



NOTE TECHNIQUE DE VALIDATION

Représentativité et Reproductibilité des techniques de rejeux

TITRE

METROLOGIE GNSS

Validation de la Représentativité et Reproductibilité de la technique de rejeu des signaux GNSS, dénommée « Record & Replay »

MOTS-CLES

GNSS, Testing, Record, Replay, Playback, EN16803

RESUME

La navigation autonome exploite de plus en plus les technologies de géolocalisation par satellite. L'efficacité économique et les exigences techniques sont des challenges pour toute la filière industrielle. La validation de la fonction de géolocalisation dans un environnement terrestre riche et complexe s'accompagne inévitablement d'une augmentation des coûts du test pour couvrir un nombre suffisant de situations opérationnelles. A dessein, de nouvelles techniques de métrologie sont mises en avant. Elles exploitent la numérisation des signaux GNSS pour proposer des méthodes fiables et répétables.

INTRODUCTION

Le développement d'applications basées sur des fonctions avancées de géolocalisation nécessite de nombreux tests pour leur mise au point, leur validation et demain leur maintenance.

Cependant, les performances en conditions opérationnelles sont difficiles à caractériser. Les tests sur site sont complexes, longs à planifier, onéreux et aboutissent à des résultats fluctuants d'une campagne à une autre. Les simulations¹ utilisant des générateurs de constellations² offrent une alternative plébiscitée dans le domaine de l'aviation. En revanche, la représentativité de la propagation des signaux dans les environnements terrestres s'avère beaucoup plus difficile, en particulier pour simuler la multitude de masquages, d'atténuations, de diffractions et de réflexions subis par les signaux satellitaires.

Pressenti depuis plusieurs années, le rejeu de signaux GNSS³ réels, préalablement numérisés sur le terrain, ouvre une 3^{ème} voie explorée dans cet article. Commandée par le CNES, le laboratoire d'essais GUIDE a mené une étude scientifique destinée à démontrer la capacité de cette technique à reproduire autant de fois que désiré des données réelles issues d'environnements physique complexes. En l'occurrence, il s'agit de déterminer les capacités métrologiques de répétabilité et de reproductibilité des méthodes d'essais..

¹ Simulation Reproduction artificielle aussi réaliste que possible

² Générateurs de constellations – Instruments simulant la réception des signaux satellitaires reçus en un lieu et à une date.

³ GNSS Global Navigation Satellite System incluant l'ensemble des constellations de satellites (GPS, GALILEO, GLONASS, BEIDOU, QZSS)

MOYENS MISE EN ŒUVRE.

Contexte

Les signaux GNSS utilisés pour les applications routières, ferroviaires, agricoles ou fluviales sont altérés par une multitude de situations à appréhender. Ces ondes satellitaires peuvent ainsi être masquées par des ponts, réfléchies sur des bâtiments, subir des diffractions⁴ et des atténuations⁵ en traversant la canopée des arbres. Les environnements complexes agrègent simultanément une multitude de contraintes. En plus, avant de considérer les brouillages, c'est-à-dire des attaques prenant la forme d'interférences volontaires, les milieux urbains comptent déjà d'abondantes sources d'interférences industrielles ou domestiques.

Les technologies différentielles, basées sur la réception en temps réel par le récepteur de messages de correction (EGNOS⁶, NRTK⁷, PPP⁸, ...) et/ou les fusions avec des mesures de capteurs additionnels (inertie, odométrie, ...), sont conçues pour améliorer les performances des terminaux GNSS. Néanmoins, la mise au point de ces algorithmes est une tâche difficile. La diversité des situations et des dynamiques étudiées révèle parfois des taux d'erreur plus importants si les hybridations⁹ sont mal calibrées.

La vérification des performances d'une fonction de localisation utilisant un récepteur GNSS suppose une ingénierie de tests maîtrisée reposant sur des méthodes d'évaluation précises et fiables.

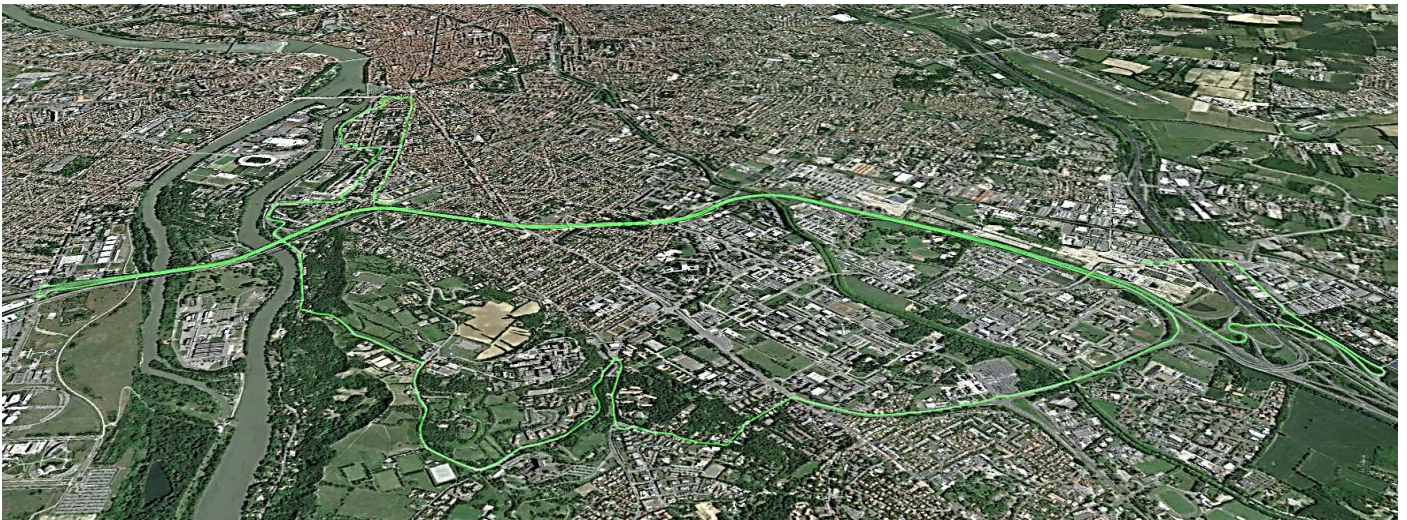


Figure 1 - 4 types de zones d'essais - Périurbain / Autoroutier / Urbain / Canyon Urbain

Environnements

Dans le cadre de cette étude, les zones d'essais retenues couvrent une large variété de situations :

- Succession de ponts
- Quartier bordé d'immeubles
- Longue rue étroite orientée Nord-Sud
- Boulevards arborés

Le véhicule d'essais s'est astreint à respecter les règles de la circulation avec notamment une vitesse moyenne de 35km/h en ville et de 80km/h sur la voie rapide (Périphérique Toulousain).

⁴ Diffraction Phénomène de diffusion d'une onde sur l'angle d'un obstacle ou d'une ouverture.

⁵ Atténuations Dissipation d'énergie des ondes émises par les satellites

⁶ EGNOS European Geostationary Navigation Overlay Service

⁷ NRTK Network Real Time Kinematic

⁸ PPP Precise Point Positioning

⁹ Hybridations Fonction consistant à combiner des mesures provenant de capteurs différents mais avec des sorties concourant à estimer une même grandeur physique

Véhicules & Instruments

Le véhicule d'essais embarque une instrumentation de précision pour déterminer la vérité terrain (trajectoire de référence) et pour numériser les signaux GNSS avec la plus haute-fidélité. Les récepteurs à bord du véhicule partagent tous la même antenne avec le numériseur, à l'exception de celui dédié à la trajectoire de référence.

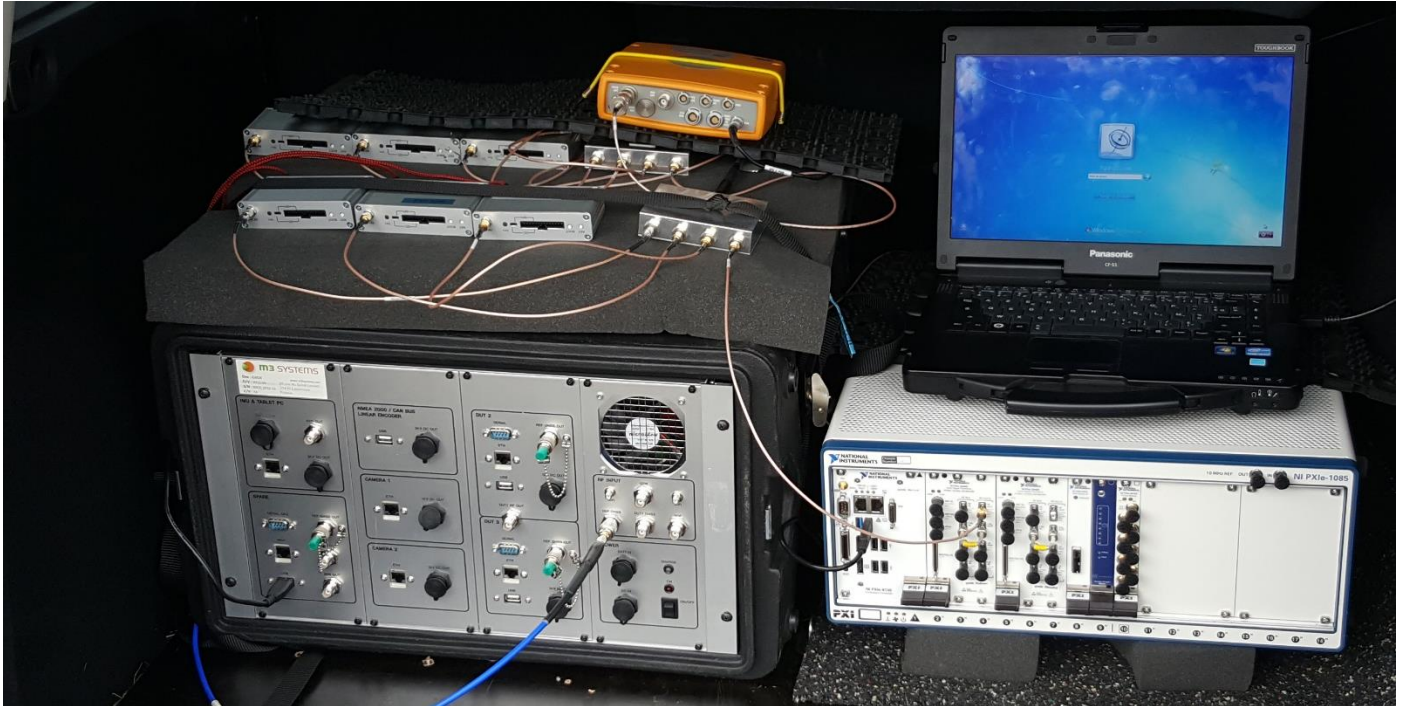


Figure 2 - Photo de l'installation de l'instrumentation

L'instrumentation de référence se compose d'un récepteur GNSS professionnel (ASTERXU), d'une centrale inertielle de navigation de haute précision et d'un odomètre. La trajectoire de référence est consolidée en post-traitement avec les mesures d'une station fixe de réception GNSS (PPK¹⁰).

Le numériseur est un châssis PXI de NI¹¹ équipé avec d'un VST-5646R, cadencé avec une carte horloge OCXO¹² et couvrant la bande GNSS dite haute, aussi appelée L-band L1/E1/G1 (1559MHz-1610MHz), avec une quantification¹³ de 16 bits. Le gain en entrée des enregistrements est autocontrôlé par la fonction AGC du module VST. Le paramétrage et la sauvegarde sont assurés par le logiciel STELLA développé et commercialisé par la Société M3 SYSTEMS .

¹⁰ PPK Post-Processing Kinematic

¹¹ NI National Instrument

¹² OCXO Oven Controlled X-tal(Crystal) Oscillator

¹³ Quantification - procédé permettant de reproduire un signal continu par les valeurs numériques plus ou moins fines.

Les six récepteurs de tests sont des uBlox M8T utilisant le paramétrage par défaut du constructeur. Ces récepteurs ont été répartis en deux groupes partageant chacun la même antenne au moyen d'un splitter 4 voies, la 4^{ème} voie étant réservée au numériseur.

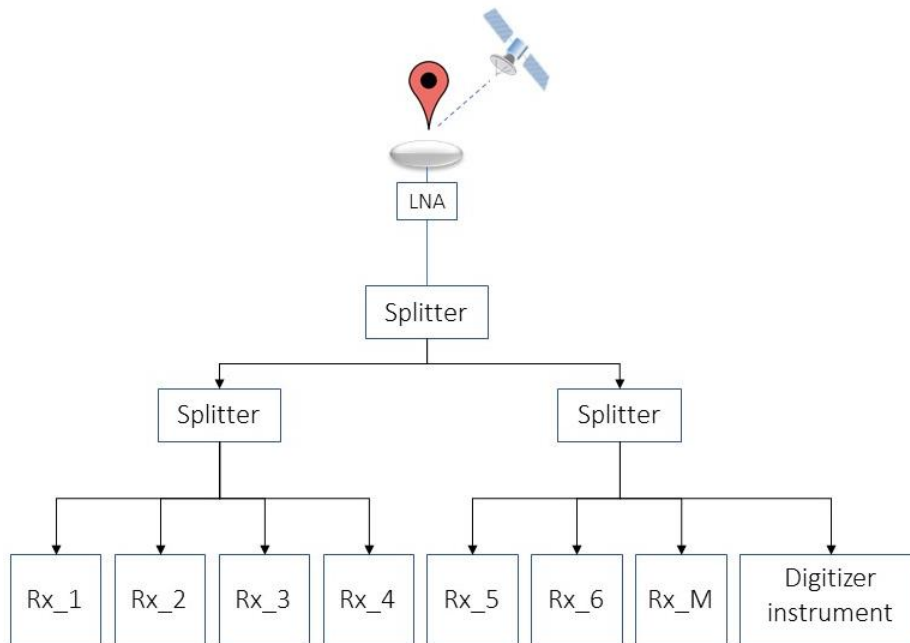


Figure 3 – Schéma de l'installation pour la numérisation des signaux GNSS et l'enregistrement des mesures de position

Mise en œuvre

Des essais d'une heure ont été conduits au cours du printemps et de l'été 2018. Dans les deux cas, le feuillage des arbres était déjà déployé afin d'avoir des conditions de perturbation des signaux comparables.

En plus du conducteur, un ingénieur d'essais GNSS était à bord du véhicule pour contrôler les conditions d'ambiance et le bon fonctionnement de l'instrumentation.

Le parcours a été filmé de bout en bout pour prendre en compte, lors de l'analyse, les éléments extérieurs susceptibles d'impacter les performances des récepteurs.

Banc d'essais

Sur le plateau technique dans les locaux du laboratoire GUIDE, les signaux GNSS numérisés au cours des collectes ont été rejoués en réutilisant la même instrumentation, c'est-à-dire le VST¹⁴ de NI et la suite logicielle STELLA.

Les mêmes récepteurs utilisés lors des collectes sont installés sur le banc d'essais avec la même répartition et la même configuration. Les VST sont ainsi raccordés en lieu et place des antennes.

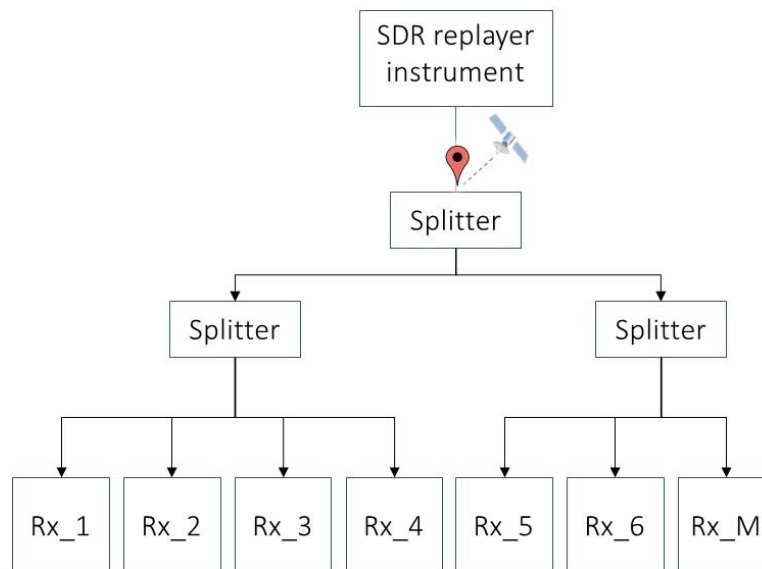


Figure 4 – Schéma d'installation pour le rejeu des signaux numérisés vers le lot de récepteurs utilisés pour les enregistrements sur site

A l'issue des sessions de rejeu, GUIDE disposait de deux séries des mêmes mesures de position (PVT¹⁵), la première série ayant été relevée sur site et la seconde sur le banc d'essai.

L'analyse a ensuite consisté à comparer les résultats de ces deux collectes afin de déterminer le niveau de Représentativité des signaux rejoués par rapport aux originaux (collecte dans le monde réel). L'opération a été renouvelée en utilisant d'autres sessions de rejeu afin de déterminer le niveau de Reproductibilité des résultats d'une session à une autre.

Rejeu NRTK

Les signaux GNSS numérisés ont également été réutilisés avec des messages NRTK pour augmenter la précision. En collaboration avec EXAGONE, opérateur du réseau TERIA, un récepteur AsteRx-U a été interconnecté avec leur serveur délivrant des messages de corrections contextuelles. Ceux-ci, calculés en concomitance aux campagnes de numérisation, ont été maintenus dans leur base de données pour être rediffusés sur demande. Ainsi, lors des sessions de rejeu, le récepteur adresse des requêtes et reçoit en retour les messages de corrections des stations virtuelles locales tels qu'ils avaient été effectivement émis aux dates des collectes.

¹⁴ VST Vector Signal Transceiver

¹⁵ PVT Position, Vitesse, Temps

RESULTATS

Les différences dans le domaine temporel sont négligeables entre les mesures enregistrées et les signaux restitués sur le banc d'essai. Les courbes modélisant la dynamique des signaux (C/N_0^{16}) sont parfaitement superposables. Les sessions de rejeux supplémentaires viendront confirmer la très bonne représentativité des signaux GNSS et l'excellente reproductibilité instrumentale des essais sur bancs.

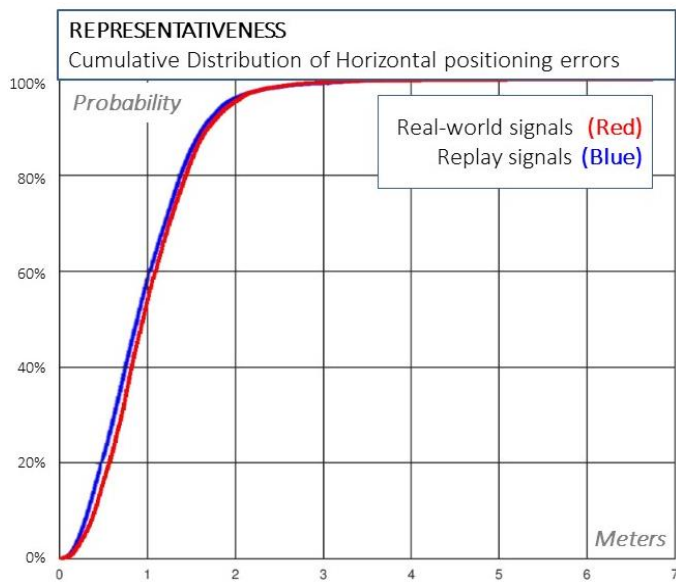


Figure 5- Ce diagramme évalue la Représentativité de la technique du jeu en la comparant à celle mise en œuvre sur site au moyen d'une campagne de collecte à bord d'un véhicule.

Un lot de 6 récepteurs uBlox M8T est utilisé pour calculer la position du véhicule avec les signaux GNSS originaux, dans un premier temps. Puis dans un second, le même lot de récepteur est soumis au même signaux GNSS numérisés lors de la campagne et synthétisée sur un banc d'essais.

La projection des 2 courbes, consolidant la distribution statistique respective des 2 techniques d'essai, montre une très grande proximité des résultats.

NB. : La fonction de répartition (CDF¹⁷) affiche la probabilité cumulée des écarts de position entre les mesures GNSS d'un récepteur et la vérité terrain. La courbe résultante permet ainsi de reporter le pourcentage des occurrences sur un intervalle d'erreur donné.

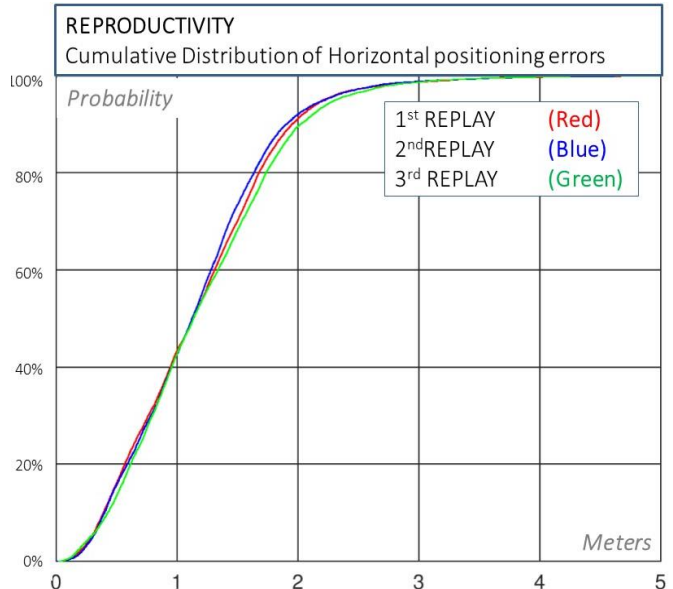


Figure 6 - Ce diagramme évalue la Reproductibilité de la technique du rejeu en comparant 3 sessions successives de rejeux sur un même lot de 6 récepteurs uBlox M8T soumis aux mêmes signaux préalablement numérisés sur site. Comme pour le précédent diagramme, les erreurs des 6 récepteurs sont consolidées et échantillonnées.

La projection des 3 courbes montre une parfaite reproductibilité sur 60% des résultats. Au-delà, les écarts sont dus aux dispersions des mesures des récepteurs dans les zones contraintes.

Les campagnes de collecte pour numériser les signaux exigent des moyens techniques plutôt sophistiqués et des méthodes plus rigoureuses. Les sessions de rejeux sont, quant à elles, beaucoup plus accessibles et nécessitent la mise en œuvre de moyens moins complexes. Le niveau de la représentativité dépend de la technologie de numérisation, de la chaîne de réception (antenne, LNA¹⁸, câbles, splitter¹⁹), des options instrumentales (AGC²⁰, OCXO) et des paramétrages retenus (largeur de bande, quantification). Ainsi, la qualité de cette technique est déterminée au cours des opérations amonts de collectes.

¹⁶ C/N0 Rapport entre la puissance de la porteuse « C » et la densité de puissance du bruit « N0 »

¹⁷ CDF Cumulative Distribution Function

¹⁸ LNA Low Noise Amplifier

¹⁹ Splitter Coupleur / séparateur de signaux RF en conduit

²⁰ AGC Automatic Gain Control



DISCUSSION

La représentativité et la reproductivité des signaux GNSS ouvrent de nouvelles perspectives pour développer, évaluer et valider les dispositifs de géolocalisation. En particulier, les résultats opérationnels peuvent être comparés d'un terminal GNSS à l'autre, et pour un même équipement d'un paramétrage à un autre.

Nous avons également pu constater que les signaux GNSS reconstitués sont comparables d'un « SDR²¹ Replayer » à un autre. En effet, les mesures de positions des récepteurs obtenues sur deux équipements de rejeu distincts sont semblables. La technique est agnostique, peu onéreuse, simple et rapide à mettre en œuvre dans la mesure où les signaux numérisés et les métadonnées associées sont rendus disponibles. Dans cet optique, un travail de normalisation des formats de fichiers est déjà en cours.

Cette technique de tests s'adresse en premier lieu aux entreprises intervenant au sein de la chaîne de la valeur. Les choix industriels s'appuieront sur des critères plus précis et surtout plus en affinité avec la destination finale des produits. Les équipes de R&D ajusteront les performances de leurs prototypes en travaillant davantage sur les options de paramétrage.

CONCLUSIONS

Au travers de cette étude, les techniques de rejeu révèlent de nombreux avantages. La norme EN16803²² élaborée au sein du CEN/CENELEC²³ les reprend à son compte pour valider les performances des terminaux GNSS dédiés aux domaines routiers. Cette technique est vouée à de multiples utilisations et évolutions.

²¹ SDR Software-Defined Radio

²² EN16803 Procédures d'essais pour évaluer les terminaux de la localisation basée sur les GNSS pour les systèmes de transport routiers intelligents

²³ CEN/CENELEC European Standardization Organizations

**Contexte :**

Fin 2015, GUIDE lançait ses premiers essais avec un nouveau numériseur piloté par un logiciel développé par M3 SYSTEMS. Cette instrumentation est capable de digitaliser les signaux GNSS avec une très haute définition et de les restituer sur un banc d'essai avec une excellente représentativité et reproductibilité.

La qualité des résultats ouvre, alors pour le laboratoire, de nouvelles perspectives pour évaluer et valider les systèmes de géolocalisation par satellite.

Aujourd'hui, la performance des récepteurs GNSS contribue directement à la navigabilité des véhicules autonomes. Les enjeux attenants aux industries du transport nécessitent des études plus avancées pour valider ces méthodes de métrologie destinées à qualifier les systèmes de positionnement embarqués.

Dans ce contexte, le CNES a confié au laboratoire d'essais GUIDE des travaux de caractérisation de cette technique de rejeu pour explorer les meilleurs usages, notamment ceux à destination de la métrologie légale.

A propos de GUIDE GNSS :

Issu du partenariat des principaux acteurs de l'industrie Spatiale Française, GUIDE vise à fournir aux développeurs de solutions l'instrumentation, les compétences et les approbations nécessaires pour aborder les marchés les plus exigeants de la radionavigation par satellite.

Sa contribution est particulièrement attendue pour la certification des solutions de géolocalisation.

GUIDE est doté de moyens spécifiques pour tester les solutions GNSS (Composants, Algorithmes, Récepteurs, Systèmes) les plus pointus, que ce soit en laboratoire par la simulation ou sur sites réels, en milieu Urbain, Routier, Maritime, sur Circuit, sur Rails et dans les Airs.

En 2019, GUIDE propose de localiser chez ses clients des moyens d'essais de nouvelle génération basée sur les techniques de rejeu. Elles sont beaucoup plus compétitives, tout particulièrement pour tester les terminaux GNSS en milieu urbain.

www.guide-gnss.com - communication@guide-gnss.com

Contact:

Xavier LEBLAN – Directeur de **GUIDE GNSS**: Tél. : +33 5 62 80 82 58 / +33 6 87 60 70 91 – contact@guide-gnss.com