

# DEVELOPPEMENT D'UN LOGICIEL DE SIMULATIONS DE MESURES GNSS, GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS

Société d'accueil : University of New South Wales (UNSW)  
PFE présenté par : **Maxime Roellinger**  
Directeur (directrice) du PFE : Mr. Samsung Lim  
Correcteurs : Mr. Gilbert Ferhat, Mr. Pascal Bonnefona

THE UNIVERSITY OF  
NEW SOUTH WALES



## Introduction

Mon Projet de Fin d'Etudes s'effectue à l'Université de New South Wales (UNSW) à Sydney en Australie. L'Université dispose d'une large base disciplinaire et comporte plusieurs facultés englobant de nombreux domaines. C'est plus précisément au sein du laboratoire SNAP (*Satellite Navigation and Positioning*) compris dans la *School of SSIS (Surveying and Spatial Information Systems)* que j'ai réalisé mon PFE.

Le laboratoire SNAP est le premier groupe de recherche universitaire en l'Australie se spécialisant dans la technologie et les applications de positionnement, au sol et à partir des satellites, ainsi que dans la transmission sans fil. Bien que le centre d'intérêt principal du laboratoire soit les Systèmes Globaux de Navigation par Satellites (*GNSS, Global Navigation Satellite Systems*) tels que le GPS, GLONASS et Galileo, le laboratoire effectue aussi activement des recherches dans les systèmes inertiels de navigation (*INS, Inertial Navigation Systems*), le positionnement par téléphone portable, le WIFI ainsi que la navigation intégrée et les systèmes imageurs.

Contexte : Le GPS, GLONASS, Galileo et Compass sont actuellement les *GNSS* les plus connus. Certains de ces systèmes ont été entièrement développés et d'autres sont en cours de développement. Par conséquent, le marché lié aux *GNSS* est aujourd'hui en pleine expansion. Le grand public et les professionnels sont directement concernés et ce dans tous les domaines, comme la santé, les transports, la sécurité, le tourisme... Les défis ne sont pas seulement techniques et stratégiques mais aussi politiques. Avec l'avènement de nouvelles constellations dans un futur proche, il s'avère nécessaire d'utiliser des simulateurs de mesures *GNSS*, afin d'étudier les avantages d'une exploitation simultanée de tous ces systèmes.

Avancement du projet : Le laboratoire SNAP a commencé à développer un logiciel de simulation de mesures *GNSS* par l'intermédiaire d'un ancien étudiant en doctorat. Durant sa thèse achevée en 2006, le doctorant a créé le logiciel de simulation *GNSS* fonctionnant sous Matlab. Par la suite, un chercheur a travaillé à l'intégration de nouvelles fonctions et spécificités sur le logiciel. Le laboratoire souhaite disposer de son propre logiciel de simulation *GNSS* dans le cadre de ses recherches.

Objectif : La version du logiciel développée par le laboratoire servira de base à l'étudiant. Le PFE permettra de tester le logiciel afin de vérifier la validité de ses résultats, d'améliorer ses performances en développant une nouvelle version, de créer une interface graphique simplifiant son emploi aux utilisateurs, et enfin de lui ajouter des fonctions supplémentaires.

## 1. Description des fonctionnalités de certains des logiciels existants

Cette partie préliminaire du PFE a pour but de comprendre le fonctionnement des logiciels mis à disposition, tout en se familiarisant avec l'environnement Matlab :

- ✓ Le logiciel commercial *Trimble Planning*, développé par *Trimble*.
- ✓ Les fonctions Matlab de *Constellation Toolbox*, développé par *Constell, INC*.
- ✓ Les fonctions Matlab de *SATNAV Toolbox version 3.0*, développé par *GPSof, LLC*.
- ✓ Le logiciel de simulation *GNSS (GNSSsim)* développé par le laboratoire, basé sur les fonctions Matlab du logiciel *SatNav*.

PFE soutenu en septembre 2010

Maxime Roellinger 1/4

- Capacités du logiciel de simulation GNSS développé par le laboratoire :

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choix des <b>constellations GNSS</b></li> <li>- Choix de la <b>période</b> considérée</li> <li>- Choix de l'<b>intervalle de temps</b> entre chaque calcul</li> <li>- Choix de l'<b>angle de coupure</b></li> </ul>	<b>Tracé local</b> <b>(Station au sol)</b> <i>(Single Point Location)</i>	<b>Tracé global</b> <b>(Ensemble de la surface terrestre)</b> <i>(WorldMap)</i>
<b>Visibilité des satellites</b>	<b>Pour la combinaison des GNSS :</b> nombre de satellites visibles	<b>Pour chaque GNSS :</b> nombre de satellites visibles  <b>Pour la combinaison des GNSS :</b> - nombre minimum de satellites visibles - nombre moyen de satellites visibles - nombre maximum de satellites visibles
<b>Valeurs de DOP</b>	<b>Pour la combinaison des GNSS :</b> - valeurs de PDOP - valeurs de HDOP	<b>Pour la combinaison des GNSS :</b> - valeurs minimales de PDOP - moyenne des valeurs de PDOP - valeurs maximales de PDOP

Tableau 1 : Présentation des résultats de la première version de GNSSsim

## 2. Amélioration des performances du logiciel GNSS Measurement Simulator (GNSSsim)

La première version de GNSSsim présente un inconvénient majeur, en l'occurrence sa durée d'exécution, qui est beaucoup trop importante. En effet, dans le cas de la génération globale de la visibilité des satellites ainsi que des valeurs de DOP, le traitement pouvait durer jusqu'à 3 jours (durée indiquée par un membre du laboratoire lors d'un test), en prenant en compte plusieurs constellations, une grille de pas de 1 degré pour le tracé, et un intervalle de temps entre chaque calcul de 30 minutes sur une période de 24 heures.

Dans le but d'améliorer les performances du logiciel, il a été nécessaire de procéder au développement d'une autre version. Par conséquent, il m'a été suggéré d'utiliser les fonctions Matlab fournies par *Constellation Toolbox*, lesquelles possèdent une structure permettant de « vectoriser » le code, en utilisant les calculs en blocs de manière plus fréquente.

- Concepts permettant d'augmenter la rapidité d'exécution du code sous Matlab :

- ✓ « Vectorisation » du code du programme principal en favorisant l'utilisation de matrices.
- ✓ Réduction du nombre de boucles « for » imbriquées dans le code du programme principal.
- ✓ Modification de certaines fonctions Matlab « externes » appelées par le programme principal.
- ✓ Pré-affectation (*preallocating*) de matrices à des variables étant amenées à changer de taille.

La première partie du PFE a donc été dédiée à l'amélioration des performances du logiciel. La nouvelle version permet la réduction du temps d'exécution du programme à moins d'une heure, en considérant les mêmes paramètres en entrée.

## 3. Création de l'interface

La création d'une interface permet le choix des paramètres en entrée. Cela rend le logiciel utilisable par chacun de manière beaucoup plus aisée, sans connaissances spécifiques en programmation. En effet, le but est de ne plus avoir à modifier les paramètres d'entrée directement dans le code.

La création de l'interface graphique a été effectuée sous Matlab à l'aide de l'outil GUIDE (*Graphical User Interface Development Environment*), qui permet de concevoir intuitivement des interfaces graphiques.

La figure 1 montre un aperçu de l'interface créée :

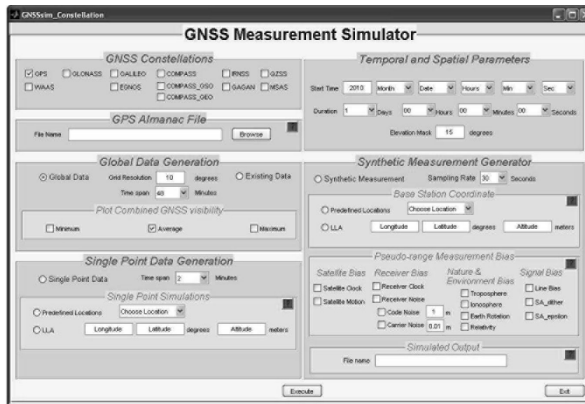


Figure 1: Interface du logiciel GNSSsim

**Description globale de l'interface créée :** Le logiciel *GNSS Measurement Simulator* comporte 3 possibilités de génération de résultats différents :

- ✓ *Global Data Generation* : Tracé global de la visibilité et des valeurs de DOP.
- ✓ *Single Point Data Generation* : Tracé local de la visibilité et des valeurs de DOP.
- ✓ *Synthetic Measurement Generator* : Générateur de Mesures Synthétiques (cf. ci-dessous).

À cet effet, l'interface comporte certaines parties communes, permettant le choix des paramètres en entrée nécessaires à chacun de ces simulateurs :

- ✓ *GNSS Constellations* : Les constellations GNSS à prendre en compte.
- ✓ *GPS Almanac File* : Fichier des données d'almanach pour la constellation GPS.
- ✓ *Temporal and Spatial Parameters* : Date de début des observations, durée des observations et angle de coupure.

**Remarque :** Pour les constellations GPS et GLONASS, des almanachs sont disponibles afin d'effectuer des simulations. Ce n'est pas le cas des autres constellations qui ne sont pas encore opérationnelles. Les positions des satellites sont alors calculées à partir des paramètres d'orbite képlériens, ce qui aboutit à des résultats moins précis. Cependant sous *GNSSsim*, les positions des satellites GLONASS sont aussi calculées à partir des éléments d'orbite képlériens.

#### 4. Extension du logiciel : Développement d'un « *Synthetic Measurement Generator* » (SMG)

**Contexte de l'étude :** Les mesures GPS et GLONASS sont disponibles librement de nos jours. En règle générale, il s'agit de distances « observées » des satellites GPS/GLONASS jusqu'à un récepteur terrestre. Ces mesures incluent donc tout un ensemble d'erreurs diverses, qu'il est possible d'estimer, et par conséquent de réaliser des mesures « simulées ». Lorsque les positions d'un satellite et d'un récepteur sont données, le calcul de la distance géométrique entre les deux est réalisable. Les erreurs estimées sont ajoutées à la distance géométrique, ainsi que certaines erreurs aléatoires. Cette distance obtenue après calcul représentera la distance « simulée ». Bien entendu, des simulateurs sont disponibles dans le commerce, mais ils ont d'autres fonctionnalités complexes comme par exemple la synchronisation des horloges atomiques, et dès lors ils s'avèrent être coûteux.

**But du SMG :** Le *Synthetic Measurement Generator* (Générateur de Mesures Synthétiques) a pour but de créer un fichier d'observations sous format RINEX. Le fichier d'observations contient les observables générés par le SMG :

- ✓ La mesure de phase sur L1 exprimée en nombre de cycle et indiquée par L1.
- ✓ La mesure du code C/A sur la porteuse L1 exprimée en mètres et indiquée par C1 (pseudo-distance).

Remarque : Un grand nombre d'erreurs peuvent être incluses dans le calcul des observables.

**Méthode :**

- Adaptation de plusieurs fonctions Matlab existantes au programme principal (les fonctions proviennent de *Constellation Toolbox*).
- Ajout de la partie du *Synthetic Measurement Generator* à l'interface graphique.

## 5. Comparaisons des résultats

Il est intéressant de comparer les résultats obtenus à l'aide de différents logiciels. La comparaison avec le logiciel commercial *Trimble Planning* ne peut être effectuée que dans le cas de la génération des résultats **locaux** de la visibilité des satellites et des valeurs de DOP. En effet, le logiciel *Trimble Planning* ne permet pas de générer des résultats globaux (sur l'ensemble de la surface terrestre).

Plus généralement, dans le cas de la génération des résultats **globaux** de la visibilité des satellites et des valeurs de DOP, il est possible de constater le changement engendré par l'arrivée future de la seconde génération de Systèmes Globaux de Positionnement par Satellites (GNSS-2). Celle-ci fournira un plus haut niveau de précision et d'intégrité que l'actuelle première génération (GNSS-1), qui combine l'utilisation des systèmes GPS et GLONASS, avec des systèmes d'augmentation satellitaires (SBAS) ou terrestres (GBAS).

- Les figures 3 et 4 fournissent un aperçu du futur changement :

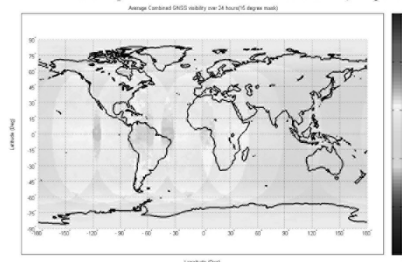


Figure 3 : Visibilité globale GNSS-1  
(Echelle : de 5 à 25 satellites visibles)

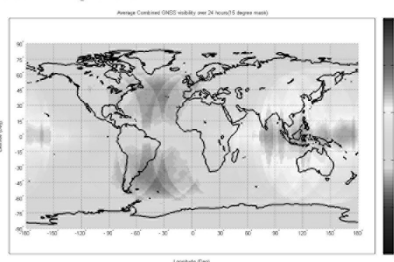


Figure 4 : Visibilité globale GNSS-2  
(Echelle : de 20 à 55 satellites visibles)

## Conclusion et perspectives

Le logiciel développé est un outil qui s'avère utile essentiellement pour le groupe de recherche du laboratoire, dans le cadre des travaux dans le domaine des GNSS. Néanmoins, il est évident que la précision des résultats obtenus ne permet pas d'atteindre un niveau d'études poussées, il s'agit avant tout de « prédictions ». Cependant, les améliorations iront de pair avec le développement des futurs GNSS. Par exemple, l'utilisation de données d'almanachs ou d'éphémérides à la place des éléments d'orbite képlériens offrira de meilleurs résultats concernant la seconde génération de GNSS. Dans un même ordre d'idée, les calculs de pseudo-distances effectués par le *Synthetic Measurement Generator* ne tiennent pas compte d'erreurs complexes telles que la gravitation, les effets d'attraction de la lune et du soleil par exemple qui provoquent des variations du demi grand axe de l'ellipse au cours du temps. En effet, ces forces perturbatrices nécessitent l'emploi de modèles complexes. Le groupe de recherche dirigé par mon superviseur se penche actuellement sur ces travaux, en cherchant à obtenir la meilleure précision possible.

De plus, bien que les systèmes Galileo et Compass ne soient pas opérationnels pour le moment, il s'agit aussi de produire des mesures « synthétiques » pour ces GNSS. Actuellement tous les satellites ne produisent pas de mesures sous la nouvelle fréquence L5, cette dernière est à l'essai. Par conséquent, il peut être nécessaire de « construire » ou « simuler » les mesures de cette troisième fréquence. Au même titre que les autres observables du fichier d'observations, la génération des mesures concernant la seconde génération de GNSS sera réalisable prochainement. En conclusion, bien que le logiciel soit fonctionnel, des améliorations y seront apportées, afin de répondre aux attentes de précision et aux évolutions futures dans ce domaine.