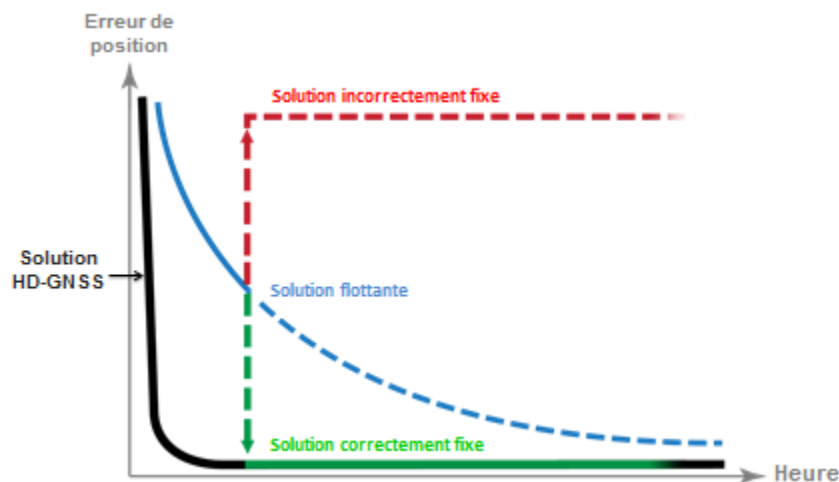


Figure 5. Le moteur de traitement Trimble HD-GNSS résout rapidement les ambiguïtés de nombre entier pour produire des précisions de niveau fixe.

APPLICATION EN TEMPS RÉEL

Le traitement du Trimble HD-GNSS est disponible pour des levés GNSS en temps réel avec le récepteur Trimble R10 (Figure 6) et le logiciel de terrain Trimble Access™. Les utilisateurs noteront tout d'abord que les levés RTK s'initialisent très rapidement. Les anciens systèmes RTK utilisaient le terme "initialisation" pour décrire la transition de flottante à fixe dans le sens traditionnel. "Initialisation" est

désormais définie plus généralement comme le processus de démarrer un levé RTK en se connectant au flux de données de la référence ou au serveur VRS, suivi par la convergence rapide vers une solution d'une précision de l'ordre du centimètre.



Figure 6. Le récepteur Trimble R10 receiver avec le moteur de traitement Trimble HD-GNSS

Avec l'adoption du nouveau moteur de traitement Trimble HD-GNSS dans le récepteur, l'affichage dans le logiciel de terrain Trimble Access n'indique plus les termes "fixe" ou "flottante" lors d'un levé avec un Trimble R10. Comme indiqué dans la Figure 7, le terme plus générique "RTK" est affiché au début du processus de convergence rapide dès que des précisions faibles sont disponibles. Dans un environnement favorable, des précisions de l'ordre du centimètre surviennent souvent en l'espace de quelques secondes après le lancement d'un levé GNSS, atteignant les seuils habituels établis pour la mesure de point d'arpentage.

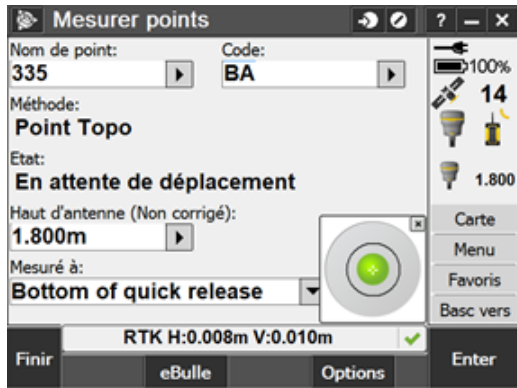


Figure 7. Trimble Access affiche "RTK" lorsque le Trimble R10 est initialisé (Notez le Trimble Access eBubble, qui montre que l'instrument est d'aplomb.)

Dès que le Trimble R10 est initialisé, il est capable de capturer des mesures sur demande avec le niveau affiché de précision. Cela permet d'utiliser le système dans un environnement GNSS médiocre, tel qu'une zone urbaine dense où un grand nombre de satellites sont brouillés. Bien que les résultats les plus précis soient atteints dans des zones ouvertes, l'utilisateur peut continuer à mesurer avec confiance dans des zones obscurcies aussi longtemps que les précisions affichées sont acceptables pour l'application donnée. Comme indiqué dans la Figure 7, Trimble Access affiche une coche verte pour indiquer que les précisions respectent les exigences définies par l'utilisateur.

Le moteur de traitement Trimble HD-GNSS permet aux utilisateurs de mesurer les points topographiques "stop-and-go" avec un Trimble R10 initialisé en juste deux époques de mesures. Combiné avec l'usage de l'eBubble dans Trimble Access pour capturer automatiquement des mesures de points quand le mobile est maintenu statique et d'aplomb (voir Figure 7), le temps d'occupation réduit du "stop-and-go" résulte en une productivité fortement améliorée.

Les valeurs des précisions RTK continueront à refléter les concepts fondamentaux tels que la visibilité du satellite, la géométrie du satellite (PDOP), et la longueur de la ligne de base. Les utilisateurs peuvent optimiser la précision en limitant la distance à partir d'une station de base RTK individuelle ou en utilisant un réseau VRS. Des bonnes pratiques de levé sont toujours recommandées, particulièrement dans les environnements GNSS hostiles où les utilisateurs doivent exercer leurs vérifications favorites de l'intégrité, telles que revenir sur les points et les vérifier par rapport à des points connus.

Pour établir des points de contrôle de levé, Trimble conseille toujours que l'utilisateur occupe chaque point pendant 3 minutes, et à nouveau pendant 3 minutes au moins 2 heures plus tard avec une constellation de satellites sensiblement différente. Le temps d'occupation accru renforce la confiance dans la mesure individuelle. Plusieurs occupations permettent des vérifications indépendantes sur la précision

interne et externe du réseau de contrôle. Pour un travail de contrôle très précis, plusieurs utilisateurs vont préférer collecter et post-traiter des données GNSS brutes.

APPLICATION DE POST-TRAITEMENT

L'arpentage GNSS post-traité demeure l'une des techniques les plus précises et flexibles disponibles pour établir un contrôle des levés. Après tout, cette forme d'arpentage GNSS libère le géomètre de l'exigence de ligne de visée des techniques optiques. Même pour les levés topographiques, le post-traitement est occasionnellement préféré au RTK car il permet à l'utilisateur de fonctionner sans radio-transmission de données ni connexion internet mobile.

La Figure 8 montre que lorsqu'on établit un contrôle de levé, le post-traitement permet à l'utilisateur de créer un réseau inter-connecté de stations de contrôle qui sont hautement précises, à la fois les unes par rapport aux autres et par rapport au système de référence mondial. Un réseau de contrôle hautement précis peut fortement améliorer l'efficacité des levés pour les opérations ultérieures. Par exemple, une équipe d'arpentage peut en toute confiance vérifier ces stations de contrôle pendant qu'elle accomplit un levé d'implantation sans être à la "chasse d'erreurs" autour d'un projet.

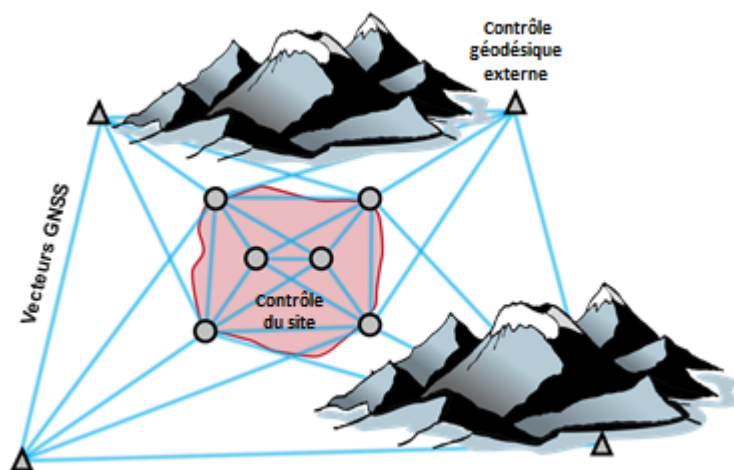


Figure 8. L'arpentage GNSS post-traité est utilisé pour établir un réseau de contrôle GNSS inter-connecté avec des lignes de visée obscurcies.

Malheureusement, de nombreux géomètres évitent les levés GNSS post-traités, car ils pensent qu'ils sont compliqués et sujets aux erreurs. L'application de post-traitement GNSS de Trimble, Trimble Business Center (TBC), utilise le moteur de traitement Trimble HD-GNSS pour améliorer les performances de post-traitement et réduire la complexité. Dans le TBC, un utilisateur peut obtenir d'excellents résultats sans modifier manuellement les données GNSS brutes ni modifier les paramètres par défaut du processeur.

Le moteur de traitement TBC équipé du HD-GNSS utilise les mêmes techniques de pointe de traitement des données que le Trimble R10 pour la modification des données, le filtrage, la résolution de l'ambiguïté de la phase de la porteuse, et l'estimation de la précision. Les précisions horizontales et verticales rapportées sont fiables et cohérentes pour tous les environnements et devraient être utilisées comme principaux critères d'évaluation pour les résultats des traitements.

La Figure 9 montre des résultats typiques de traitement de ligne de base dans le TBC. Le logiciel continue de rapporter "Fixe" et "Flottante" pour les solutions de ligne de base, mais ces termes n'indiquent plus que les ambiguïtés de nombre entier ont été résolus dans le sens traditionnel. Les termes visent désormais à classer les précisions des solutions de ligne de base par rapport aux anciennes solutions fixe et flottante. Bon nombre de géomètres ont besoin de ce classement pour répondre aux exigences des rapports de projet.

Enregi	Observation	Type de solution	Précision horizontal	Précision vert.	RMS	Longueur
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- 5	Fixe	0.014	0.015	0.003	8798.070
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- sstwo	Fixe	0.008	0.010	0.002	9453.313
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- filter	Fixe	0.009	0.011	0.002	8720.221
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- frey	Fixe	0.012	0.013	0.002	7958.637
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- hanna	Fixe	0.007	0.012	0.001	8416.919
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- 3	Fixe	0.008	0.011	0.003	9062.931
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- 5	Fixe	0.009	0.011	0.003	8798.083
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- filter	Fixe	0.007	0.011	0.002	8720.218
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- sstwo	Fixe	0.011	0.011	0.003	9453.305
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- hanna	Fixe	0.012	0.012	0.004	8416.919
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- frey	Fixe	0.007	0.011	0.001	7958.640
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- 3	Fixe	0.008	0.011	0.003	9062.930
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- 5	Fixe	0.007	0.011	0.002	8798.070
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- hanna	Fixe	0.008	0.009	0.002	8416.928
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- frey	Fixe	0.011	0.012	0.003	7958.649
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- sstwo	Fixe	0.008	0.010	0.003	9453.313
<input checked="" type="checkbox"/>	P041 --- 5	Fixe	0.010	0.011	0.002	8798.083

Figure 9. Lignes de base GNSS post-traitées dans Trimble Business Center

Le TBC détermine automatiquement la meilleure approche pour traiter les retards et les avances résultant de la transmission à travers l'atmosphère de la terre. Pour les lignes de base très courtes, ces retards sont courants aussi bien pour les récepteurs de la base que pour les récepteurs du mobile et sont par conséquent éliminés lors du traitement des mesures des phases des porteuses. Pour les lignes de base plus longues, les retards ne sont pas courants et ils doivent de ce fait être modélisés ou éliminés d'une autre façon.

Pour les mesures des phases des porteuses à double ou triple fréquences, les biais ionosphériques peuvent être minimisés sur les longues lignes de base en traitant simplement les combinaisons des phases des porteuses libres d'ionosphérique. Cependant, bien que cette combinaison minimise les influences ionosphériques, elle n'est pas optimale à cause de l'amplification du bruit. De ce fait, le moteur de post-traitement Trimble HD-GNSS détermine automatiquement la combinaison optimale des phases des

porteuses à utiliser pour toute trajectoire cinématique ou ligne de base statique. La combinaison est telle que pour les lignes de base très courtes, il tend vers la combinaison de la ligne étroite (le bruit le plus faible de la phase de la porteuse); pour les lignes de base très longues, il tend vers la combinaison libre d'ionosphérique (le bruit le plus élevé de la phase de la porteuse, mais non biaisé).

Le moteur de post-traitement applique un modèle de retard troposphérique empirique qui signale les retards résultant de la transmission à travers la troposphère. Pour toutes les sessions cinématiques et pour les sessions statiques qui durent moins d'une heure, les retards troposphériques sont calculés à l'aide du modèle Hopfield. Pour les sessions statiques qui durent plus d'une heure sur les lignes de base de plus de 2 kilomètres, les retards troposphériques sont calculés à l'aide du modèle Hopfield avec les fonction de mappage de Niell. En outre, le TBC peut éventuellement améliorer le modèle de retard troposphérique en estimant les corrections à l'aide des mesures des phases des porteuses. Cette combinaison de modèles et de corrections produit invariablement les meilleurs résultats et ne nécessite aucune intervention de la part de l'utilisateur du TBC.

Les solutions pour les lignes de base de plus de 20 kilomètres peuvent être améliorées par le traitement avec des éphémérides précises des satellites. Dans les anciennes applications, le téléchargement et l'importation des fichiers des éphémérides précises étaient chronophages et compliqués. Avec la fonction Téléchargement internet du TBC, l'utilisateur peut avoir accès à ces fichiers avec juste quelques simples clics. Puisque c'est si simple, les utilisateurs devraient envisager l'utilisation des éphémérides précises pour tous les traitements. On peut également utiliser la fonction Téléchargement internet pour récupérer des données brutes de stations de référence depuis des réseaux GNSS dans le monde entier.

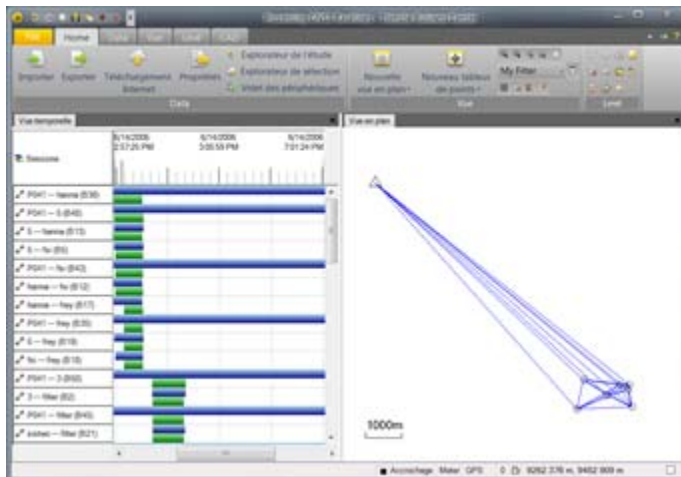


Figure 10. Réseau de contrôle GNSS achevé dans Trimble Business Center

L'ajustement d'un réseau de vecteurs traités dans le TBC avec le moteur Trimble HD-GNSS est aujourd'hui plus simple que jamais auparavant. Grâce aux estimations améliorées de la précision du moteur de traitement, les pondérations pour chaque observation dans le réseau sont plus réalistes. Lorsque l'utilisateur ajuste le réseau, la comparaison entre les estimations des erreurs et le nombre d'ajustements dont a besoin le vecteur durant l'ajustement sans contraintes ou avec un minimum de contraintes produira en général un facteur de référence de réseau proche de 1.00. Ceci élimine l'étape supplémentaire de mise à l'échelle des erreurs trop optimistes qui étaient couramment produites par les anciens moteurs de traitement.

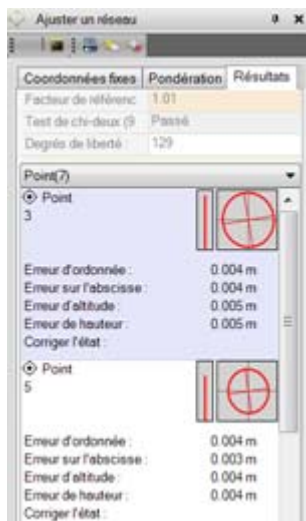


Figure 11. Un ajustement selon la méthode des moindres carrés dans Trimble Business Center produit généralement un facteur de référence de réseau proche de 1.00 pour les vecteurs traités avec le moteur Trimble HD-GNSS.

CONCLUSION

Les progrès dans le traitement GNSS, la disponibilité de satellites et de signaux additionnels, et la poursuite améliorée des signaux se sont combinés pour accroître la portée de l'arpentage GNSS dans des environnements encore plus difficiles. La nouvelle technologie a également réduit la complexité de l'application des GNSS pour aussi bien les techniques en temps réels que les techniques post-traitées, permettant au géomètre de positionner, avec confiance et précision, des points dans pratiquement n'importe quel environnement extérieur.

Mener avec succès l'arpentage GNSS réclamait habituellement de longues périodes de formation sur des logiciels équipés d'interfaces compliqués qui pouvaient entraîner des erreurs de l'utilisateur. Désormais, grâce au moteur de traitement Trimble HD-GNSS intégré au récepteur Trimble R10 et au logiciel de bureau Trimble Business Center, l'utilisateur peut se passer de toutes ces procédures compliquées et se concentrer sur les précisions rapportées.

En plus des bienfaits que les utilisateurs peuvent tirer aujourd'hui de l'utilisation du moteur de traitement Trimble HD-GNSS, le passage à cette nouvelle méthodologie permet à Trimble de continuer à améliorer les performances à mesure que se développent les constellations GNSS. Trimble HD-GNSS a été conçu pour être entièrement évolutif grâce à des mises à jour micrologicielles et logicielles. Il est de ce fait bien positionné pour tirer pleinement parti des satellites et signaux GNSS additionnels pour améliorer encore plus l'arpentage dans les conditions de plus en plus exigeantes sur le terrain. L'avenir des GNSS est de toute évidence un progrès technologique constant, dont bénéficieront les utilisateurs de Trimble en termes de productivité et de précision de levé sans cesse croissantes.