

Le réseau et les services Orphéon intègrent Galileo et BeiDou : quels sont les avantages pour le NRTK de haute précision ?

■ Xiaoguang LUO - Jun CHEN - Bernhard RICHTER - version française de François FUND

Depuis le 7 septembre 2017, la totalité des stations de référence, l'infrastructure et les logiciels de calcul de corrections Orphéon opérés par Geodata Diffusion permettent de délivrer des produits "Full GNSS" (GPS + GLONASS + Galileo + BeiDou).

Pour tirer profit de la modernisation du réseau Orphéon, il est important de comprendre les avantages qu'offrent les signaux Galileo et BeiDou pour le positionnement NRTK (Near Real Time Kinematic). Au travers d'études de cas intégrant la longueur de la ligne de base, les multitrajets et les canopées, les résultats confirment que la constellation Galileo actuelle est utilisable à des fins de positionnement NRTK de haute précision et montrent une disponibilité, une précision, une fiabilité et un temps de fixation améliorés dans des environnements d'observation difficiles. Durant le déploiement du système Galileo, encore plus d'avantages sont à prévoir dans un futur proche.

Article paru dans la revue GPS World d'août 2017 sous le titre "How Galileo benefits high-precision RTK", version française avec l'accord des auteurs, l'introduction pour XYZ est de François FUND.

Introduction

Depuis le 7 septembre 2017, la totalité des stations de référence, l'infrastructure et les logiciels de calcul de corrections Orphéon opérés par Geodata Diffusion permettent de délivrer des produits "Full GNSS" (GPS + GLONASS + Galileo + BeiDou).

Après un mois de tests, Geodata Diffusion étoffe donc son offre de service en proposant aux utilisateurs du réseau Orphéon des corrections temps réel GNSS compatibles avec GPS, GLONASS, Galileo et BeiDou. Orphéon devient ainsi le 1^{er} réseau de France 100 % Full GNSS sur tout le territoire national et pour l'ensemble de ses services.

Pour tirer profit de la modernisation du réseau Orphéon, il est important de

MOTS-CLÉS

Full GNSS, NRTK benefits, signal Galileo et Beidou, réseau Orphéon

Kinematic). Les résultats de ces études, focalisées sur Galileo, ont été publiés dans la revue GPS World le 9 août 2017. Avec l'accord des auteurs, cet article est republié ici en français.

Qu'attendre de la constellation actuelle ?

Cet article démontre les avantages qu'apporte l'utilisation de Galileo sur le NRTK de haute précision au travers d'études de cas intégrant la longueur de la ligne de base, les multitrajets et les canopées.

Les résultats confirment que la constellation Galileo actuelle est utilisable à des fins de positionnement NRTK de haute précision et montrent une disponibilité, une précision, une fiabilité et un temps de fixation améliorés dans des environnements d'observation difficiles.

Enfin, le positionnement RTK utilisant uniquement Galileo est comparé aux

comprendre les avantages qu'offrent les signaux Galileo et BeiDou pour le positionnement NRTK (Near Real Time

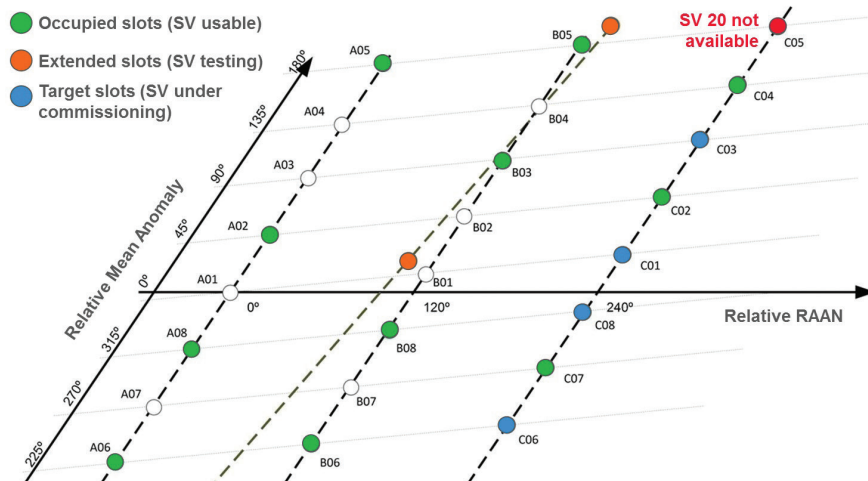


Figure 1. État de l'occupation des slots des orbites Galileo (RAAN : ascension droite des nœuds ascendants, 9 mai 2017). (Source : ESA)



positionnements utilisant uniquement GPS ou GLONASS.

Jusqu'à maintenant, et à partir de mesures simulées et observées, les avantages de Galileo (*figure 1*) pour le RTK de haute précision ont été évalués en mode RTK et NRTK. En nous basant sur des résultats de précédentes études utilisant généralement des analyses théoriques et des simulations, nous présentons les avantages d'ajouter Galileo pour le NRTK de haute précision à partir d'observations faites sur la constellation déployée dans sa phase IOC (*Initial Operational Capability*). En utilisant les corrections temps réel incluant Galileo, nous analysons les performances du NRTK en termes de disponibilité, de précision, de fiabilité et de temps de fixation dans différentes conditions de mesure.

Pour atteindre une interopérabilité maximale avec les autres constellations GNSS, tous les signaux Galileo dans les bandes E1 et E5, c'est-à-dire E1, E5a, E5b et AltBOC (*Alternative Binary Offset Carrier*), sont utilisés pour le positionnement via les derniers *firmware* et modèles de récepteurs propriétaires (voir le chapitre "Équipements utilisés"). Le signal Galileo E1 est superposé au signal GPS L1 à une fréquence centrale de 1575.42 MHz, tandis que le signal Galileo E5a est superposé au signal GPS L5 à la fréquence 1176.45 MHz. Concernant BeiDou, la fréquence Galileo E5b correspond à sa fréquence B2 de 1207.14 MHz.

Le signal AltBOC est utilisé pour bénéficier de sa capacité à éliminer les multitrajets. La disponibilité de plus de deux fréquences est aussi bénéfique pour la modélisation des effets ionosphériques qui jouent un rôle important dans la résolution des ambiguïtés en temps réel.

De plus, le RTK multifréquence apporte plus de résistance aux interruptions de signal GNSS causées par des interférences ou aux multitrajets. Lors de la formation de combinaisons linéaires, l'utilisation de signaux multifréquences accroît la flexibilité et la robustesse. Les algorithmes RTK doivent prendre en compte les corrélations induites par l'utilisation d'un même signal dans différentes combinaisons.

En sélectionnant le tracking des satellites Galileo des récepteurs, les signaux Galileo seront utilisés par défaut pour différents modes de positionnement RTK comme le positionnement navigué, le DGPS, le RTK étendu xRTK et le RTK fixe. En comparaison du RTK fixe, le xRTK fixe est d'une précision légèrement moindre mais fournit une meilleure disponibilité dans des environnements difficiles comme les canyons urbains et les canopées denses.

En termes de formats de correction RTK, Galileo est inclus dans les messages RTCM v3 MSM et dans le format propriétaire Leica 4G. Pour utiliser Galileo avec les réseaux RTK, les produits temps réel opérés par les services de corrections doivent l'inclure. Dans les dernières versions des logiciels propriétaires des réseaux GNSS, Galileo est utilisé pour produire des corrections RTK de type iMAX (*Master Auxiliary*) et VRS (*Virtual Reference Station*) dans les formats RTCM 3.2 MSM.

Critères de performances RTK

Le RTK multiconstellation et multifréquence GNSS est un procédé temps réel complexe, cherchant à fournir un positionnement d'une précision centimétrique au bout de quelques "époques", en mode cinématique et ce même dans des environnements difficiles. En conséquence, les critères de performance RTK doivent être soigneusement sélectionnés pour évaluer le système complet et satisfaire les besoins des applications des utilisateurs.

Les paramètres suivants sont utilisés dans cet article pour évaluer les avantages de Galileo pour le RTK de haute précision.

- **Utilisation satellite** : nombre de satellites utilisés dans la solution RTK fixe avec un angle de coupure de 10°.
- **Disponibilité** : pourcentage de position RTK fixe relativement au nombre de positions obtenues dans une période donnée.
- **Précision** : écarts des positions RTK fixes par rapport à une référence de très forte précision, pouvant être déterminée par une station totale ou un post-traitement GNSS sur une longue période.

- **Fiabilité** : pourcentage d'erreurs de positionnement (par rapport à la référence) inférieures à trois fois l'indicateur qualité QC (*Quality Check*).

- **Temps de fixation (TTF ; Time To Fix)** : durée nécessaire à l'obtention d'une position RTK fixe après perte des ambiguïtés entières et sans interruption de signal GNSS.

Observations "open-sky"

Cette étude a été effectuée sur un banc de test à Heerbrugg. Deux récepteurs ont été connectés à une même antenne à l'aide d'un *splitter* quatre ports. Un récepteur recevait quatre types de corrections iMAX dans le format RTCM v3 MSM pour une ligne de base de 2 km, tandis que le deuxième récepteur recevait les mêmes corrections mais pour une ligne de base de 116 km. Considérant les différentes longueurs de ligne de base, l'expérience s'est concentrée sur l'utilisation possible de la constellation Galileo actuelle dans des conditions normales d'utilisation. Deux jours de données GNSS cadencées à 1Hz ont été analysées en termes d'utilisation satellite et de précision.

Suivant les combinaisons GNSS de la ligne de base courte, GPS+GLO (GG), GPS+GLO+BDS (GGB) et GPS+GLO+GAL+BDS (GGGB), le nombre moyen de satellites utilisés étaient respectivement de 15, 17 et 20 et avec un angle de coupure de 10°. En moyenne, trois satellites Galileo ont contribué aux solutions NRTK fixe.

Pour la combinaison quadri-constellations GGGB, la *figure 2* montre l'utilisation satellite de chaque constellation au cours des deux jours. On peut voir que pour une ligne de base de 2 km, un nombre maximum de quatre satellites Galileo peut être utilisé pour le positionnement. En fait, durant 80.3 % du temps, le nombre de satellites Galileo utilisés dans les solutions NRTK fixe était égal ou supérieur au nombre de satellites BeiDou utilisés.

Le *tableau 1* fournit les statistiques de l'utilisation satellite de Galileo dans le cas GGGB et pour deux lignes de base. Comme prévu, le nombre de satellites Galileo utilisés diminue avec l'augmen-



Tableau 1. Probabilité (%) que n satellites Galileo soient utilisés pour le positionnement NRTK fixe GGGB durant les deux jours de l'étude open-sky (iMAX, RTCM v3 MSM, GGGB : GPS+GLO+GAL+BDS).

Nombre de satellites Galileo utilisés n	Courte ligne de base (2 km)	Longue ligne de base (116 km)
$n = 0$	1.9	15.0
$n = 1$	0.4	0.6
$n = 2$	28.8	41.0
$n = 3$	40.7	30.4
$n = 4$	28.2	13.0
$n \geq 2$	97.7	84.4
$n \geq 3$	68.9	43.4

tation de la longueur de la ligne de base. Dans approximativement 41 % des cas, trois satellites Galileo sont utilisés dans le cas de la longue ligne de base.

De plus, la probabilité qu'aucun satellite Galileo ne soit utilisé dans la combinaison quadri-constellation GGGB passe de 1.9 % à 15 % avec l'augmentation de la longueur de la ligne de base de 2 km à 116 km. La probabilité qu'un seul satellite Galileo soit utilisé en *open sky* est relativement faible, autour de 0.5 %. Ce résultat est satisfaisant puisqu'aucun avantage pour le NRTK de haute précision n'est attendu dans cette situation particulière. Dans le cas de la ligne de base courte, il y a une probabilité de 97.7 % qu'au moins deux satellites Galileo soient utilisés pour le positionnement, alors que cette probabilité diminue à 84.4 % dans le cas de la longue ligne de base.

En termes de précision, la *figure 3* compare l'erreur 3D sur la longue ligne

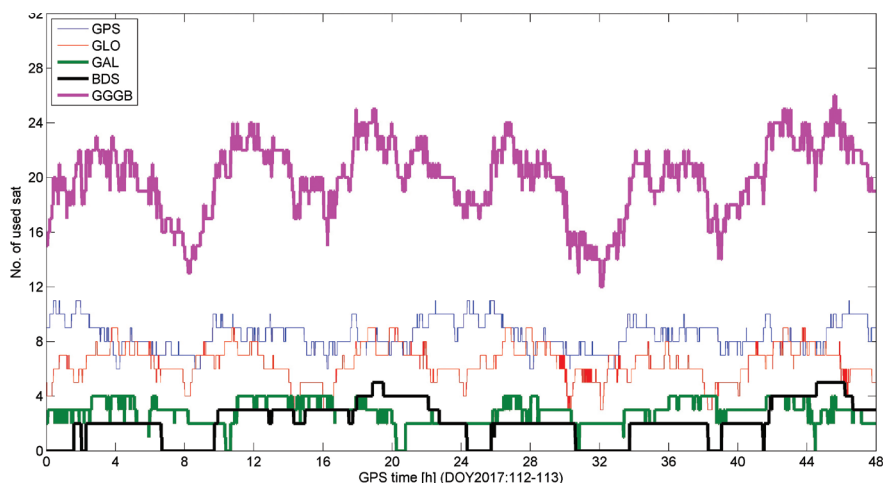


Figure 2. Nombre de satellites utilisés pour le positionnement NRTK fixe GGGB en open-sky (iMAX, RTCM v3 MSM, longueur de la ligne de base : 2 km, GGGB : GPS+GLO+GAL+BDS, DOY : jour de l'année).

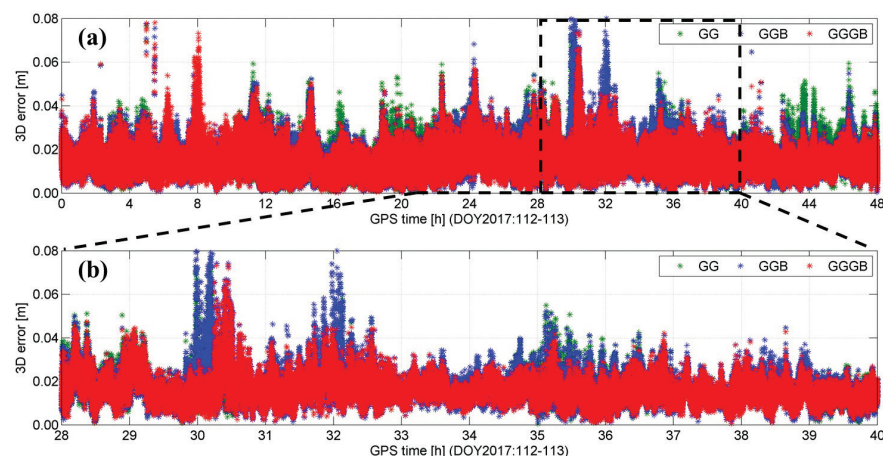


Figure 3. Erreurs 3D des positions NRTK fixe en open-sky (iMAX, RTCM v3 MSM, longueur de la ligne de base : 116 km, GG : GPS+GLO en vert, GGB : GPS+GLO+BDS en bleu, GGGB : GPS+GLO+GAL+BDS en rouge, DOY : jour de l'année) (a) période de deux jours entiers, (b) sélection d'une période de 12 h (28-40 h).

de base avec différentes constellations GNSS. Sur l'ensemble de la période illustrée sur la *figure 3a*, l'intégration de BeiDou (GG vs GGB) et de Galileo (GGB vs GGGB) fournit une répétabilité de positionnement plus forte. Sur

une période de douze heures, la *figure 3b* met en avant les avantages de Galileo qui réduit l'erreur 3D de 6-8 cm à 3-4 cm, au moment où deux ou trois satellites Galileo sont utilisés dans la solution GGGB.



Figure 4. Installation test dans un environnement avec d'importants multitrajets à Heerbrugg (mobile : GS16, hauteur d'antenne : 1.8 m) (a) vue depuis le Sud, (b) vue depuis le Nord.

Tableau 2. RMS (m) des positions NRTK fixe avec d'importants multitrajets (VRS, RTCM v3 MSM, GGB : GPS+GLO+BDS, GGGB : GPS+GLO+GAL+BDS).

	Total (3D)	Horizontal (2D)	Hauteur (1D)
GGB	0.080	0.028	0.075
GGGB	0.035	0.016	0.031
Amélioration	56.3%	42.9%	58.7%

Observations avec multitrajets

Pour cette étude, une antenne GNSS a été installée dans un environnement propice à d'importants multitrajets et où les signaux GNSS sont obstrués et réfléchis par les bâtiments environnants (figure 4). Cette installation simule le cas d'un utilisateur mesurant un point à proximité d'un bâtiment avec une qualité de réception des signaux GNSS dégradée, même à des angles d'élévation élevés.

Un angle de coupure de 10° a été appliqué. Le récepteur recevait quatre types de corrections VRS au format RTCM v3 MSM, et pour lesquelles la station de référence était à environ 200 m. Trois heures de données GNSS cadencées à 1 Hz ont été analysées en termes de précision, disponibilité et temps de fixation.

La figure 5 montre les erreurs 3D du NRTK multiconstellation avec et sans Galileo (GGGB vs GGB) ainsi que le nombre de satellites utilisés. Pour les périodes encadrées par les pointillés, l'introduction de deux ou trois satellites Galileo (figure 5b) améliore significativement le positionnement dont la précision passe du décimètre au centimètre (figure 5a). En comparant les fonctions de distribution cumulatives (CDF : *Cumulative Distribution Function*) et empiriques de l'erreur 3D, la probabilité que l'erreur 3D soit inférieure à 5 cm passe de 70 % à 85 % si Galileo est utilisé, et ce même avec un nombre maximum de trois satellites.

Les tableaux 2 et 3 fournissent respectivement les écarts quadratiques (RMS : *Root Mean Square*) des erreurs de positionnement NRTK fixe et la fiabilité des positions. En utilisant Galileo pour le NRTK haute-précision, l'erreur RMS 3D

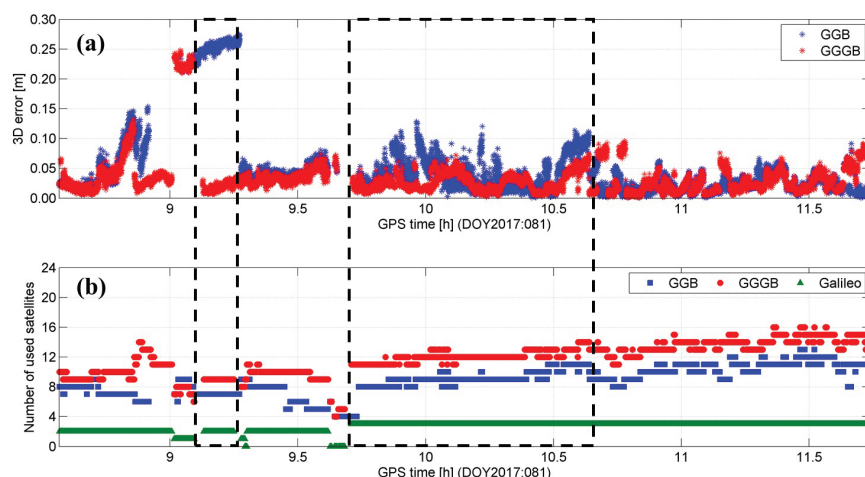


Figure 5. Impact de l'intégration de Galileo sur la précision du positionnement NRTK avec d'importants multitrajets (VRS, RTCM v3 MSM, GGB : GPS+GLO+BDS en bleu, GGGB : GPS+GLO+GAL+BDS en rouge, DOY : jour de l'année) (a) erreurs 3D des positions NRTK fixe, (b) nombre de satellites utilisés (Galileo en vert).

Tableau 3. Fiabilité (%) des positions NRTK fixe avec d'importants multitrajets (VRS, RTCM v3 MSM, GGB : GPS+GLO+BDS, GGGB : GPS+GLO+GAL+BDS).

	Total (3D)	Horizontal (2D)	Hauteur (1D)
GGB	88.2	87.9	88.3
GGGB	95.5	95.6	95.5
Amélioration	7.3	7.7	7.2

est significativement réduite de 56.3 %, passant de 0.080 m (GGB) à 0.035 m (GGGB). Par rapport aux composantes horizontales, le RMS des erreurs sur la hauteur présente une nette amélioration de 58.7 % due à l'intégration de Galileo. La fiabilité reflète la cohérence

entre l'erreur de positionnement et l'indicateur qualité CQ estimé à partir de modèles mathématiques intégrés dans les algorithmes NRTK. Comme l'indique le tableau 3, la fiabilité 3D s'améliore de 7.3 %, passant de 88.2 % (GGB) à 95.5 % (GGGB), et cette amélioration est comparable à celles des composantes horizontales et de hauteur.

Le TTF (*Time To Fix*) a été déterminé en réinitialisant constamment le NRTK une fois les ambiguïtés résolues. Durant toute la période dédiée aux réinitialisations, les signaux GNSS ont été suivis sans interruption. Un total de 775 TTF a été obtenu en mode GGB et 1128 TTF en mode GGGB. Le nombre nettement plus grand de TTF obtenu en mode GGGB indique une plus grande dispo-

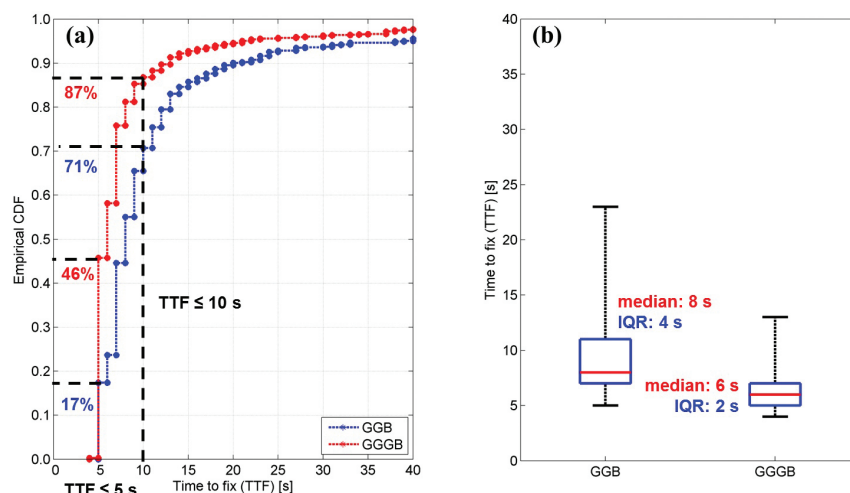


Figure 6. Statistiques de l'impact de l'intégration de Galileo sur le Time to Fix (TTF) avec d'importants multitrajets (VRS, RTCM v3 MSM) (a) fonction de distribution cumulée (CDF) du TTF, (b) médianes et écarts interquartiles du TTF (IQR).



Figure 7. Installation test sous canopée à Heerbrugg (mobile : GS10, antenne : AS10).

nibilité du NRTK fixe quand Galileo est utilisé.

La *figure 6* présente la distribution statistique du TTF suivant l'introduction ou non de Galileo. La CDF empirique sur la *figure 6a* indique un temps de résolution des ambiguïtés plus court avec la combinaison GGGB. En effet, elle permet de résoudre les ambiguïtés en moins de 5s (10s) avec 46 % (87 %) de probabilité, ce qui est 29 % (16 %) plus élevé que pour la combinaison GGB. Sur la *figure 6b*, la combinaison GGGB présente une médiane moins élevée (de l'ordre de 25 %, de 8s à 6s) et un écart interquartile réduit (IQR : *Inter-Quartile Range*, de l'ordre de 50 %, de 4s à 2s) par rapport à la combinaison GGB. Cela indique que l'utilisation de Galileo permet une réso-

lution des ambiguïtés plus rapide et avec des performances de fixation plus cohérentes.

Observations sous canopée

Pour cette étude, un récepteur a été connecté à une antenne sous trois canopées (*figure 7*) et où les signaux GNSS sont bloqués, atténués et réfléchis, conduisant à un nombre d'observations réduit, des données d'une qualité médiocre et des performances NRTK dégradées.

Dans ces circonstances, l'utilisation des satellites Galileo transmettant des signaux multifréquences peut être particulièrement avantageuse pour le NRTK de haute précision. En utilisant un angle de coupure de 10°, le récepteur recevait

quatre types de corrections iMAX au format RTCM v3 MSM pour une ligne de base de 116 km. Une longue ligne de base a été intentionnellement sélectionnée pour augmenter la difficulté. Environ sept heures de données GNSS cadencées à 1 Hz ont été analysées en termes de disponibilité, précision et fiabilité.

La *figure 8* illustre l'impact de l'utilisation de Galileo sur la disponibilité et la précision du positionnement NRTK sous canopée, ainsi que le nombre de satellites utilisés. Comme le montre la *figure 8a*, l'utilisation de Galileo

Tableau 4. RMS (m) des positions NRTK fixe sous canopée (iMAX, RTCM v3 MSM, longueur de la ligne de base : 116 km, GGB : GPS+GLO+BDS, GGGB : GPS+GLO+GAL+BDS).

	Total (3D)	Horizontal (2D)	Hauteur (1D)
GGB	0.114	0.065	0.102
GGGB	0.087	0.062	0.075
Amélioration	23.7%	4.6%	26.5%

Tableau 5. Fiabilité (%) des positions NRTK fixe sous canopée (iMAX, RTCM v3 MSM, longueur de la ligne de base : 116 km, GGB : GPS+GLO+BDS, GGGB : GPS+GLO+GAL+BDS).

Total	Total (3D)	Horizontal (2D)	Hauteur (1D)
GGB	92.6	99.2	94.6
GGGB	94.5	99.5	96.0
Amélioration	1.9	0.3	1.4

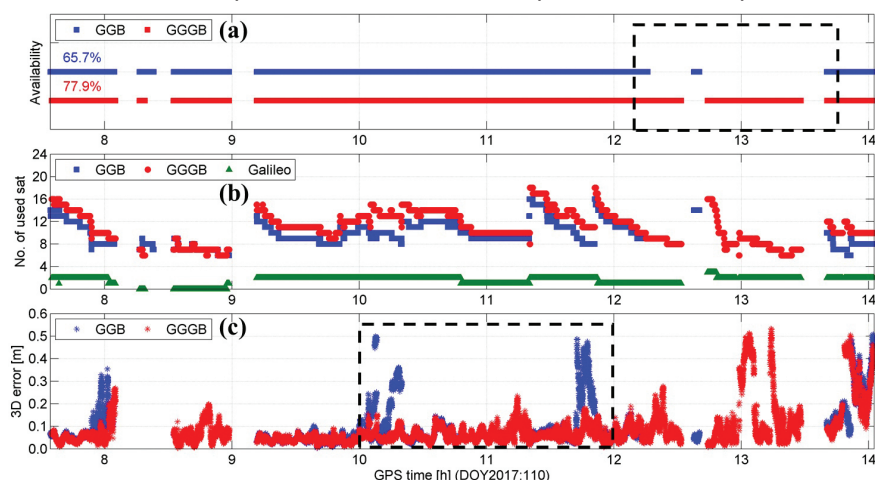


Figure 8. Impact de l'intégration de Galileo sur la disponibilité et la précision du positionnement NRTK sous canopée (iMAX, RTCM v3 MSM, longueur de la ligne de base : 116 km, GGB : GPS+GLO+BDS en bleu, GGGB : GPS+GLO+GAL+BDS en rouge, DOY : jour de l'année) (a) disponibilité des positions NRTK fixe au cours du temps, (b) nombre de satellites utilisés (Galileo en vert), (c) erreurs 3D des positions NRTK fixe.

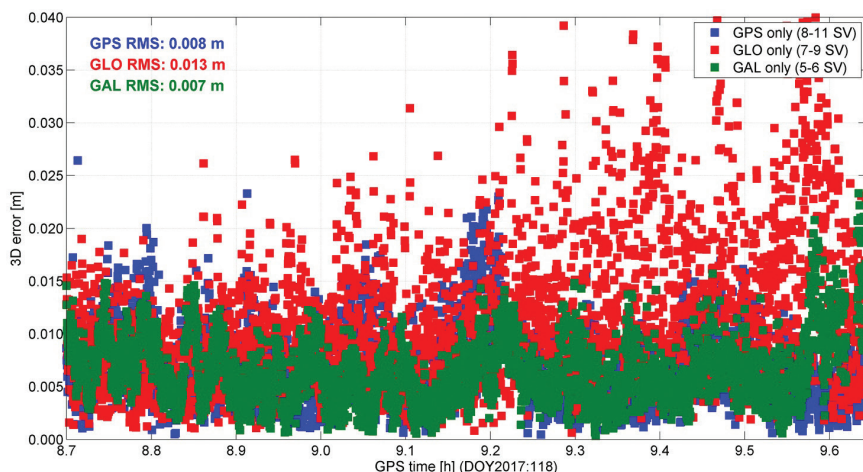


Figure 9. Erreurs 3D des positions RTK fixe GPS seul, GLONASS seul et Galileo seul en open-sky (longueur de la ligne de base : 1 m, RTCM v3 MSM, DOY : jour de l'année, RMS : Root Mean Square).

augmente la disponibilité des positions NRTK fixe de 12.2 %, passant de 65.7 % (GGB) à 77.9 % (GGGB). De plus, le nombre d'erreurs de positionnement décimétriques est largement réduit comme le montre la *figure 8c*. Les améliorations en termes de disponibilité et de précision sont atteintes en utilisant jusqu'à trois satellites Galileo (*figure 8b*). Cela démontre que la constellation Galileo actuelle, dans sa phase IOV, apporte des avantages considérables au NRTK de haute précision sous canopée.

Les *tableaux 4 et 5* fournissent respectivement les RMS des erreurs de positionnement et la fiabilité des positions. Les principaux facteurs de dégradation de la précision NRTK dans cette étude sont non seulement les canopées mais aussi la longueur de la ligne de base de 116 km. Le *tableau 4* montre que l'utilisation de Galileo réduit l'erreur RMS 3D de 23.7 %, passant de 0.114 m (GGB) à 0.087 m (GGGB).

En comparant les erreurs RMS 2D et 1D, les avantages de Galileo pour la composante de hauteur sont plus importants que pour les composantes horizontales, ce qui a également été observé dans un environnement avec multitrajets (*tableau 2*). En termes de fiabilité, une légère (moins de 2 %) amélioration est visible dans le *tableau 5*. Une ligne de base de 116 km et une canopée importante sont considérées comme une situation extrême et au-delà des spécifications d'une utilisation standard. En

considérant la fiabilité et la disponibilité (*figure 8a*), il est très encourageant de constater que ces deux critères de performance NRTK sont améliorés dans cette étude de cas.

RTK en mode Galileo seul

Pour optimiser les performances du positionnement RTK multi-GNSS, les GNSS individuels doivent être pleinement compris et maîtrisés. Depuis le précédent *firmware* d'août 2014, les équipements destinés aux marchés de masse sont en capacité d'effectuer du RTK haute précision en mode GLONASS seul et BeiDou seul. En 2014, nous avons comparé les performances du RTK en modes GPS seul, GLONASS seul et BeiDou seul et ce à différents niveaux de précision. Considérant que Galileo a atteint sa phase IOC, il est désormais possible d'évaluer le RTK en mode Galileo seul via le dernier *firmware*.

En raison du nombre limité de satellites Galileo utilisables, le positionnement RTK Galileo seul a été mené avec un banc de test *open-sky* et une ligne de base très courte (1 m). En plus, l'angle de coupure a été abaissé à 0° pour suivre simultanément le plus de satellites Galileo possible. Deux récepteurs ont été connectés à deux antennes *choke-ring* ayant une forte capacité de *tracking* à faible élévation. Le positionnement RTK a été effectué avec quatre types de corrections au format RTCM

v3 MSM. Environ 1 h de données GNSS cadencées à 1 Hz ont été analysées, particulièrement en termes de précision du positionnement.

La *figure 9* montre l'erreur 3D des positionnements RTK GPS seul, GLONASS seul et Galileo seul où le nombre de satellites utilisés était respectivement de 8-11, 7-9 et 5-6. Durant la période de test, seulement trois ou quatre satellites BeiDou étaient suivis et avec une géométrie médiocre, rendant impossible le positionnement RTK BeiDou seul. Comme le montre la figure les erreurs 3D du RTK GPS seul et Galileo seul sont à des niveaux comparables avec des RMS similaires, alors que l'erreur RMS 3D du RTK GLONASS seul est presque deux fois plus importante que celle du RTK GPS/Galileo seul. À noter qu'en comparaison du RTK GPS seul, presque moitié moins de satellites sont utilisés dans le cas du RTK Galileo seul.

La *figure 10* présente la distribution statistique de l'erreur 3D des positionnements RTK GPS seul, GLONASS seul et Galileo seul. Les CDF empiriques sur la *figure 10a* indiquent que le RTK GPS/Galileo seul a une distribution de l'erreur plus favorable que le GLONASS seul. En utilisant seulement GPS ou Galileo, la probabilité que l'erreur 3D soit inférieure à 1 cm est supérieure à 80 %, ce qui est approximativement 30 % de plus qu'en GLONASS seul. Pour les erreurs 3D comprises entre 5 mm et 1.7 cm, le RTK Galileo seul présente même une probabilité légèrement meilleure que le GPS seul. Les erreurs 3D présentées sur la *figure 10b* illustrent un comportement similaire entre les RTK GPS seul et Galileo seul, et supérieur au RTK GLONASS seul en raison de plus faibles médianes et d'IQR.

Conclusions

Depuis l'annonce des premiers services opérationnels Galileo en décembre 2016, pour la première fois tous les utilisateurs GNSS du monde entier sont en capacité d'utiliser les informations de positionnement, de navigation et de datation fournies par la constellation globale des satellites Galileo. Avec un système complet en 2020, Galileo jouera un rôle important dans les applications GNSS de

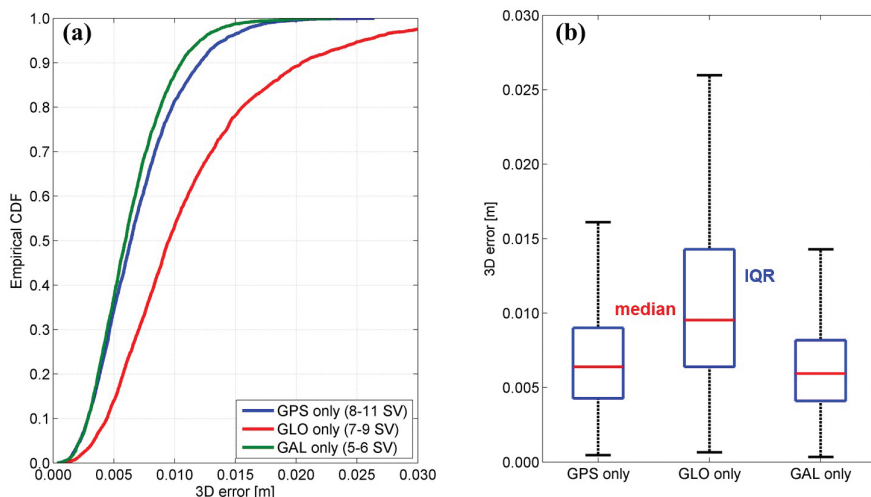


Figure 10. Statistiques des erreurs 3D du RTK GPS seul, GLONASS seul et Galileo seul en open-sky (longueur de la ligne de base : 1 m, RTCM v3 MSM (a) fonction de distribution cumulée (CDF) des erreurs 3D, (b) médianes et écarts interquartiles des erreurs 3D (IQR).

haute précision et ce pour tous les utilisateurs. Cet article présente des études de cas représentatives pour comprendre les avantages de la constellation actuelle pour le NRTK de haute précision.

En plus des solutions multi-GNSS, les performances du RTK ont été présentées en mode Galileo seul. Les principaux résultats issus de ces études de cas peuvent être résumés ainsi :

- Dans le cas d'observations *open-sky* et avec un angle de coupure de 10°, une moyenne de trois satellites Galileo peut être utilisée pour le NRTK multi-GNSS de haute précision. Cela conduit à des améliorations centimétriques de la répétabilité de la position et avec une longue ligne de base de 116 km.
- Dans le cas d'observations avec multitrajets, l'ajout de deux ou trois satellites Galileo permet une amélioration significative de la précision du positionnement passant du décimètre à quelques centimètres, et avec une amélioration plus significative de la composante de hauteur. De plus, l'utilisation de Galileo augmente la fiabilité 3D des positions NRTK fixe de 7.3 % et réduit le temps médian de fixation de 2s (25 %).
- Dans le cas d'observations sous canopée, l'introduction de Galileo améliore la disponibilité du NRTK fixe de 12.2 %. De plus, le nombre d'erreurs de positionnement d'ordre décimétrique est nettement plus faible.
- En comparaison du RTK GPS seul, le RTK Galileo seul fournit une précision

de positionnement similaire avec une ligne de base de 1 m, des observations open-sky et en utilisant presque moitié moins de satellites. L'erreur RMS 3D du RTK GLONASS seul est approximativement deux fois plus importante que celle du RTK GPS/Galileo seul.

Ces résultats prometteurs obtenus avec l'introduction de Galileo indiquent déjà le rôle important du GNSS européen pour le positionnement NRTK multiconstellation et multifréquence de haute précision. Durant le déploiement du système Galileo, encore plus d'avantages sont à prévoir dans un futur proche. ●

Remerciements

Nous remercions chaleureusement les équipes de Leica Geosystems AG (Heerbrugg/Suisse), Christian Waese et Youssef Tawk pour leur contribution à fournir les différents flux de données RTK.

Equipements utilisés

SmartWorx 6.16 de Leica Viva GNSS est le dernier firmware cité et utilisé dans les tests RTK de haute précision. Leica Spider 7.0.0 a fourni les corrections GNSS temps réel. Les observations *open-sky* ont utilisé deux unités Leica Viva GS10 connectées à une antenne Leica Viva AS10 via un splitter quatre ports. Les observations avec multitra-

jets ont utilisé une antenne GNSS Leica Viva GS16. Les observations sous canopée ont utilisé un récepteur Leica Viva GS10 et une antenne Leica Viva AS10. Le test RTK Galileo seul a utilisé deux récepteurs Leica Viva GS10 et deux antennes *choke-ring* AR25.

Contacts

Xiaoguang LUO - Ingénieur produits GNSS au sein du groupe GNSS Product Management à Leica Geosystems. Il a obtenu sa thèse en géodésie et géoinformatique à l'institut de technologie de Karlsruhe.

Jue CHEN - Ingénieur algorithmes GNSS du groupe GNSS Research and Development à Leica Geosystems. Elle a obtenu son Master en géomatique à l'université de Stuttgart.

Bernhard RICHTER - Directeur Business GNSS à Leica Geosystems. Il a obtenu son Master en géodésie à l'université technique de Vienne et son MBA à l'université de Gloucestershire.

François FUND - Responsable infrastructure et support technique du réseau et des services Orphéon à Geodata Diffusion. Il a obtenu sa thèse en géodésie à l'université de Nantes.

contact@geodata-diffusion.fr

ABSTRACT

Since last September 7th 2017, all reference stations, infrastructure and software that process Orpheon corrections operated by Geodata Diffusion provide "Full GNSS" products (GPS + GLONASS + Galileo + BeiDou).

To benefit of Orpheon network modernization, it is important to understand advantages of Galileo and BeiDou signals for NRTK (Near Real Time Kinematic) positioning. Through representative case studies, considering baseline length, multipath impact and tree canopy, the results confirm usability of the current Galileo constellation in high-precision NRTK applications and show improved availability, accuracy, reliability and time-to-fix in difficult measuring environments. During the deployment of the Galileo system, more benefits can be expected in the near future.