

# Archimède : le strigidæ de SupOptique

Sébastien Giudicelli, Emilien Guillaume, Charles-Antoine Mignon

**Abstract**—Built with a skeleton in Dural and protected by a transparent PVC hull. It is a true weather station thanks to its hygrometric, temperature and pressure gauges. Moreover, it is distinguished by containing optical assembly making it possible to measure the temperature of dew. The Archimedes team of the Institute of Optics is proud to present its CanSat to you.

## I. INTRODUCTION

Étant au départ complètement novices dans cette compétition, nous avons d'abord passé un certain temps à étudier toutes les contraintes présentes dans le cahier des charges afin de déterminer la meilleure façon de concevoir la plaquette en choisissant judicieusement les composants que nous voulions utiliser. Nous avons également dû choisir les deux missions que notre CANSAT devait accomplir, une de ces deux missions étant « libre ». Nous avons alors choisit la mission de sondage atmosphérique complétée par une mesure de la température du point de rosé.

Après cette étape, nous nous sommes occupés de concevoir toute la structure mécanique à l'aide de SolidWorks, afin de pouvoir facilement visualiser le système que nous voulions obtenir. Nous avons également testé et caractérisé les composants électroniques choisis afin de vérifier qu'ils correspondaient bien à ce que nous voulions faire.

Vient ensuite l'étape de la réalisation de la sonde, parallèlement au développement du code qui va tourner dans le microprocesseur de la canette et qui va diriger toutes les actions réalisées par l'électronique. Ainsi, en montant la structure et le montage optique de la mission secondaire, tout en intégrant les capteurs sur plaque électronique et en développant le code, nous nous rapprochons de l'étape finale de la conception du CANSAT : l'intégration finale et les phases de test.

## II. CONTEXTE

### A. L'équipe

Nous avons choisi de participer au concours CANSAT organisé par le CNES dans le cadre de notre projet système de 2<sup>ème</sup> année. Ce concours destiné aux étudiants consiste en une simulation d'un programme de mise en œuvre d'une sonde atterrisseur sur un corps céleste. Pour réaliser cette mini-sonde spatiale, il faudra passer par toutes les étapes d'un projet réel : conception du système, réalisation de la sonde, test en vol et analyse des résultats par retour d'expérience.

Ce déroulement du projet par étapes tout au long de la 2<sup>ème</sup> année a permis d'avancer progressivement, tout en pouvant s'adapter au fur et à mesure aux problèmes rencontrés afin de déterminer des solutions, ou de partir sur une idée complètement différente.



Figure 1: CanSat en cours d'intégration

### B. Plan de travail

Comme décrit précédemment, nous nous sommes toujours attachés à respecter les trois étapes de conception, modélisation et tests. Et malgré cela, nous avons dû faire face à de nombreux imprévus qui ont progressivement modifié l'organisation de l'équipe. En effet, au début nous étions tous ensemble en train de nous occuper de la même partie. Tandis que nous avançons, il nous fallait parfois revenir sur ce que nous avons déjà fait pour y apporter des modifications (par exemple) et c'est comme ça que nous avons commencé à considérer les affinités de chacun avec les différentes parties du projet.

Pour ce qui est du budget nous avons une idée relativement précise du coût de l'ensemble des composants électroniques : en gros 400 €. En revanche, nous ne pouvons fournir qu'une estimation du coût de ce qui a été réalisé par les ateliers de mécanique et d'optique de l'Institut d'Optique. En tout nous devrions nous situer autour des 800 €, ce qui nous semble raisonnable en nous comparant aux budgets des autres nouvelles équipes.

## III. LES MISSIONS

### A. La mission scientifique

La mission scientifique que nous avons choisie est la mission de sondage atmosphérique. Elle consiste à effectuer plusieurs mesures de différents paramètres météorologiques au cours de la descente (cette mission simule la descente d'une sonde spatiale dans l'atmosphère d'un corps céleste quelconque). Au cours de sa chute, le CANSAT va donc :

- Effectuer une mesure de température toutes les demi-secondes
- Effectuer une mesure d'hygrométrie toutes les demi-secondes
- Effectuer une mesure de pression toutes les secondes
- Effectuer une mesure de position spatiale toutes les demi-secondes via l'accéléromètre 3 axes (altitude z et position relative en x et y par rapport au point de largage)
- Transmettre toutes ces valeurs au fur et à mesure à une station-sol par liaison HF

Les résultats obtenus par le biais de cette mission seront alors mis en forme de façon à déterminer l'évolution de plusieurs paramètres météorologiques en fonction de l'altitude et de comparer ces résultats à ceux obtenus par des modèles physiques simples.

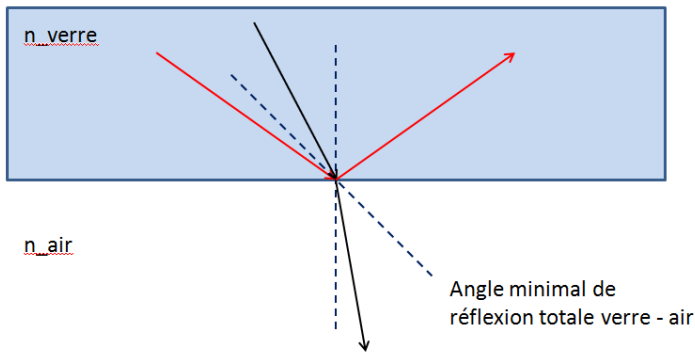
Le détail des composants utilisé dans cette partie sera exposé dans la partie concernant l'électronique.

### B. Mission libre

Quant à la mission libre, nous avons choisi de rester dans la continuité de la mission principale en souhaitant déterminer la température du point de rosée au sol à l'aide d'un montage optique basé sur un principe simple, celui de la réflexion frustrée. En effet, dans le cas d'une interface verre-air, il existe un angle d'incidence minimum de la lumière pour lequel il y a réflexion totale à l'interface.

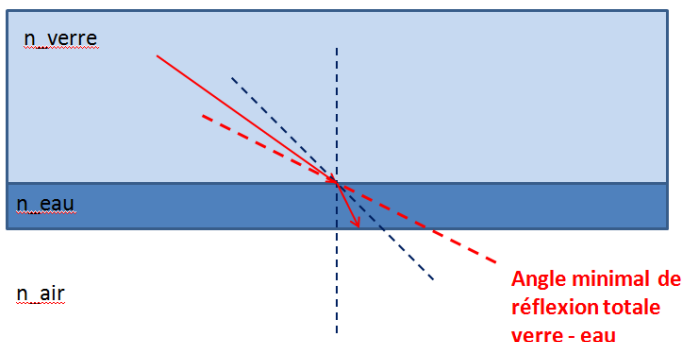
Dans le cas d'une interface verre – air :

$$\sin(\theta_{ref\ totale}) = \frac{n_{air}}{n_{verre}} = \frac{1}{1.5} \rightarrow \theta_{ref\ totale\ verre-air} = 41.8^\circ$$



Dans le cas d'une interface verre – eau, on obtient :

$$\sin(\theta_{ref\ totale}) = \frac{n_{eau}}{n_{verre}} = \frac{1.33}{1.5} \rightarrow \theta_{ref\ totale\ verre-eau} = 62.4^\circ$$



Ainsi, pour un même angle d'incidence égal à 45°, donc :

$$\theta_{ref\ totale\ verre-eau} > \theta_{inc} = 45^\circ > \theta_{ref\ totale\ verre-air}$$

Si le verre est en contact avec l'air, il y a réflexion totale. Si il y a formation d'eau, l'angle de réflexion totale change, et le rayon précédent est transmis et n'est plus guidé dans le verre.

Nous pouvons donc utiliser ce principe pour déterminer la température du point de rosée de l'air : en réalisant un guide d'onde à l'aide d'une lame de verre biseautée afin d'injecter de la lumière à 45° à une extrémité, on fait propager la lumière jusqu'à l'autre bout de la lame dans le cas où la lame est entourée d'air. Lorsqu'on atteint la température du point de rosée (en refroidissant la lame à l'aide d'un module Peltier), il y a formation de buée sur la lame de verre, et une interface verre – eau est donc formée : il n'y a plus réflexion totale (elle est dite « frustrée »), la lumière sort donc du guide d'onde et n'atteint plus la photodiode placée à l'autre extrémité. Quand on perd le signal lumineux, la lame se trouve donc à la température du point de rosée que l'on peut mesurer avec un simple capteur de température.

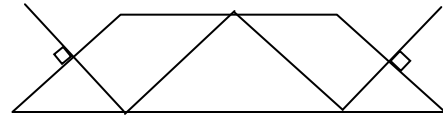


Figure 2: Profil de la lame « guide d'onde »

## IV. ARCHITECTURE DU CANSAT

### A. Partie électronique

TABLEAU 1: LISTING DES COMPOSANTS ELECTRONIQUES

Rôle du composant	Référence du composant choisi	Nb
Pression	<a href="#">FREESCALE SEMICONDUCTOR - MPXV4006DP - IC PRESSURE SENSOR</a>	1
Thermistor	<a href="#">MICROCHIP - MCP9700-E/TO - THERMISTANCE LINEAIRE 10MV/C CMS</a>	2
Hygromètre	<a href="#">MICROCHIP - MCP9700-E/TO - THERMISTANCE LINEAIRE 10MV/C CMS</a>	1
Photodiode de chute	<a href="#">VISHAY - BPV10NF - PHOTODIODE, PIN</a>	1
LED fibrée	<a href="#">AVAGO TECHNOLOGIES - SFH756V - EMETTEUR IR 5MM 660NM</a>	1
Photodiode fibrée	<a href="#">AVAGO TECHNOLOGIES - SFH250V - DETECTEUR FIBRE OPTIQUE. BOITIER V</a>	1
Module Peltier	<a href="#">MULTICOMP - MCPF-031-10-25 - DISSIPATEUR PELTIER 4.5W</a>	1
Microprocesseur	<a href="#">MICROCHIP - PIC18F13K22-I/P - MICROCONT 8 BITS 8K FLASH 16MIPS 20DIP</a>	1
Transceiver	<a href="#">XBEE PRO 2.4 GHz 1 Canal</a>	2
Batterie 9V	<a href="#">ANSMANN - 5030331 - BATTERIE NI-MH 9V 250MAH</a>	2
Régulateur 9V - 3,3V	<a href="#">ON SEMICONDUCTOR - NCP5662DS33R4G</a>	2
Régulateur 9V - 5V	<a href="#">DIODES INC. - ZSR500G - REGULATEUR +5.0V CMS</a>	1

Après l'énergie premier paramètre à prendre en compte est le quantum du CAN. En effet il nous est impossible de repérer des variations de tension inférieure à 5 mV environ. Le

microprocesseur choisi a un CAN sur 10 bits. Le quantum est donc défini par :

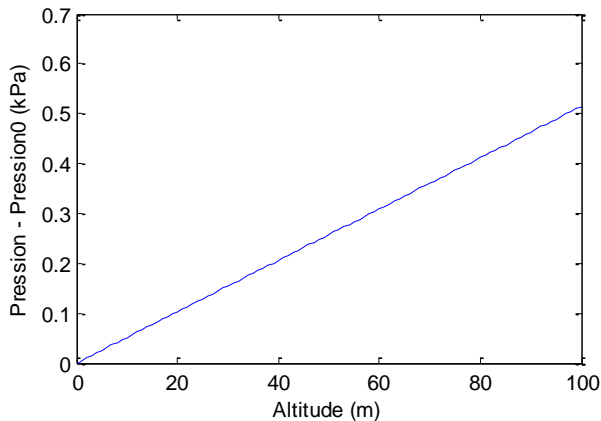
$$q = \frac{5V}{1024} \sim 5mV$$

Il a donc fallu évaluer la variation que les capteurs vont surement expérimentée et en déduire s'ils sont assez sensible.

- *Pression*

La sensibilité du capteur de pression est de 766 mV/kPa environ. A faible altitude les lois de la thermodynamique nous disent que la pression varie tel que :

$$P(h) = P_0 * \left(1 - 0,0065 * \frac{h}{288,15}\right)^{5,25}$$



On a aussi choisi de faire des mesures toutes les demi-secondes. Avec une vitesse d'environ 2m/s. On fait donc une mesure de pression tous les mètre soit une variation entre deux mesures attendu de :

$$V_p = \frac{500}{100} = 5 Pa$$

Ce qui correspond à 4 mV environ. On devrait donc voir une variation uniquement toutes deux mesures ce qui est tout à fait correct.



- *Température*

La sensibilité de notre capteur de température est de 10mV/°C. La mesure de la température environnante ne sera pas très intéressante puisqu'elle ne varie que de 1°C tous les cent mètres environ. On n'aura donc pas vraiment de variation mais il n'y a pas vraiment d'intérêt.

De toute façon il aurait fallu des systèmes électroniques beaucoup plus complexes pour mesurer des variations de 0,01° (variation température sur un mètre). Une autre solution est de réduire les bornes de conversion du CAN pour pouvoir diminuer le quantum de conversion. Le problème majeur est qu'il faut monopoliser deux pattes de plus pour la température sur le CAN en plus de devoir créer physiquement les bonnes références de tension.

Cependant pour la température Optique aucun problème on aura une variation de 25°C à 0°C environ ce qui est largement mesurable. Mais la précision sur le point de rosée sera de 1°C au maximum.



- *Hygrométrie*

La sensibilité de l'hygromètre est de l'ordre de ~ 0,3 V/20 % (min = 0,5 V). On ne risque donc pas de détecter de grande variation. On a donc décidé de réaliser une mise en forme de le sortie de l'hygromètre.



- *Accéléromètre*

Sa sensibilité est d'environ 300 mV/g. On pourra donc détecter des variations jusqu'à environ 0,02 g ce qui devrait être amplement suffisant.



- *Photodiode fibrée*

Après un test expérimental du montage optique nous sommes arrivés à une baisse de flux de quelques dizaines de mV ce qui devrait être repérable.



- *Photodiode de détection de chute*

Cette photodiode devrait permettre de détecter le départ de la chute. Expérimentalement on a une variation de flux de quelques centaines de mV ce qui est largement suffisant.



Sans montrer le détail des routages de nos cartes électronique voici un diagramme plus explicite de l'architecture électronique de notre CanSat :

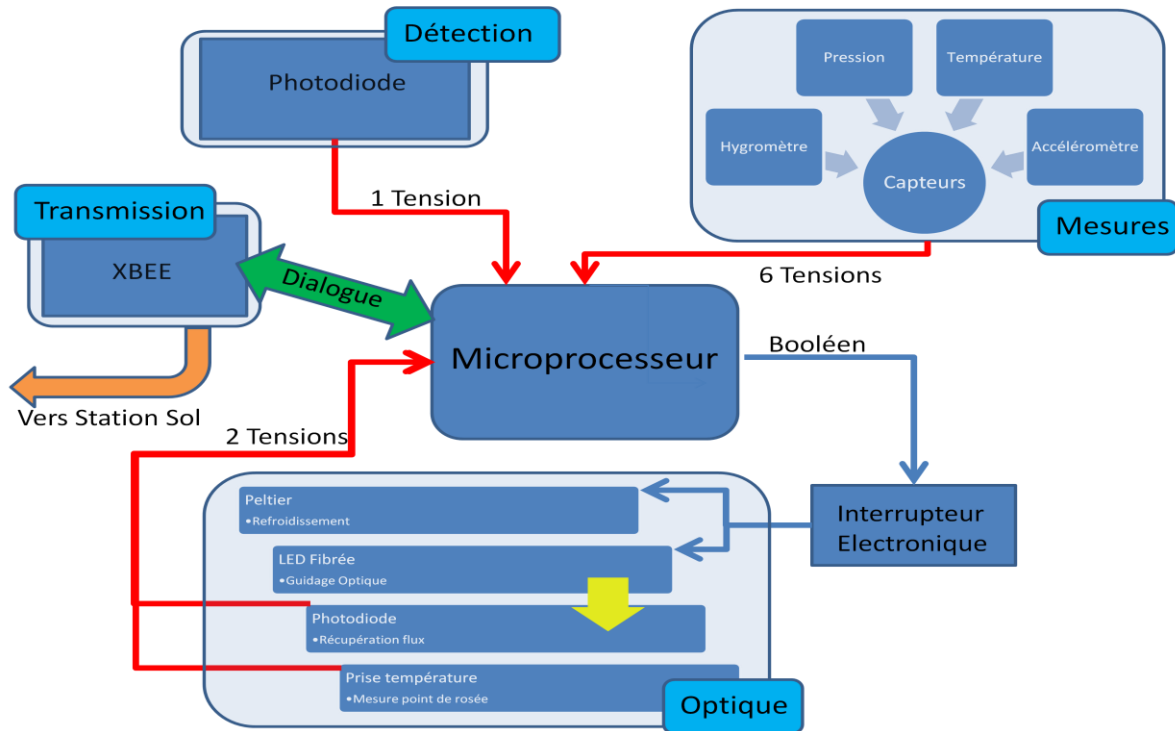


Figure 3: diagramme général

### B. Partie mécanique

La question de l'architecture de cette structure fut prise très au sérieux dès le début du projet car il nous semblait absurde de poursuivre sans s'assurer que notre canette ait une chance de résister à sa mission. Le cahier des charges était relativement concis : il nous fallait une armature à la fois légère et capable de protéger son contenu à l'impact de l'atterrissage.



Figure 4: squelette en dural complet à côté d'une canette

En gros, nous avons deux options de conception. La plus simple consistait à utiliser la largeur et la hauteur de la canette pour y glisser une « grande » plaquette électronique capable de supporter tous les composants. La seconde idée consistait à avoir un sandwich de « petites » plaquettes à la forme et à la dimension de la section de la canette. Ce fut finalement cette dernière option qui a été retenue.

D'abord cette idée de plaquettes en sandwich fait que tous nos composants sont à l'horizontale par rapport à l'orientation de la canette pendant sa chute, ce qui évite qu'un composant se dessoude par cisaillement. Ensuite ces étagères nous permettent d'organiser nos composants selon leur poids et selon leurs fonctions. De plus, cette conception modulaire ne peut que faciliter le montage de l'ensemble. En fait les deux seules contraintes qui nous restent sont : d'avoir des plaquettes de forme circulaire et d'assurer les interconnexions entre toutes ces plaquettes.

C'est au fil de l'avancée du projet que nous attribuons les différents étages, en partant du bas on a : les batteries ; le microprocesseur ainsi que le module de communication RF ; puis les capteurs.

Très rapidement il nous est venu les questions de l'agencement des composants sur paquettes et de l'agencement de ces plaquettes dans le châssis en dural. Pour commencer, nous avons imaginé un système de châssis le plus simple possible puisqu'il s'agit de trois colonnes verticales et équidistantes tenues en place par deux disques un peu épais. L'idée était d'avoir une structure simple faite dans un matériau léger et solide.

Il fallait aussi prévoir un moyen de « suspendre » les différents étages aux 3 colonnes précédentes. Le moyen en question fut un simple épaulement. Effet, il suffisait de prévoir 3 encoches sur chacun des étages pour pouvoir les maintenir par l'intermédiaire des 3 colonnes. D'ailleurs, nous nous sommes longtemps demandé si nous devions prévoir des étages en dural, sur lesquels seraient fixées les plaquettes électroniques, ou si les plaquettes électroniques pouvaient être directement suspendues. En fin de comptes, nous avons adopté la solution la plus simple car les plaquettes sont suffisamment rigides pour tenir toutes seules.

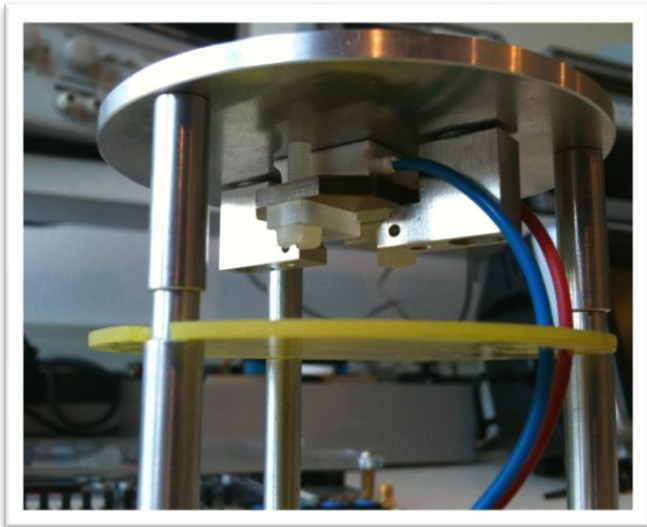


Figure 5: détail du système de support des plaquettes + montage optique

Pour finir, il nous a semblé indispensable de protéger tous les composants des différents étages grâce à une coque cylindrique. Sa fonction consiste donc en un « écran latéral » qui empêche tout élément extérieur solide de déranger l'intérieur de notre CanSat. Ce qui a été retenu est une potion de tube en PVC transparent.

En l'état actuel, le squelette de notre CanSat est complet et s'assemble parfaitement. Nous sommes conscients qu'il nous reste encore peu être quelques finitions qui sont encore plus ou moins à l'étude : amortisseur d'atterrissage, prévu pour être logé sous le disque en dural inférieur ; mousse intérieur, destinée à combler les derniers jeux importants ; bride de fixation du parachute, prévue d'être fixée au-dessus du disque en dural supérieur.

### C. Communication

Le concours nous demande d'avoir un émetteur dans des bandes de fréquence définies. Le XBEE travaille à 2,4 GHz ce qui convient parfaitement. De plus sa puissance d'émission peut être réglée entre 10 et 50 dBm, on la règle donc sur 10 dBm. Il dispose de plus d'un mode « sleep » permettant de réduire sa consommation lorsque cela n'est pas nécessaire.

TABLEAU 2: DONNEES UTILES XBEE

Supply voltage	2,8 - 3,4 V
Operating current	150 mA @ 10 dBm
Sleep Current	< quelques $\mu$ A

Les deux XBEE sont identiques XBEE PRO mais pour celui de la station sol il a été nécessaire de pouvoir le relier facilement à un ordinateur nous avons donc aussi eu besoin d'une plaquette de liaison. Elle permet de récupérer l'état du XBEE via XCTU ainsi que les données qu'il reçoit via HyperTerminal grâce à un câble miniUSB to USB.



Figure 6: adaptateur du XBEE en USB pour liaison avec le PC

## V. CONCLUSION

Actuellement, les parties mécanique et électronique sont terminées et en passe d'être assemblées et testées. Nous pensons que le dernier gros boulot concerne l'insertion des mesures de contrôles dans notre programme, typiquement : l'arrêt d'urgence et le reset. Encore, peut-être, une dernière mise au point concernant l'alignement des fibres avec la lame dans la mécanique de la partie optique. Finalement, la dernière étape avant le jour J sera la fixation du parachute et les premiers lancés...

## REMERCIEMENTS

L'équipe peut désormais compter sur un quatrième membre : Mathieu Durero. Intéressé par le projet depuis le début, il n'a pu nous rejoindre qu'une fois son propre projet terminé.

### Nous tenons fortement à remercier :

Jean-Marie Feybesse, pour avoir proposé ce projet, et pour son aide et son suivi du projet tout au long de l'année.

Thierry Avignon et Cédric Lejeune pour leur disponibilité, leurs compétences et leurs conseils avisés.

Jean Taboury, pour ses conseils pratiques ayant permis le développement du montage optique.

L'atelier de mécanique de l'Institut, pour leurs conseils et pour avoir fait une excellente structure de la canette.

L'atelier d'optique de l'Institut, pour avoir taillé et fourni la lame du montage optique.

Merci à la DGA-EM de nous accueillir sur leur site de Biscarrosse dans le cadre de l'évènement C-Space 2011.