

# GNSS bas coût pour le positionnement

■ Stéphane DURAND - Abdeljalil NAHLI - Laurent MOREL

*Le 16 octobre 2020, le groupe de travail GNSS<sup>1</sup> et Positionnement<sup>2</sup> (G&P) de la commission Geopos du CNIG<sup>3</sup> a organisé un après-midi de conférences sur la thématique du positionnement avec des récepteurs GNSS bas coût. Le présent article est une version rédigée et adaptée de la présentation proposée par les auteurs lors de cet après-midi. Il se focalise sur l'utilisation de capteurs GNSS bas coût pour le positionnement temps réel ou temps différé et l'usage en topographie, en particulier pour le levé, l'implantation, mais surtout le suivi d'ouvrages et de sites naturels. Après un tour d'horizon des solutions matérielles existantes, l'article se focalise sur les travaux actuellement menés dans ce domaine au sein du Laboratoire géomatique et foncier (GeF), laboratoire de recherche du Cnam<sup>4</sup> hébergé au sein de l'École supérieure des géomètres et topographes.*

Aujourd'hui, les récepteurs GNSS bas coût sont partout : dans les centrales inertielles, les appareils photo, les montres, les smartphones et même dans les colliers pour animaux domestiques. La série de conférences proposée le 16 octobre dernier par le groupe de travail G&P a permis d'aborder une partie des applications possibles. Le lecteur intéressé pourra trouver les différents supports informatiques des présentations sur le site du groupe de travail à l'adresse : [http://cnig.gouv.fr/?page\\_id=12592](http://cnig.gouv.fr/?page_id=12592).

Nous nous intéressons dans cet article plus spécifiquement aux capteurs GNSS bas coût permettant un positionnement précis en utilisant la mesure de phase sur la porteuse GNSS. Les applications envisagées avec ce type de capteur sont le levé en temps réel ou différé et l'implantation topographique, mais également le suivi de déformation et l'auscultation d'ouvrages ou de sites naturels.

Plutôt que d'utiliser le terme de capteur bas coût, il conviendrait plus de parler de capteurs destinés au marché de masse. En effet, la philosophie des fabricants est de mettre à disposition des utilisateurs des capteurs à bas coût, ayant pour vocation à être utilisés pour de nombreux usages, générant

ainsi des volumes de vente croissants avec le développement des applications possibles.

## Tour d'horizon des solutions GNSS bas coût pour le positionnement précis

### ■ Module GNSS

Le cœur d'un capteur GNSS bas coût est constitué par son module (ou puce) GNSS. Il s'agit d'un véritable récepteur GNSS intégré sur une puce, puisque le module GNSS réalise à lui seul l'acquisition des mesures et le calcul de position suivant différents modes de positionnement (SPS<sup>5</sup>, RTK, NRTK). Pour plus de détails sur les différentes techniques de positionnement par GNSS, le lecteur intéressé pourra se référer au numéro spécial de la revue XYZ d'avril 2014<sup>6</sup>. En général, l'interaction avec le module GNSS se fait par le biais de ports de communication qui permettent sa configuration, l'extraction ou l'intégration de données (flux de correction temps réel entrant ou sortant, sortie de trames NMEA ou de signal PPS...).

Les premiers modules GNSS donnant accès aux mesures brutes sur la phase GNSS datent du milieu des années 2000. Plusieurs fabricants proposent ainsi depuis plus de quinze ans des modules GNSS monofréquence, mono ou multiconstellation, adaptés au positionnement précis. Une petite révolution a eu lieu à partir de 2018 avec la disponibilité de nouveaux modules multifréquence et multiconstellation,

ouvrant potentiellement la voie à une amélioration des performances en termes de précision et de temps de convergence du positionnement.

Parmi les différents fabricants proposant des modules GNSS bas coût, nous pouvons citer par exemple les sociétés u-blox ([www.u-blox.com](http://www.u-blox.com)), NVS ([www.nvs-gnss.com](http://www.nvs-gnss.com)), Swiftnav ([www.swiftnav.com](http://www.swiftnav.com)) ou SkyTraQ ([www.skytraq.com.tw](http://www.skytraq.com.tw)) présentes sur le marché depuis plusieurs années.

En fonction de ses caractéristiques, le module GNSS peut coûter entre quelques euros et quelques centaines d'euros. Le module NEO-M8N du constructeur u-blox par exemple, illustré par la figure 1 (à gauche), monofréquence, multiconstellation et autorisant un positionnement centimétrique différentiel temps réel ou l'extraction de données brutes code et phase est annoncé sur le site du fabricant à moins de 20 euros (<https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8-series>). Autre exemple, le module PX1122R, multifréquence, multiconstellation du fabricant SkyTraQ, autorisant un positionnement centimétrique temps réel, peut s'obtenir pour une centaine d'euros environ<sup>7</sup>.

Pour tirer parti des capacités du module GNSS, il convient de l'alimenter, de connecter une antenne GNSS et de relier ses ports de communication, suivant l'usage auquel il est destiné,

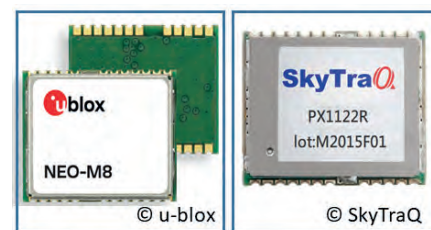


Figure 1. Module GNSS u-blox NEO-M8N (©u-blox) à gauche et module SkyTraQ PX1122R (©SkyTraQ) à droite.

5 GPS Standard Positioning Service.

6 Revue XYZ, Hors-série GNSS, Méthodes GNSS pour la topographie, avril 2014.

7 <http://navspark.mybigcommerce.com/px1122r-multi-band-quad-gnss-rtk-module/> (consulté en avril 2021).

1 Global Navigation Satellite System (Système global de navigation par satellite).

2 [http://cnig.gouv.fr/?page\\_id=12592](http://cnig.gouv.fr/?page_id=12592)

3 Conseil national de l'information géographique.

4 Conservatoire national des arts et métiers.



à des périphériques de communication (modem, GSM...) de stockage de données et/ou de dialogue avec l'utilisateur (interface homme/machine).

### ■ Carte GNSS

Un premier niveau d'intégration d'un module GNSS permettant son exploitation est de l'intégrer dans une carte électronique GNSS, adaptée au besoin de l'utilisateur et facilitant l'interaction avec celui-ci.

Chaque fabricant de modules GNSS propose ses propres cartes de développement et d'évaluation, qui facilitent la connexion de l'alimentation électrique, de l'antenne GNSS (souvent par le biais d'un connecteur au format SMA<sup>9</sup>) et l'accès aux ports de communication (port USB<sup>9</sup> ou Sub-D 9 broches<sup>10</sup>).

Il est également possible, en partant de la documentation technique des modules GNSS, de développer soi-même sa carte GNSS, adaptée à son besoin particulier. Depuis quelques années, différentes sociétés comme ArduSimple ([www.ardusimple.com](http://www.ardusimple.com)), Drotek ([electronics.drotek.com](http://electronics.drotek.com)), Emlid ([emlid.com](http://emlid.com)) ou NavSpark (<http://www.navspark.com.tw/>) se sont également spécialisées dans le développement et la vente de cartes intégrant différents modules GNSS.

Certaines cartes sont également déjà équipées d'un modem radio, relié à l'un des ports de communication du module GNSS. C'est par exemple le cas de la carte de développement u-blox C94-M8P, illustrée sur la *figure 2* (en haut à gauche). Elle est équipée d'un module GNSS u-blox M8P et comporte pour sa version européenne un modem radio 433 MHz, pour un prix autour de 350 euros.

À titre d'illustration, la *figure 2* présente également d'autres exemples de cartes GNSS. En haut à droite, la carte de développement commercialisée par la société SwiftNav, équipée du module multiconstellation multifréquence Piksi Multi, que l'on peut trouver à la vente sur leur site<sup>11</sup> sous forme de kit comprenant deux cartes, deux antennes et différents accessoires, pour environ 2 000 euros. En bas à gauche, la carte GNSS 5 Click de chez MikroElektronika (<https://www.mikroe.com/>) équipée du



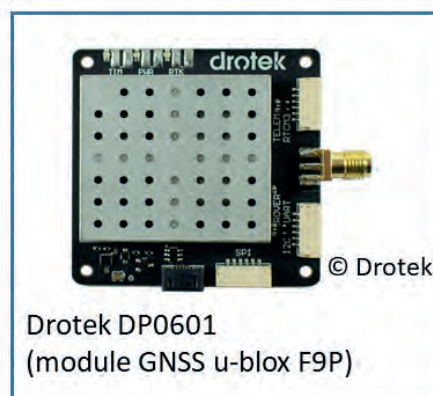
Carte u-blox C94-M8P  
(module u-blox M8P)



SwiftNav Piksi Multi GNSS



MikroElektronika GNSS 5 Click  
(module u-blox M8P)



Drotek DP0601  
(module GNSS u-blox F9P)

Figure 2. Quelques exemples de cartes GNSS intégrant des modules GNSS.

module GNSS u-blox M8P, commercialisée à moins de 40 euros sur leur site. En bas à droite pour finir, la carte DP0601 de chez Drotek, équipée d'un module u-blox F9P, commercialisée à moins de 200 euros sur leur site.

### ■ Récepteur GNSS bas coût

Les cartes GNSS facilitent l'évaluation et le développement de prototypes exploitant les capacités des modules GNSS bas coût. Elles permettent également, par intégration de plusieurs composants, de développer des récepteurs GNSS à bas coût, pour le positionnement précis en temps différé, mais également en temps réel.

Ces récepteurs GNSS bas coût constituent un second niveau d'intégration des modules GNSS bas coût, avec pour objectif une simplification de leur mise en œuvre pour l'utilisateur : boîtier et connecteurs étanches, interface de configuration plus ou moins

avancée, intégration optimisée de différents équipements (modem, mémoire, alimentation...), voire intégration de l'antenne GNSS au récepteur.

Vers le milieu des années 2000 sont apparus les premiers modules GNSS autorisant le post-traitement de la mesure de phase. Ils ont rapidement permis le développement de systèmes de positionnement à bas coût destinés en particulier à la surveillance de mouvements de terrain. Le principe de ces systèmes consiste dans le déploiement sur le terrain d'un réseau de capteurs GNSS, dont les positions sont calculées périodiquement par post-traitement de la mesure de phase. Chaque capteur est constitué d'un module GNSS, d'un système de stockage des mesures GNSS brutes et d'un modem radio basse consommation (pour l'envoi périodique des mesures à un serveur), le tout intégré dans une carte GNSS développée spécifiquement dans ce but et alimentée par batterie et panneau solaire.

La société Myotis, spécialisée dans la surveillance de sites et d'ouvrages, a ainsi développé dès 2010 son propre système, basé sur le module monofréquence u-blox LEA-5T, avec

8 SubMiniature version A.

9 Universal Serial Bus.

10 D-subminiature à 9 broches (port série 9 broches).

11 <https://www.swiftnav.com/store?category=Piksi+Multi+Evaluation+Kit>





Figure 3. Quelques exemples de récepteurs GNSS bas coût à vocation topographique.

un post-traitement initialement avec le logiciel scientifique Gamit [Benoit, 2010].

La solution GEOMON a été développée à partir de 2010 par le laboratoire de topométrie de la HEIG-VD<sup>12</sup> sur la base d'un module GNSS u-blox LEA-6T et avec un post-traitement avec le logiciel RTKLib [Cattin et al, 2011]. Elle est aujourd'hui équipée d'un module GNSS monofréquence de marque NVS et commercialisée par la société InfraSurvey (<http://www.infrasurvey.ch>).

L'IGN développe également depuis 2006 son propre système GNSS bas coût, le Géocube<sup>13</sup>. Initialement basé sur le module GNSS u-blox LEA-4T, puis LEA-6T pour les premières séries [Benoit, 2014], les dernières versions du Géocube sont aujourd'hui équipées de modules GNSS u-blox M8P (monofréquence) ou F9P (multifréquence) et sont multicapteurs [Martin, 2020] : sismomètre, anémomètre, capteur de gaz..., pour un prix unitaire inférieur à 1 000 euros.

Citons également le récepteur Duro de la société Swift navigation qui intègre leur module GNSS Piksi Multi dans un récepteur durci et prêt à l'emploi. Le kit de démarrage, incluant un récepteur Duro, une antenne GNSS de type topographique et différents accessoires est commercialisé autour de 2 500 euros ([www.swiftnav.com](http://www.swiftnav.com)).

Depuis quelques années apparaissent également sur le marché différents récepteurs avec antenne GNSS intégrée, à destination des topographes : pas de vis 5/8", antenne centrée par rapport à ce pas de vis, batterie interne, modem radio et/ou GSM, connectique accessible et standardisée.

<sup>12</sup> Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud, Suisse.

<sup>13</sup> Histoire du Géocube : <https://geocubx.com/65-2/>

On trouve aujourd'hui deux catégories de matériel à vocation topographique : ceux destinés à faciliter l'intégration d'un capteur bas coût dans une chaîne de mesure topographique, et ceux proposant une réelle alternative bas coût aux opérations de levé (temps réel/différé) et d'implantation par GNSS. La différence fondamentale entre ces deux catégories est la mise à disposition d'un logiciel spécifique permettant de configurer et d'exploiter le récepteur sur le terrain.

Le récepteur Sirius, équipé d'un module GNSS u-blox F9P, illustré sur la figure 3 (à gauche), correspond à la première catégorie et est proposé par la société Drotek pour environ 400 euros. Il se configure au bureau à l'aide du logiciel de configuration u-center propre aux modules GNSS de la marque u-blox. Une fois configuré, il peut être installé sur des équipements topographiques classiques (embase, canne) et démarré pour servir de base RTK.

La seconde catégorie de récepteurs topographiques est illustrée par les deux récepteurs de chez Emlid sur la figure 3 : au milieu, le Reach RS+, utilisant le module GNSS u-blox M8P, monofréquence (autour de 750 euros) et à droite le Reach RS2, équipé du module u-blox F9P, multifréquence (autour de 1 700 euros). Couplés à un smartphone embarquant le logiciel ReachView développé spécifiquement

par Emlid, ces deux récepteurs sont utilisables sur le terrain pour les opérations topographiques courantes.

### ■ Antenne GNSS à bas coût

Si le module GNSS est le cœur d'un récepteur GNSS bas coût, il ne faut surtout pas oublier l'antenne GNSS, dont le rôle est de capter les signaux provenant des satellites et de les transmettre pour traitement au récepteur.

Il est bien entendu tout à fait possible de connecter une antenne géodésique, dont le prix oscille entre 1 000 et 3 000 euros, à un récepteur GNSS bas coût. Mais il serait plus intéressant d'utiliser une antenne bas coût avec un récepteur bas coût pour disposer d'un instrument complet bas coût.

Comme illustré par la figure 4, on peut classer les antennes bas coût suivant trois catégories. D'abord, les antennes compactes, telles que la u-blox ANN-MB-00-00 (figure 4, à gauche). Ces antennes ont l'avantage d'être de dimensions réduites, mais ne disposent pas d'un système de centrage tel que classiquement utilisé en topographie (pas de vis 5/8" ou 1/4", support de prisme standard), même s'il est toujours possible d'en développer un soi-même. Cela n'est néanmoins pas gênant dans de nombreuses situations : installation sur un objet mobile dès lors que la position de l'antenne importe peu, installation en continu pour la surveillance de mouvements...

La seconde catégorie d'antennes bas coût est celle des antennes disposant directement d'un système de centrage topographique classique, telles que l'antenne Garmin GA38 illustrée en figure 4 (au milieu). Ce type d'antenne peut facilement être utilisé pour remplacer une antenne géodésique classique



Figure 4. Quelques exemples d'antennes GNSS bas coût : compacte (à gauche), topographique (milieu) et intégrée (à droite).



pour les activités du topographe. Les antennes intégrées dans les récepteurs forment la dernière catégorie, comme illustré par le récepteur Emlid Reach RS2 de la figure 4 (à droite).

Dans chacune de ces catégories, on peut trouver des antennes bas coût mono ou multifréquence, adaptées à une ou plusieurs constellations de satellites. Suivant leurs caractéristiques, le prix de ces antennes bas coût peut varier entre quelques euros et quelques centaines d'euros, en dépassant rarement les 800 euros. De nombreux travaux s'intéressent d'ailleurs depuis plusieurs années à qualifier les performances de ces antennes (et des récepteurs bas coût) et leur capacité à remplacer des capteurs géodésiques pour différents types d'applications (cf. par exemple [Manzini et al., 2020] et [Hamza et al., 2020]).

Reste aujourd'hui cependant la question essentielle de la disponibilité de paramètres de calibration pour les antennes bas coût. Rappelons que lorsque l'on utilise, en positionnement différentiel sur courte ligne de base (< 10 km), deux antennes du même type et orientées de la même manière, les erreurs liées au décalage et à la variation de la position du centre de phase des antennes sont limitées et souvent même négligeables. Il est en tout autrement dès lors que l'on utilise des antennes de type différent, et une non prise en compte des paramètres de calibration des antennes peut conduire à des écarts sur les coordonnées parfois de plusieurs centimètres. C'est le cas par exemple lors de l'utilisation de stations du RGP pour le rattachement de chantier en post-traitement ou de l'utilisation d'un réseau de stations temps réel pour le levé et l'implantation. Dans ces cas, il est indispensable de disposer de paramètres de calibration (absolue) pour l'antenne.

Au niveau international, le site web <https://geodesy.noaa.gov/ANTCAL/> du *National Geodetic Survey* regroupe les paramètres de calibration absolue pour toutes les antennes ayant été calibrées dans l'un des centres internationaux existants. S'il est aujourd'hui possible de faire déterminer par certains orga-

nismes tels que le NGS les paramètres de calibration d'une antenne géodésique ou topographique en faisant la demande et en mettant à disposition sur une certaine durée le matériel, cela reste plus compliqué pour une antenne bas coût. Le NGS indique par exemple qu'il pourra retourner une antenne sans fournir de calibration si les résultats de la calibration présentent de mauvaises statistiques ou si l'antenne n'est pas jugée de qualité topographique "survey-grade"<sup>14</sup>.

Pour certaines applications, disposer de paramètres de calibration en relatif pour une antenne bas coût pourrait également déjà être une importante source d'amélioration de la qualité du positionnement. Dans leur article, [Biagi et al., 2018] proposent ainsi une méthodologie pour déterminer les paramètres de calibration en relatif d'une antenne, qu'ils ont appliqué à un modèle de la firme u-blox.

Il est également possible depuis 2020 de trouver des antennes à bas coût disposant de paramètres de calibration, comme le modèle AS-ANT2B-CAL-L1L2-15SMA-00 commercialisé par ArduSimple ([www.ardusimple.com](http://www.ardusimple.com)) au prix de 150 euros.

### ■ Quelques initiatives à noter en France

La disponibilité, à faible coût, de cartes et récepteurs est également à l'origine en France de plusieurs initiatives notables.

L'initiative Centipède a pour objectif de constituer un réseau collaboratif de bases RTK ouvertes, accessibles à toute personne se trouvant dans la zone de couverture. Initié par Julien Ancelin en 2018, ce projet est développé et coordonné par la plateforme DISA<sup>15</sup> du laboratoire LIENSs<sup>16</sup>. La particularité de ce réseau est d'être constitué de bases RTK bas coût. Le site internet du projet (<http://centipede.fr>) propose d'ailleurs plusieurs guides complets pour la fabrication et la mise en place pratique de bases et de mobiles RTK.

L'École nationale des sciences géographiques développe et évalue depuis 2016 des couples de récepteurs base/mobile temps réel bas coût, par intégration d'une carte GNSS, d'une

antenne bas coût, d'un micro-ordinateur *Raspberry Pi* et d'un écran tactile. Ces récepteurs proposent une interface utilisateur permettant une utilisation simple et conviviale avec en tâche de fond la librairie RTKLib (cf. [Takasu, 2007]). À la version initiale développée en 2016 par Francklin N'Guyen lors de son stage de Mastère PPMD, qui évolue toujours sur la plateforme GitHub<sup>17</sup>, se sont ajoutées d'autres versions au cours du temps, en faisant évoluer la carte GNSS, le micro-ordinateur et les fonctionnalités logicielles [Chalvet et al., 2017], [Hue et al., 2018] et [Dassin et al., 2019].

## Les travaux de recherches du GeF sur les capteurs GNSS bas coût

Le GeF s'intéresse aux capteurs GNSS à bas coût depuis fin 2016, avec des premiers tests réalisés en collaboration avec l'entreprise Cementys<sup>18</sup>, spécialiste de l'auscultation et de la surveillance d'infrastructures, dans le cadre de travaux d'étudiants. Le travail de fin d'études de Pierre Bienvenu (cf. [Bienvenu, 2017]), poursuivi par la suite lors de projets d'étudiants en dernière année du cycle ingénieur ESGT (cf. [Baumer et al., 2018], [Gauch et al., 2019]) nous a permis d'explorer la capacité de récepteurs monofréquence u-blox M8P munis d'antennes bas coût à observer les modes de vibration d'ouvrages d'art, pour des fréquences inférieures à 10 Hz. Ces études nous ont également permis de mieux maîtriser l'usage des capteurs GNSS bas coût et leurs spécificités pour les exploiter dans d'autres applications.

En 2018, nous avons lancé une thèse sous dispositif Cifre, en collaboration avec l'entreprise Cementys, sur le suivi combiné GNSS/InSAR d'ouvrages d'art et avons fait le choix d'utiliser des capteurs GNSS bas coût ainsi qu'une

<sup>14</sup> <https://geodesy.noaa.gov/ANTCAL/docs/NGSantcalprocedures.pdf> (page 8).

<sup>15</sup> DISA - Données : Intégration, Structuration et Analyse.

<sup>16</sup> Littoral ENvironnement et Sociétés (LIENSs) - UMR 7266 ([lienss.univ-larochelle.fr](http://lienss.univ-larochelle.fr)).

<sup>17</sup> [https://github.com/Francklin2/RTKLIB\\_Touchscreen\\_GUI](https://github.com/Francklin2/RTKLIB_Touchscreen_GUI).

<sup>18</sup> [https://cementys.com](http://cementys.com)



chaîne de traitement libre : RTKLib. En parallèle de ce choix, nous nous sommes interrogés sur la pertinence, en termes de précision, de notre choix d'utiliser des capteurs bas coût et des logiciels de traitement libre en remplacement de capteurs géodésiques et de logiciels professionnels ou scientifiques. Il s'agit d'une part de vérifier que, dans nos conditions de mesures, l'utilisation du logiciel RTKLib est pertinente en remplacement de logiciels professionnels ou scientifiques. Il s'agit d'autre part de vérifier que l'utilisation de récepteurs et antennes bas coût en remplacement d'instruments géodésiques n'a pas un impact trop important sur la qualité des séries temporelles obtenues.

Nous nous intéressons ainsi aujourd'hui au sein du GeF d'une part à l'évaluation des performances des capteurs GNSS bas coût (récepteur et antenne) et d'autre part à leur utilisation pour le positionnement précis et en particulier la surveillance en continu d'ouvrages.

### ■ Prototype de récepteur GNSS bas coût dédié au levé statique post-traité

Nous avons développé au sein du GeF courant 2020 un prototype de récepteur GNSS pour un coût d'environ 400 euros. Illustré sur la figure 5, il permet de réaliser de manière plus rapide et conviviale des levés en mode statique rapide.

Ce récepteur est logé dans un boîtier étanche de dimensions 17x14x7 cm. Il dispose en façade d'un connecteur TNC permettant de connecter une antenne GNSS et d'un connecteur Lemo 5 broches, autorisant son alimentation par le secteur, des batteries externes (type Leica) et même des batteries type powerbank avec un adaptateur.

Le cœur du récepteur est une carte ArduSimple SimpleRTK2B, équipée d'un module GNSS u-blox ZED-F9P, reliée à un mini-ordinateur Raspberry Pi 3 à l'aide d'une carte adaptatrice développée par la société ArduSimple. Le Raspberry Pi tourne sous environnement Linux, installé en lecture seule sur une carte SD, pour plus de stabilité, même en cas de coupure intempestive



Figure 5. Prototype de récepteur GNSS bas coût dédié au levé en mode statique rapide.

de l'alimentation. Le mini-ordinateur héberge un serveur web, permettant l'interaction avec l'utilisateur, ainsi qu'une partie de la librairie RTKLib, pour l'acquisition et le stockage des mesures brutes issues de la carte GNSS. Les données, ainsi que les fichiers de configuration du récepteur, se trouvent sur une clef USB branchée sur le Raspberry Pi.

Pour ce prototype, nous avons développé une interface de gestion et de configuration accessible depuis un smartphone, une tablette ou tout autre ordinateur par liaison Wifi directe sur le Raspberry Pi. Comme illustré sur la figure 6, cette interface de gestion permet de visualiser et configurer les constellations et les signaux GNSS à acquérir et en cours d'acquisition. Elle permet également de définir les caractéristiques de la session de mesure (durée, cadence), d'attribuer un nom au point levé, de démarrer ou stopper les mesures et de visualiser et télécharger

les fichiers de données.

### Évaluation des performances des capteurs GNSS bas coût

Le projet de fin d'études de Rania Zmarrou, réalisé en 2020 dans le cadre d'un partenariat avec l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II et le concours de Mourad Bouziani (professeur de géodésie et responsable de la filière sciences géomatiques et ingénierie topographique), et plus récemment un projet d'étudiants en dernière année du cycle ingénieur ESGT (cf. [Allart et al., 2021]) nous ont permis d'avancer sur la question de la pertinence du remplacement des récepteurs et antennes géodésiques par des équipements à bas coût dans le cadre du suivi régulier d'ouvrages ou de sites naturels (traitement statique post-traité avec lignes de base relativement courtes et sessions de 30 minutes à quelques heures).

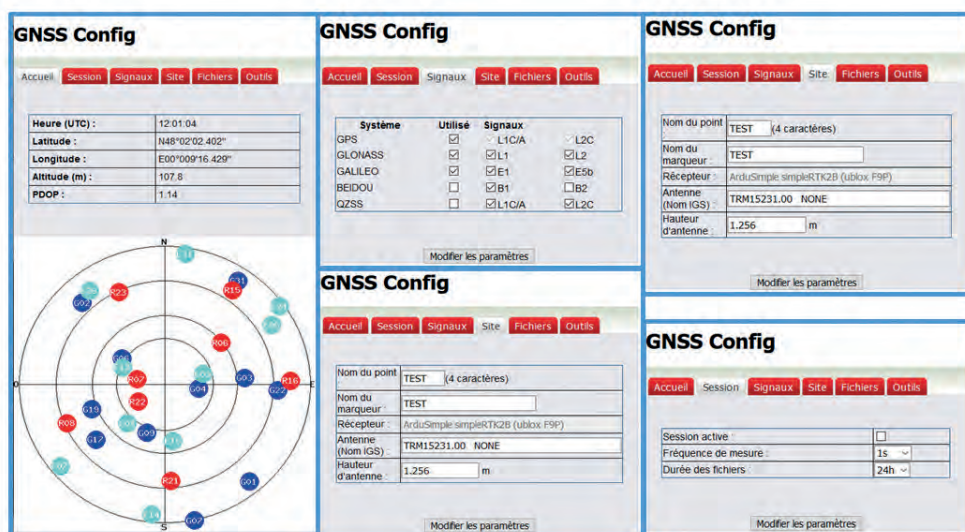
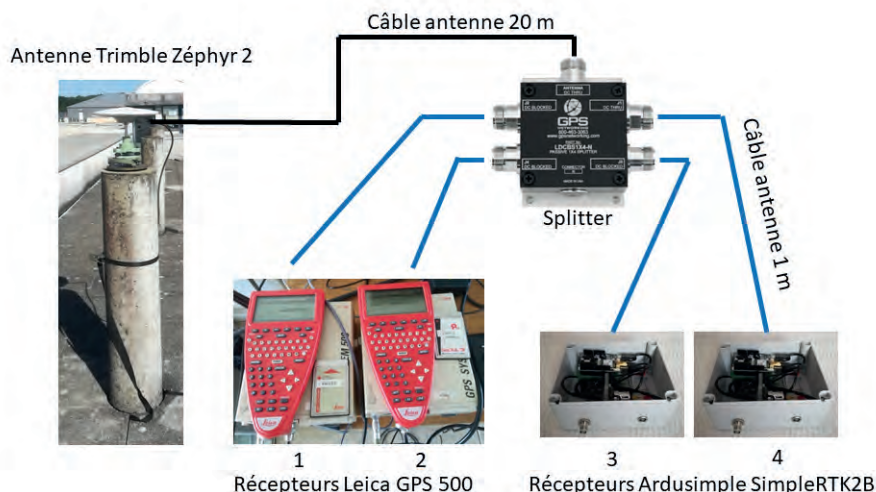


Figure 6. Interface de gestion du prototype de récepteur GNSS bas coût. Configuration et visualisation des constellations et des signaux.



**Figure 7.** Illustration du protocole de test mis en œuvre pour l'évaluation de la qualité des récepteurs et antennes bas coût.



L'objectif étant de comparer les performances des équipements géodésiques avec les équipements à bas coût, nous avons défini une méthodologie de test basée sur l'acquisition simultanée par plusieurs récepteurs GNSS des mesures issues d'une même antenne GNSS en utilisant un *splitter* de signal GNSS. Dans notre protocole de test, nous utilisons un *splitter* quatre sorties de marque gpsnetworking (<https://www.gpsnetworking.com/>), ainsi que quatre câbles d'antenne de marque et longueur identiques, afin d'éviter des pertes différentielles de gain sur les différents récepteurs.

Il est ainsi possible de comparer, pour deux récepteurs sur la même antenne, le niveau de rapport signal à bruit (SNR) en fonction de l'élévation et de l'azimut des satellites, mais également en fonction de la constellation et de la fréquence du signal.

Il est également possible, par un traitement en *zero-baseline* entre deux récepteurs à l'aide du logiciel RTKLib, d'étudier la série temporelle des positions et les résidus sur la mesure de phase.

La *figure 7* illustre le protocole de test mis en œuvre. Une antenne GNSS, ici une antenne Trimble Zephyr 2 (modèle TRM57971) prêtée par le parc GNSS mobile de l'INSU, est reliée à un séparateur (*splitter*) de signal GNSS par un câble d'une longueur d'environ 20 mètres. Quatre récepteurs GNSS sont reliés au *splitter* par des câbles d'antenne de même marque et de même longueur. L'un des récepteurs permet

d'alimenter l'antenne tandis que les trois autres ne font que recevoir le signal provenant de l'antenne. Sur cette expérience, deux récepteurs Leica GPS500 (1 et 2) et deux récepteurs bas coût équipés de carte ArduSimple SimpleRTK2B (1 et 2) sont connectés aux sorties du *splitter*.

Cette configuration à quatre récepteurs sur une même antenne permet de réaliser plusieurs comparaisons. D'abord, entre les deux récepteurs Leica GPS500, pour étudier et quantifier la qualité des mesures et le niveau de bruit associés à des récepteurs topographiques. Ensuite, entre les deux récepteurs ArduSimple, avec les mêmes objectifs, mais cette fois sur des récepteurs à bas coût. Enfin, une comparaison des mesures et des niveaux de bruit entre les récepteurs Leica GPS500 et les récepteurs ArduSimple nous permet de comparer les niveaux de performance entre ces deux types d'instruments.

Dans les travaux réalisés courant 2020 (cf. [Zmarrou, 2020]), puis fin 2020

(cf. [Allart et al., 2021]), nous avons pu tester différents types de récepteurs géodésiques : Leica GPS500, Trimble NetR9, Trimble Alloy et différents types de récepteurs bas coût : ArduSimple SimpleRTK2B et Drotek DP0601.

Nous avons également comparé différents types d'antennes, comme illustré par la *figure 8* : l'antenne géodésique Trimble Zephyr 2 (à gauche) et les antennes à bas coût ArduSimple AS-ANT2B-CAL-L1L2-15SMA-00 (milieu) et u-blox ANN-MB-00-00 (à droite).

Nous présentons ci-après, à titre d'illustration, une partie seulement des résultats obtenus lors du travail de Rania Zmarrou, concernant uniquement l'analyse des valeurs de rapport signal à bruit (SNR) sur la fréquence L1 GPS. En utilisant les quatre récepteurs décrits à la *figure 7* (deux Leica GPS500, deux ArduSimple SimpleRTK2B), plusieurs sessions d'observation de 24 heures environ ont été réalisées en changeant à chaque fois l'antenne GNSS utilisée.

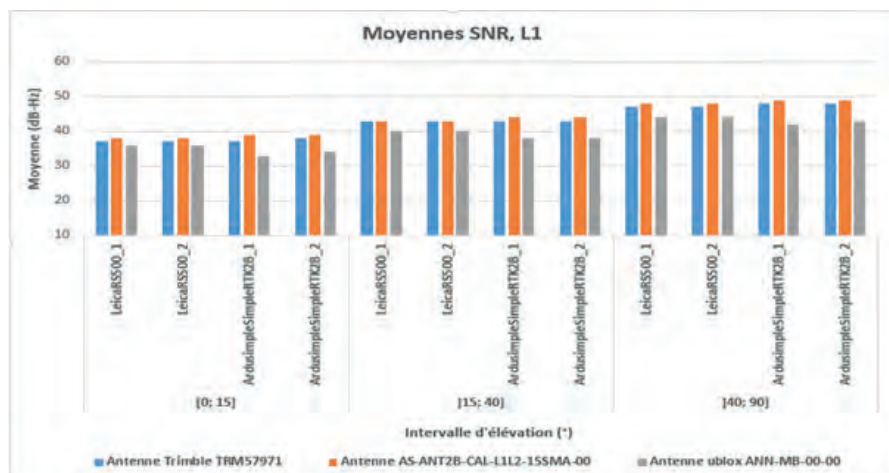
La *figure 9* représente les valeurs moyennes de SNR obtenues sur les sessions d'observation, sur la fréquence L1 de la constellation GPS seule, pour chacun des récepteurs et suivant chacune des trois antennes GNSS testées. Nous avons fait le choix de moyenner les valeurs de SNR<sup>19</sup> en fonction de l'élévation des satellites, en les regroupant suivant trois intervalles d'élévation : entre 0 et 15°, entre 15 et 40° et entre 40 et 90°. Plusieurs enseignements peuvent être tirés de ces résultats. En comparant les niveaux de SNR obtenus pour les différentes antennes par les deux récepteurs Leica GPS 500, on ne constate aucune différence significative. Comme attendu

<sup>19</sup> Signal to Noise Ratio, rapport signal / bruit



**Figure 8.** Les différentes antennes utilisées lors des tests : Trimble Zephyr 2 (à gauche), ArduSimple AS-ANT2B-CAL-L1L2-15SMA-00 (au milieu) et u-blox ANN-MB-00-00 (à droite).





**Figure 9.** Valeurs moyennes des rapports signal sur bruit (SNR) obtenues pour chaque récepteur et chaque antenne testés.

pour ce type de récepteur, leur performance sur la réception du signal GPS ne varie pas suivant la qualité de fabrication. Le même constat peut être fait en comparant les résultats des deux récepteurs ArduSimple SimpleRTK2B.

De manière générale, on constate également pour tous les récepteurs et toutes les antennes des niveaux de signal à bruit dépendant de l'élévation, les valeurs moyennes obtenues sur l'intervalle d'élévations [0-15°] étant situées entre 30 et 40 dB-Hz, alors que celles obtenues sur l'intervalle [40°-90°] sont plutôt entre 40 et 50 dB-Hz.

Intéressons-nous maintenant aux résultats obtenus par les différents récepteurs en différenciant l'antenne. Que ce soit avec l'antenne géodésique Trimble Zephyr 2 (en bleu) ou l'antenne ArduSimple (en orange), les valeurs moyennes de SNR présentées par les récepteurs Leica et ArduSimple sont très similaires, avec des différences non significatives. Il existe pourtant quelques différences notables si l'on regarde les valeurs obtenues de manière plus détaillée. La figure 10 représente les cartes du ciel des valeurs de SNR sur la fréquence L1 GPS, obtenues avec l'antenne Trimble Zephyr 2 et les récepteurs Leica GPS 500 numéro 1 (à gauche) et ArduSimple SimpleRTK2B numéro 1 (à droite). On constate que pour le récepteur Leica, les valeurs de SNR ne sont jamais inférieures à 35 dB-Hz, quelle que soit l'élévation, alors que pour le récepteur ArduSimple, nous avons parfois (5 % des cas environ) des valeurs de SNR inférieures à 30, voire 20 dB-Hz, surtout

pour des satellites à faible élévation. Ainsi, même si les valeurs moyennes observées de SNR sont très similaires sur les récepteurs Leica et ArduSimple, des différences significatives existent, surtout pour des satellites avec des élévations en dessous de 10°.

Les résultats obtenus avec l'antenne u-blox ANN-MS-00-00 montrent des différences à la fois par rapport aux autres antennes, mais également entre les types de récepteurs. On constate par exemple un écart systématique de 5 à 8 dB-Hz entre les valeurs moyennes de SNR obtenues sur cette antenne par rapport aux autres antennes testées pour les récepteurs ArduSimple. Pour les récepteurs Leica, cette différence est un peu moindre, de l'ordre de 3 à 5 dB-Hz. On constate également une plus importante dégradation des valeurs moyennes de SNR en fonction de l'élévation sur tous les récepteurs, et particulièrement les ArduSimple, avec une valeur moyenne de SNR autour de 32 dB-Hz sur l'intervalle [0-15°] et une

valeur moyenne de 41 dB-Hz sur l'intervalle [40°-90°].

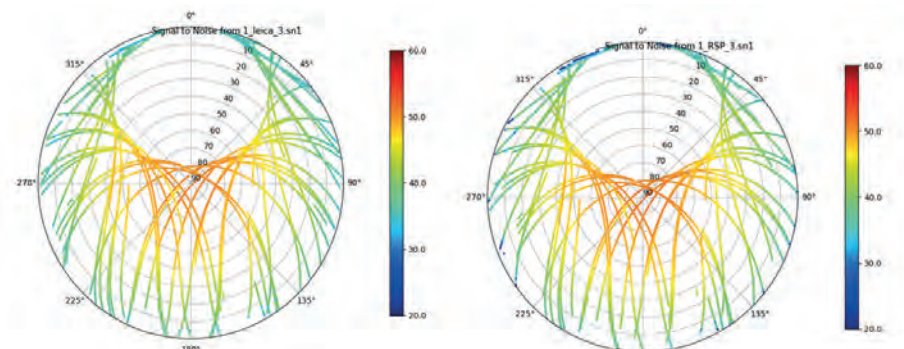
Ces résultats montrent que, au niveau de la qualité du rapport signal à bruit sur la fréquence L1 GPS, l'utilisation d'un équipement bas coût (récepteur ArduSimple SimpleRTK2B et antenne ArduSimple AS-ANT2B-CAL-L1L2-15SMA-00) est équivalente à l'utilisation d'un équipement géodésique (Leica GPS500 – Trimble Zephyr 2).

Le même type d'analyse peut être réalisé sur les niveaux de rapport signal à bruit sur les autres fréquences et les autres constellations de satellites, mais également sur les valeurs des résidus obtenues lors du traitement en zero-baseline des mesures acquises (cf. [Zmarrou, 2020] et [Allart et al., 2021]). Nous poursuivons actuellement au sein du laboratoire les analyses des données déjà acquises et pensons étendre nos expérimentations sur d'autres récepteurs et antennes dès que possible.

## Application à la surveillance d'ouvrages

L'une des thématiques de recherche du Laboratoire géomatique et foncier (GeF) étant la combinaison de techniques géodésiques pour la mesure de déformation sur des sites naturels ou des ouvrages d'art, nous avons naturellement voulu exploiter les capteurs GNSS bas coût dans ce domaine.

Dans le cadre de la thèse de Abdeljalil Nahli, débutée en 2018, nous nous intéressons en particulier à l'usage combiné des techniques GNSS et PsInSAR pour la surveillance de structures élancées telles



**Figure 10.** Cartes du ciel des valeurs de rapport signal à bruit obtenues sur la fréquence L1 GPS avec l'antenne Trimble Zephyr 2 et les récepteurs Leica GPS500 (à gauche) et ArduSimple SimpleRTK2B (à droite).



que les ponts et les barrages. Réalisée dans le cadre du dispositif Cifre, en partenariat avec l'entreprise Cementys, cette thèse est réalisée sous l'encadrement conjoint de membres du GeF<sup>20</sup> et de Cementys<sup>21</sup> et arrive bientôt à son terme.

Dans ces travaux, nous avons été conduits à développer et mettre en œuvre notre propre instrumentation adaptée à un usage combiné des techniques GNSS et PsInsar. Côté Insar, nous avons ainsi développé un coin réflecteur adapté à la technique PsInsar en bande X et permettant de colocaliser précisément un récepteur GNSS (cf. [Nahli 2020]). Côté GNSS, nous avons fait le choix de développer nos propres capteurs GNSS bas coût, couplés à une chaîne d'acquisition et de traitement basée sur la librairie RTKLib.

Cette instrumentation a été mise en œuvre sur deux sites expérimentaux : le pont *Wadi Leban* en Arabie saoudite, dès la fin 2018 et le pont de Sèvres à Paris, fin 2019.

Le réseau de capteurs mis en œuvre sur le pont *Wadi Leban* est illustré sur la figure 11. Il est composé de cinq coins réflecteurs (CR) situés à la fois au niveau du tablier (CR1, CR3, CR5) et des piles Nord et Sud (CR2, CR4) de l'ouvrage. Les coins réflecteurs CR2, CR3 et CR4 sont équipés de récepteurs GNSS bas coût, comme illustré par la figure 12. Deux autres récepteurs GNSS bas coût, situés hors de la Zone d'influence géotechnique (ZIG), complètent le dispositif.

Les récepteurs GNSS bas coût utilisés sur cet ouvrage sont équipés de modules monofréquence/multiconstellation u-blox M8P et d'antennes u-blox ANN-MS. L'entreprise Cementys a développé sa propre carte GNSS, en intégrant, en plus du module GNSS, une mémoire interne et une liaison fibre optique.

La chaîne d'acquisition sur le pont *Wadi Leban* est ainsi constituée par un ordinateur embarqué industriel, faisant office de serveur local, relié par fibre optique aux différents récepteurs

<sup>20</sup>Thèse encadrée par S. Durand, E. Simonetto et L. Morel au sein du Cnam/GeF.

<sup>21</sup>Thèse encadrée par M. Tatin et V. Lamour au sein de l'entreprise Cementys.

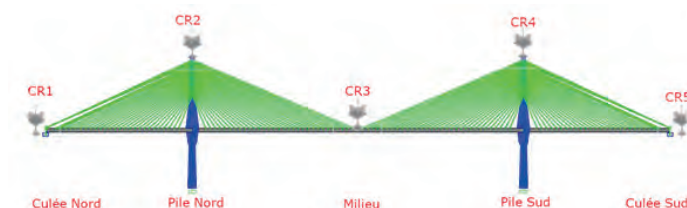


Figure 11. Schéma d'installation des capteurs GNSS et des coins réflecteur Insar en bande X sur le pont *Wadi Leban*.

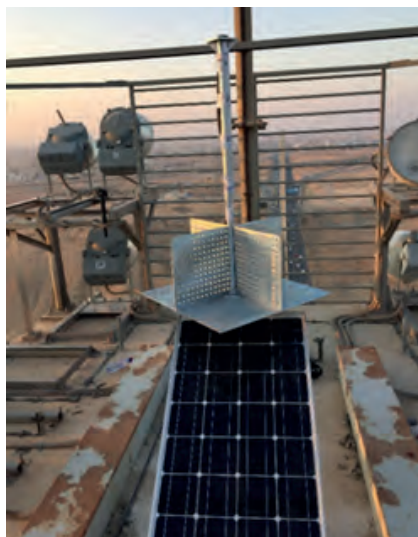


Figure 12. L'un des coins réflecteurs équipant le pont *Wadi Leban*. L'antenne GNSS se trouve en haut du mât et est à la verticale du centre du CR.

GNSS. Le serveur local est alimenté par secteur tandis que les récepteurs GNSS sont alimentés soit par panneau solaire et batterie, soit reliés au système d'éclairage public de l'ouvrage.

Toutes les mesures réalisées par les récepteurs GNSS sont transmises en temps réel par la fibre optique au serveur local qui les stocke et réalise leur traitement périodique (toutes les

30 minutes) à l'aide de RTKLib (calcul de ligne de base en mode différentiel précis). Les données brutes, ainsi que les résultats des traitements, sont envoyés régulièrement par GSM aux serveurs de l'entreprise Cementys pour archivage et analyse.

À titre d'illustration, la figure 13 représente la série temporelle de position (relativement aux points hors de la ZIG dont les coordonnées sont fixées) pour le récepteur GNSS bas coût situé au niveau du CR3, au milieu de l'ouvrage, sur la période du 25 mai au 1<sup>er</sup> juin 2019. Sur cette figure sont représentées en haut les séries temporelles de positions GNSS sur les composantes Est (en rouge) et Nord (en bleu), en millimètres. Le graphique du bas représente quant à lui la série temporelle de positions GNSS sur la composante verticale (en rouge) et la série temporelle de températures enregistrées au niveau de l'ouvrage (en rouge).

On peut constater sur la figure 13 des mouvements horizontaux et verticaux réversibles sur l'ouvrage, avec des amplitudes faibles (de quelques mm) sur les composantes horizontales et de presque 20 cm crête à crête sur la composante verticale. On remarque surtout une très forte anti-corrélation entre le mouvement vertical et la

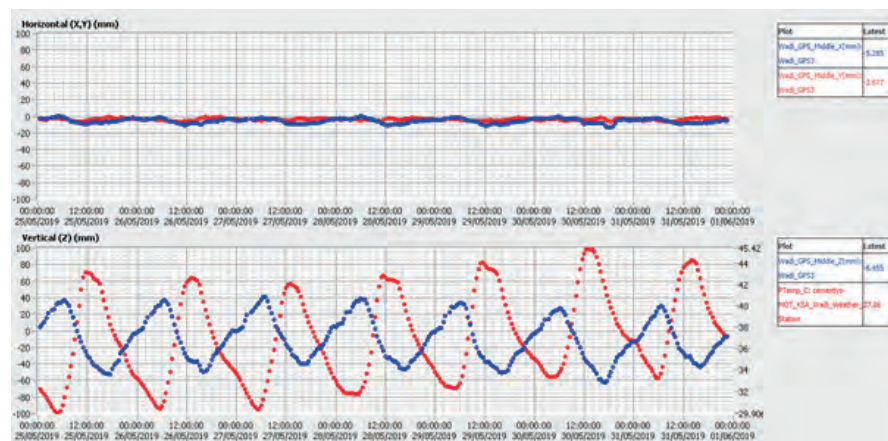


Figure 13. Exemple de série temporelle de positions GNSS (planimétrie en haut, verticale en bas) pour le point CR3 situé au milieu du pont *Wadi Leban*.





température, ce qui est tout à fait normal pour ce type d'ouvrage.

Fin 2019, nous avons mis en place un second réseau d'observation combinée GNSS/PsInsar sur le pont de Sèvres à Paris. L'objectif principal de ce second site expérimental pour la thèse était de permettre l'observation de déformations au niveau de l'ouvrage lors du passage du tunnelier pour la réalisation de la portion T3A du creusement de la future ligne 15 Sud du métro parisien dans le cadre du projet du Grand Paris Express.

Sur ce second site d'expérience, nous avons déployé sept récepteurs GNSS bas coût, certains colocalisés avec des coins réflecteurs Insar adaptés à la bande X. Un récepteur est installé sur le tablier de l'ouvrage, quatre sont situés de part et d'autre des piles et un dernier sert de référence en étant localisé hors de la ZIG.

Nous avons cette fois fait le choix de développer des capteurs GNSS bas coût en intégrant dans un boîtier étanche une carte GNSS de marque Drotek équipée du module GNSS bifréquence u-blox F9P et un ordinateur *Raspberry Pi*. Le récepteur est couplé à une antenne externe u-blox multifréquence ANN-MB. La chaîne d'acquisition est toujours pilotée grâce à la librairie RTKLib embarquée sur le *Raspberry Pi*, qui enregistre les données brutes en local et les retransmet périodiquement pour traitement aux serveurs de Cementys.

## Évaluation de la chaîne de traitement RTKLib dans le cadre de la surveillance d'ouvrages

Dans le cadre de la thèse d'Abdeljalil Nahli, nous avons fait le choix d'utiliser la librairie RTKLib pour réaliser le traitement périodique des mesures, en mode différentiel à courte ligne de base. Afin de vérifier que l'utilisation de RTKLib en remplacement d'un logiciel professionnel ou scientifique n'avait pas d'impact sur nos résultats, nous avons réalisé quelques tests lors du stage de Rania Zmarrou en 2020.

Dans le contexte particulier de la surveillance de ponts, les lignes de base entre les récepteurs situés sur l'ouvrage sont rarement supérieures à quelques centaines de mètres. De plus il est souvent possible de positionner un récepteur hors de la ZIG à moins d'un kilomètre ou deux de l'ouvrage. Dans ce cas de courtes lignes de base, l'effet du mode différentiel permet de simplifier grandement le traitement des mesures de phase et l'utilisation de logiciels professionnels permettra logiquement d'obtenir des résultats similaires à celle de logiciels scientifiques.

Afin de vérifier la qualité des résultats obtenus avec le logiciel RTKLib pour notre type d'application, nous avons comparé les séries temporelles obtenues sur les mêmes jeux de données par RTKLib et différents logiciels professionnels : Leica Infinity et Trimble Business Center (TBC). Pour cette étude, nous avons utilisé des données issues de stations permanentes du RGP et non des données issues de capteurs GNSS bas coût, l'objectif étant de vérifier l'impact du logiciel et non l'impact combiné du logiciel et du matériel bas coût.

Nous avons sélectionné les stations IGNF et SMNE appartenant au RGP qui sont séparées de 200 mètres environ. Sur la période du 4 au 8 juin 2020, nous avons découpé les fichiers de mesures en 240 fichiers contenant chacun 30 minutes de données. Nous avons ensuite calculé les séries temporelles de positions associées à la ligne de base SMNE-IGNF, en mode

statique, avec chaque logiciel. Nous avons choisi, pour chaque logiciel et lorsque cela était possible, les mêmes options de traitement. Les calculs ont été réalisés, suivant le logiciel, soit de manière automatisée par des scripts, soit manuellement, les logiciels professionnels n'étant pas forcément adaptés pour des traitements automatisés d'un tel lot de fichiers.

Le *tableau 1* résume les différences observées entre les séries temporelles issues de Infinity, TBC et RTKLib. Ces résultats sont issus de [Zmarrou, 2020].

Les résultats présents dans ce *tableau 1* nous permettent les conclusions suivantes. D'une part, les séries temporelles issues de Infinity et RTKLib sont très similaires, avec des coefficients de corrélation de plus de 90 % sur les trois composantes et des écarts moyens inférieurs au millimètre. Il semble donc que les traitements réalisés par ces deux logiciels, avec les options définies et une ligne de base de 200 m soient très similaires. Ceci est également le cas si l'on compare les séries temporelles entre TBC et RTKLib, pour les composantes horizontales uniquement, avec une corrélation de plus de 80 %, et des écarts moyens inférieurs au millimètre. Sur la composante verticale par contre, le coefficient de corrélation entre les séries temporelles issues de TBC et RTKLib est de 44 % seulement, avec un écart moyen de 3 mm et des écarts pouvant atteindre 11 mm.

D'autre part, les séries temporelles issues de Infinity et RTKLib étant très



	Comparaison des séries temporelles entre Infinity et RTKLib			Comparaison des séries temporelles entre TBC et RTKLib		
	Est (mm)	Nord (mm)	Vertical (mm)	Est (mm)	Nord (mm)	Vertical (mm)
<b>Coefficient de corrélation</b>	0.99	0.88	0.95	0.95	0.83	0.44
<b>Moyenne des écarts</b>	0.0	0.2	0.4	0.1	0.0	2.9
<b>Écart-type des écarts</b>	0.1	0.4	0.5	0.2	0.5	3.0
<b>Écart maximum</b>	0.4	1.4	1.4	1.0	1.7	11.0

**Tableau 1.** Statistiques des écarts entre les séries temporelles issues de Leica Infinity et Trimble Business Center par rapport à celles issues de RTKLib.



similaires, les écarts constatés entre les résultats de TBC et de RTKLib peuvent être analysés aussi comme des écarts entre Infinity et TBC. Ils nous donnent ainsi une idée de l'impact du logiciel de traitement utilisé sur les séries temporelles obtenues et montrent que les résultats que nous obtenons avec RTKLib sont d'un niveau tout à fait comparable à ceux issus d'autres logiciels professionnels.

## Conclusion

Dans cet article, issu d'une présentation réalisée le 16 octobre 2020 lors d'une réunion du groupe de travail G&P de la commission Geopos du Cnig, nous avons réalisé un tour d'horizon, forcément non exhaustif, des solutions de positionnement précis à bas coût existantes, en orientant particulièrement nos propos sur le positionnement différentiel post-traité et la surveillance de sites ou d'ouvrages.

Depuis le milieu des années 2000 et l'apparition des premiers équipements GNSS bas coût adaptés au positionnement précis, et encore plus avec l'arrivée sur le marché en 2018 de modules multifréquence, le nombre d'initiatives, de développements et d'applications des capteurs à bas coût ne cesse d'augmenter.

Nous avons ensuite présenté les différents travaux menés par le Laboratoire géomatique et foncier exploitant les récepteurs GNSS à bas coût. D'abord le développement d'un prototype dédié au levé en mode statique rapide, et nos avancées sur l'évaluation des performances des récepteurs et antennes GNSS à bas coût, par comparaison avec des équipements géodésiques. Ensuite, les développements de capteurs bas coût pour le suivi combiné GNSS/PsInSAR des ponts *Wadi Leban* (Arabie saoudite) et de Sèvres (Paris) et l'évaluation dans ce contexte la pertinence d'une utilisation de la librairie RTKLib à la place de logiciels professionnels. ●

## Contact

Stéphane DURAND  
Maître de conférences Cnam/ESGT  
stephane.durand@lecnam.fr

## Références

- Allart, M., Niederberger, G., Palacin, S., Olivier, A. (2021) *Évaluation des performances de récepteurs GNSS bas coût pour les applications d'auscultation*, Rapport de projet pluri-professionnel de dernière année du cycle ingénieur ESGT.
- Baumer, T., Perrillat-Charlaz, A., Secret, M. (2018) *Évaluation d'une solution dynamique GNSS bas coût pour la mesure statique et dynamique des déformations d'ouvrages d'art*. Rapport de projet pluri-professionnel de dernière année du cycle ingénieur ESGT.
- Benoit Lionel (2014), *Positionnement GPS précis et en temps réel dans le contexte de réseaux de capteurs sans fil type Géocube : application à des objets géophysiques de taille kilométrique*, Thèse de doctorat de l'École normale supérieure.
- Benoit Josselin (2010), *"Expérimentation d'un système de mesure GPS pour la surveillance de mouvements de terrain"*, Travail de fin d'études ESGT, Société Myotis.
- Biagi, Ludovico, Grec, Florin-Catalin, Fermi, Alessandro, Negretti, Marco. (2018). *Relative antenna calibration for mass-market GNSS receivers: A case study*. 10.13140/RG.2.2.19687.09123.
- Bienvenue, Pierre (2017), *Utilisation de GNSS monofréquence pour étude vibratoire d'ouvrages*, Mémoire de fin d'études, ESGT, 2017.
- Cattin and Brahier (2011), *"Géomonitorage par GPSS avec des équipements à faible coût"*, revue Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire, numéro 109, juin.
- Chalvet F., Gruel, S., Host, M. (2017) *Rapport du stage RTKLIB Touchscreen*, Rapport de stage Forcalquier des étudiants en 1<sup>re</sup> année du cycle IT de l'ENSG.
- Dassin, L., Tardy, H., Pichenot, M., Pontier, I. (2019) *test de GNSS low-cost*, Rapport de stage Forcalquier des étudiants en 1<sup>re</sup> année du cycle IT de l'ENSG.
- Gauch, N., Gherissi, J-B, Mtibaa, N., Paumier, A. (2019) *Développement d'un système d'auscultation GNSS bas coût*, Rapport de projet pluri-professionnel de dernière année du cycle ingénieur ESGT.
- Hamza, Veton and al., (2020) *Testing Multi-Frequency Low-Cost GNSS Receivers for Geodetic Monitoring Purposes*. Sensors. 20. 4375. 10.3390/s20164375.
- Hue, V., Karimou, S., Mazeran, P., Monany, S., Prud'homme, F. (2018) *Rapport de projet GNSS low-cost*, Rapport de stage Forcalquier des étudiants en 1<sup>re</sup> année du cycle IT de l'ENSG.
- Manzini N., Orcesi A., Thom C., Brossault, M-A., Botton, S. et al. *Performance analysis of low-cost GNSS stations for structural health monitoring of civil engineering structures*. Structure and Infrastructure Engineering, Taylor & Francis (Routledge): STM, Behavioural Science and Public Health Titles, In press, pp.1 - 17. (10.1080/15732479.2020.1849320). (hal-03032752).
- Martin, O. (2020) *Géocube, RTKube, GeocubX*, Présentation lors de la réunion du groupe de travail G&P de la commission Geopos du Cnig du 16 octobre 2020 (en ligne sur [http://cnig.gouv.fr/?page\\_id=12592](http://cnig.gouv.fr/?page_id=12592)).
- Nahli A., Simonetto E., Tatin M., Durand S., Morel L., Lamour V. (2020) *On the combination of PSInSAR and GNSS techniques for long-term bridge monitoring*, ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLIII-B3-2020. 325-332.10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-325-2020.
- T.Takasu, N.Kubo, A.Yasuda, (2007) *Development, Evaluation and Application of RTKLIB: A program library for RTK-GPS*, GPS/GNSS Symposium 2007, Tokyo, Japan, November 20-22.
- Zmarrou, Rania (2020) *Auscultation d'ouvrages d'art par GNSS low-cost : validation de la chaîne d'acquisition et de traitement*. Projet de fin d'études de l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Maroc.

## ABSTRACT

On October 16, 2020, the GNSS and Positioning (G&P) working group, part of the Cnig's Geopos committee organized some conferences on the theme of positioning with low-cost GNSS receivers. This article is a written out and adapted version of the talk proposed by the authors. It focuses on the use of low-cost GNSS sensors for real-time and post-processed positioning for use in topography, in particular for surveying, staking out, and particularly for the monitoring of structures and natural sites. After an overview of existing hardware solutions, the article focuses on the work currently being carried out in this field by the Geomatics and Land Laboratory (GeF), a Cnam research laboratory hosted by the Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes.