

# Synthèse des rapports des L3 STEP

Tanguy ,Rémi Matrau,Victor Husson , Arthur Cross, Ari Jeanin

June 18, 2013

## 1 Introduction

Lors de leur stage des étudiants de L3 STEP se sont penchés sur différentes questions concernant le satellite étudiant dans le but de faire avancer le projet. Leurs travaux étaient centrés principalement sur la composante GPS du satellite. Les sujets sur lesquelles ils ont travaillé sont les géométries d'occultations, le contrôle d'attitude, l'étude de l'inversion des signaux d'occultation.

La mise en place d'un GPS bi-fréquence dans le satellite étudiant a pour objectif de réaliser des occultations ionosphériques. L'occultation ionosphérique est une technique qui exploite les signaux radios qui se propagent entre un satellites GPS ( $\sim 20\,000\text{km}$  d'altitude) et un satellite sur un orbite basse ( $\sim 700\text{km}$  d'altitude). L'analyse de ces signaux permet l'obtention de profil de densité électronique de la ionosphère.

Ce document offre une synthèse de leur travail et présente les résultats obtenus.

## 2 Les géométries d'occultations

Des simulations des trajectoires de satellites de positionnements et de satellites LEO (Low Earth Orbit) ont été réalisé. Deux altitudes d'orbites ont été testé pour le satellite LEO : 600km et 800km. Ces deux altitudes sont a priori les bornes entre lesquelles le satellites étudiant volera. Les simulations ont permis de tester à quels moments la position du satellite LEO et celles des satellites de positionnement permettent géométriquement de réaliser une occultation.

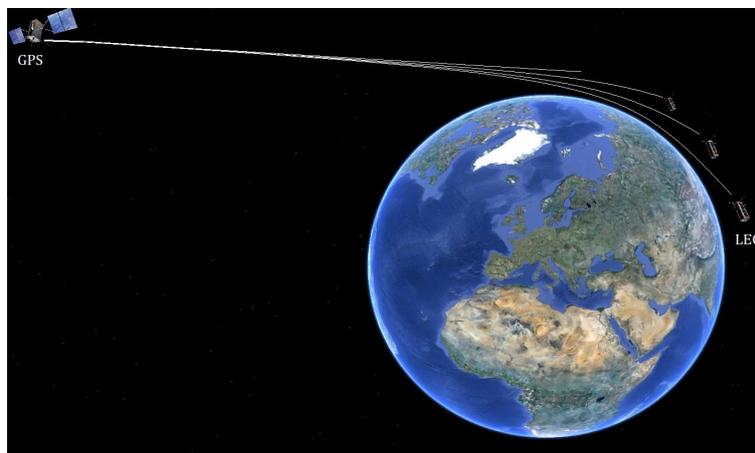


Figure 1.Représentation schématique d'une occultation radio

Les principaux résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Orbite	Constellation	Type d'occultations	Nombre d'occultations
600 km	GPS	TOUTES	961
		M/D (60°)	461
		M/D (20°)	156
	GPS + GLONASS + Beidou + Galileo	TOUTES	2488
		M/D (60°)	1272
		M/D (20°)	438
800 KM	GPS	TOUTES	904
		M/D (60°)	442
		M/D (20°)	121
	GPS + GLONASS + Beidou + Galileo	TOUTES	2364
		M/D (60°)	1205
		M/D (20°)	429

**Tableau 1.** Nombre total d'occultation en 24h. "M/D" signifie montante/descendante

La figure 2 montre qu'il y a en permanence au minimum 3 satellites GPS qui permettent de faire une occultation.

Les simulations mettent en évidence les résultats suivants. L'altitude du CubeSat n'a que peu d'influence sur la quantité d'occultation réalisée en 24h. Cependant, l'altitude a une influence sur leur durée. Des occultations se produisent toute la journée et en permanence même si on utilise que les satellites de la constellation GPS. Les occultations les plus pertinentes pour les mesures sont les occultations montantes et descendantes. Elles représentent entre 10% et 50% des occultations totales et durent environ 500 secondes. Si seule la constellation GPS est utilisée ce type d'occultation ne peut pas être réalisé en permanence au cours de la journée.

### 3 contrôle d'attitude par magnétocoupleur

Un satellite est soumis à de nombreuses perturbations extérieures (forces de gravité, forces électromagnétiques, traînée aérodynamique pour les orbites basses, vent solaire, micro impacts, forces internes ...) susceptibles de modifier sa position sur son orbite. Il est indispensable de pouvoir orienter le satellite selon les besoins de la mission, c'est-à-dire pointer un appareil embarqué dans une direction voulue : c'est l'exigence du pointage.

Plusieurs appareils existent pour déterminer et contrôler l'attitude d'un satellite. On s'intéresse ici au contrôle d'attitude par magnétocoupleurs.

Les magnétocoupleurs sont composés d'une ou plusieurs bobines électriques. Le champ magnétique qu'elles induisent ainsi que le champ géomagnétique mène à la création d'un couple de force qui permet le contrôle d'attitude du satellite.

Les magnétocoupleurs sur le marché vont de la simple bobine (~ 600 euros) au boîtier complet avec la maîtrise des 3 axes de rotations et le logiciel intégré (~ 35 000 euros). Le nombre d'axes de rotation à contrôler dépend de l'objectif de la mission. Dans notre cas la maîtrise de deux axes de rotations est suffisante ; on peut tolérer une rotation selon l'axe perpendiculaire à l'antenne GPS car cela n'affecte en rien la réception du signal.

A partir du site internet [cubesatshop.com](http://cubesatshop.com) deux appareils différents ont été comparés, le Cube Torquer et le MAI 200 ADACS.

Le Cube Torquer est une simple bobine électrique qui permet de produire un moment magnétique d'environ  $0.2A.m^2$ . La puissance nécessaire est de 209mW pour une alimentation de 2.5V. Pour une altitude d'environ 600km (soit un champ moyen d'environ  $0.3 \times 10^{-4}$  Tesla) cela correspond à un couple d'environ  $6 \times 10^{-6}$  N.m. Ses dimensions sont de 60mm de long pour un diamètre de 5 mm et une masse de 22g. Un système simple comme celui-ci nécessite la création et la configuration du software nécessaire à son fonctionnement.

Le MAI 200 ADACS est un contrôleur 3 axes contenant 3 bobines, un magnétomètre, un capteur solaire et un software programmé. Pour une alimentation de 12V (soit environ 5W de puissance) il peut produire un moment magnétique d'environ  $2A.m^2$ , soit un couple d'environ  $6 \times 10^{-4}$  N.m. Ses dimensions sont 39mm x 39mm x 31mm pour une masse de 907g.

## 4 Occultation troposphérique par la technique du "Bending angle"

La faisabilité d'occultation troposphérique par le satellite étudiant a été étudié. L'occultation troposphérique permet l'obtention de profils de température, de densité, de pression et de quantité d'eau de la troposphère.

Faire des occultations troposphériques ne nécessite aucun coût matériel supplémentaire direct puisque les charges utiles nécessaires sont strictement les mêmes que pour réaliser des occultations ionosphériques.

En revanche, la mise en place d'occultations troposphériques nécessite forcément des consommations d'énergies supplémentaires qu'il faudrait estimer. De plus, la place disponible pour stocker les données acquises doit être suffisante pour accueillir les données troposphériques.