

## X-Rocket

Adam Siegel  
Anton Raël  
Dimitri Assumpçao Scripnic  
Eloïse Letournel  
Lauren Pelletier de Chambure

Pascal Chang  
Robin Gobert  
Aymeric Monnot  
Emmanuelle Guerret  
Corentin Catel

## AstronautiX

2019

### [Résumé]

Notre équipe s'est fixé comme objectif de concevoir la première fusée expérimentale de l'Ecole polytechnique, qui contiendra une expérience de télémesure pour réaliser la trajectographie en temps réel lors du vol. Nous voulions également étudier la faisabilité d'un dispositif de furtivité plasma en vol, c'est pourquoi la fusée a été dimensionnée en vue d'accueillir une expérience plus volumineuse et lourde si besoin. Cela ne sera pas le cas cette année.



*Notre équipe avec la fusée lors de notre soutenance de projet en mai*

## 1 Introduction

Notre projet s'inscrit dans le cadre du cursus polytechnicien de 2<sup>e</sup> année, dans lequel nous devons réaliser un Projet Scientifique Collectif. L'idée de la participation à C'Space nous a été proposée par le club spatial de l'école, AstronautiX. Les dix participants se sont répartis dans les différents pôles comme suit :

- Mécanique : Robin Gobert, Aymeric Monnot
- Système de récupération : Adam Siegel, Eloïse Letournel
- Télémétrie : Anton Raël, Pascal Chang, Dimitri Assumpção Scripnic
- Etude de la furtivité par plasma : Lauren Pelletier de Chambure, Corentin Catel, Emmanuelle Guerret

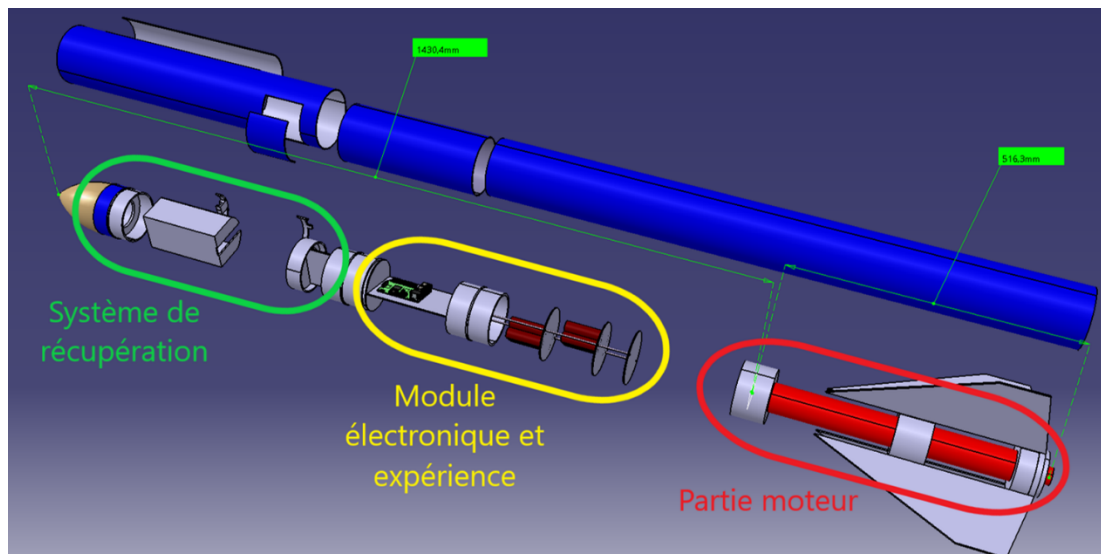
Notre travail a débuté en septembre par l'étude des fusées précédemment réalisées par les autres clubs. Cet état de l'art et l'appropriation des notions et de cahier des charges a duré jusqu'en novembre, où nous avons également fixé le choix de l'expérience.

A partir de novembre et jusqu'en février, nous avons fait évoluer l'architecture de la fusée grâce à un modèle Catia. Nous avons également fixé notre décision sur les composantes de la partie télémétrie (en particulier après la RCE 2).

La phase de fabrication de la fusée a débuté en février et s'est poursuivie jusqu'en mai ; nous avons alors pu entamer la phase des tests des différents systèmes. Durant cette période, le pôle de la télémétrie a mis au point le code et l'installation de l'expérience.

L'équipe affectée au pôle plasma a travaillé en continu sur l'année en laboratoire sur l'absorption des ondes radar par le plasma et les difficultés de l'intégration éventuelle d'un tel dispositif à la fusée.

## 2 Description mécanique



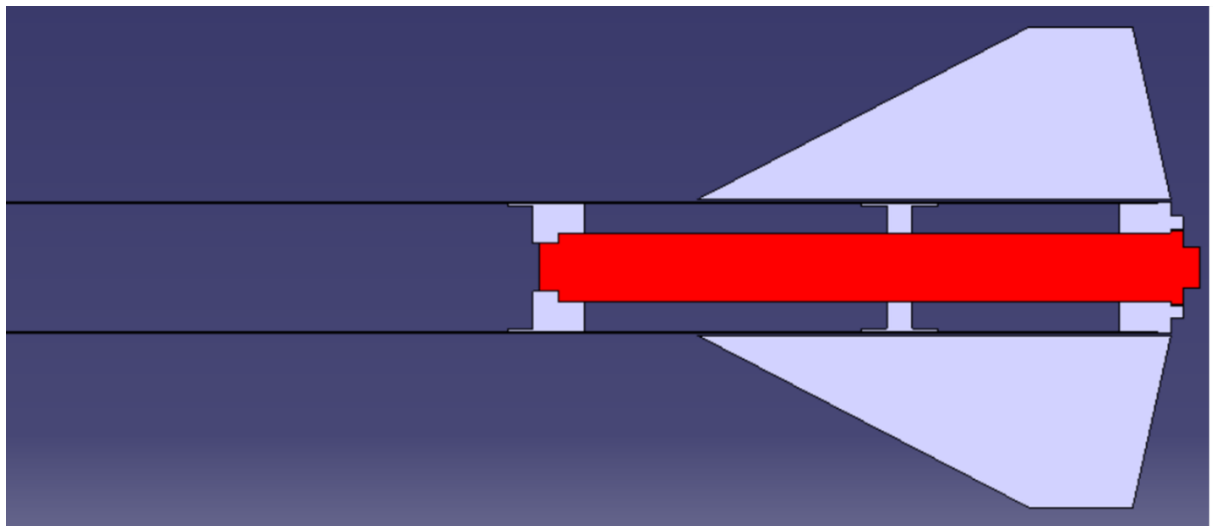
Modèle Catia de la fusée

### *Vue éclatée de la fusée*

Notre fusée mesure 196 cm pour un diamètre de 10 cm. Son corps est composé de trois tronçons de peau porteuse, réalisés en fibre de carbone et résine époxy. Elle contient également sept bagues en aluminium vissées à la peau. La coiffe a été réalisée en plastique à l'aide d'une imprimante 3D. Les ailerons, découpés dans de l'aluminium, sont vissés à la peau grâce à des équerres.

#### Dispositif de propulsion :

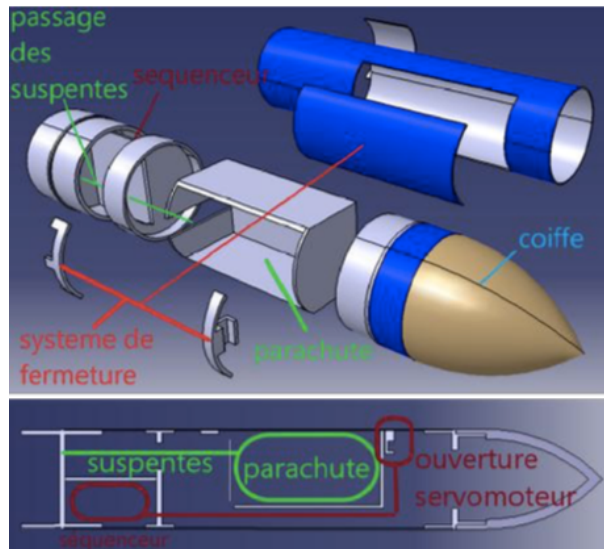
Notre propulseur est le Barasinga Pro-54. La poussée est exercée sur deux bagues à la fois : au-dessus et en-dessous du moteur. Une troisième bague tient le propulseur au milieu et aide à assurer la fixation des ailerons. Au-dessus du propulseur, un espace a été ménagé en vue d'accueillir d'éventuelles batteries pour un dispositif expérimental qui demanderait plus d'énergie que notre expérience de trajectographie.



### *Le dispositif de propulsion*

#### Système de récupération :

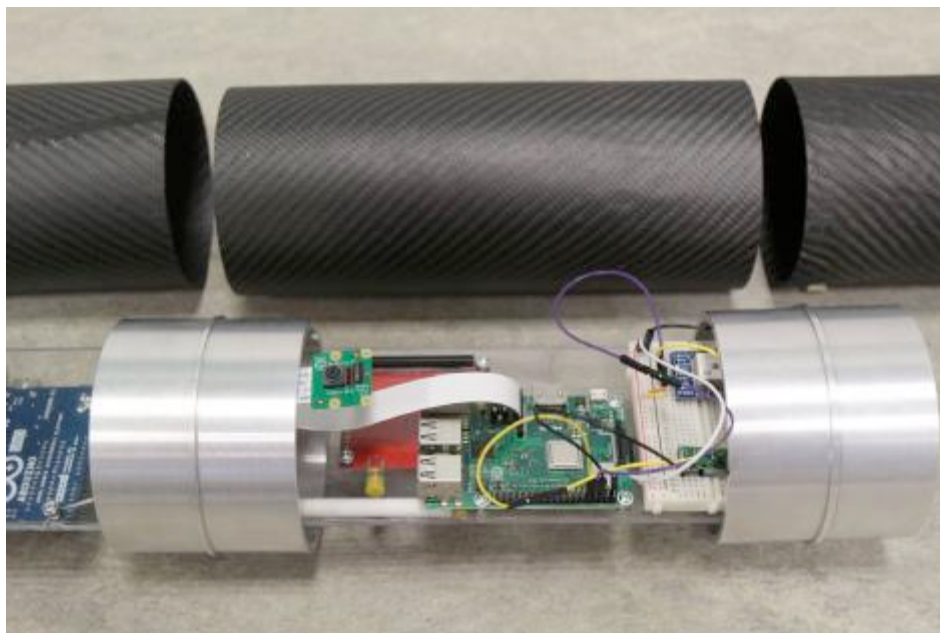
Notre parachute cruciforme en toile de spi est situé dans le compartiment le plus haut de la fusée, juste sous la coiffe. Il est fixé à une bague métallique. Sa surface totale est de 1.7 m<sup>2</sup> ce qui correspond à une vitesse de descente estimée à 10m/s. Dans son compartiment, nous avons découpé une porte (angle de 110°) dans la peau de la fusée. La porte est sous tension, poussée par des ressorts fixés à une plaque en plexiglas. Le loquet qui retient la porte est commandé par le séquenceur, constitué d'un servomoteur relié à une plaque Arduino.



### *Le système de récupération*

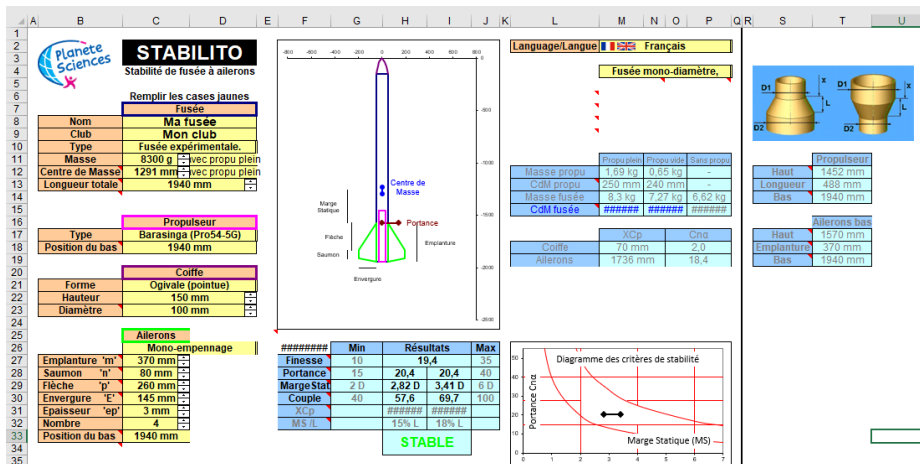
Eléments électroniques :

L'arduino, les breadboards, le Raspberry, la caméra, le GPS et l'émetteur ont été fixés sur des plaques de plexiglas. L'antenne de l'émetteur se trouve dans la coiffe en plastique (car la fibre de carbone ne permet pas le passage des ondes).

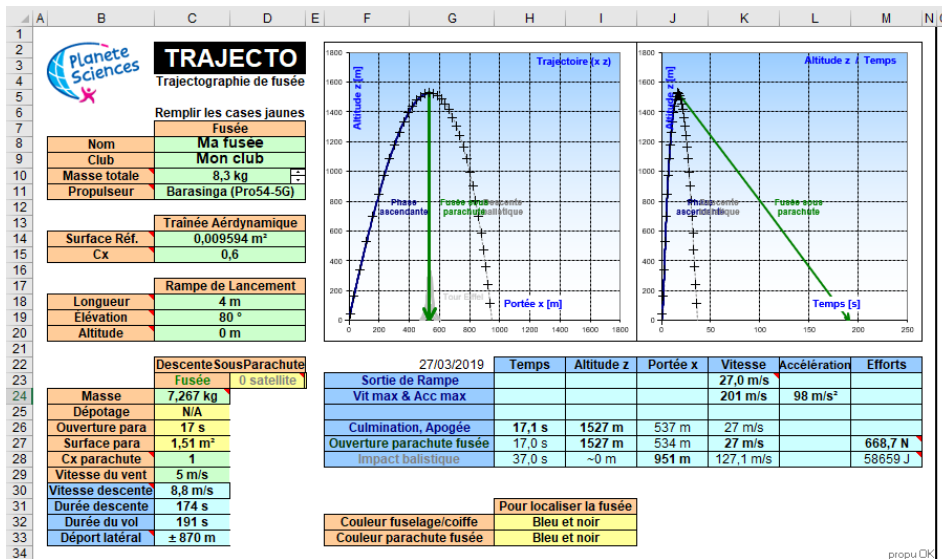


*Intégration grâce à des plaques en plexiglas*

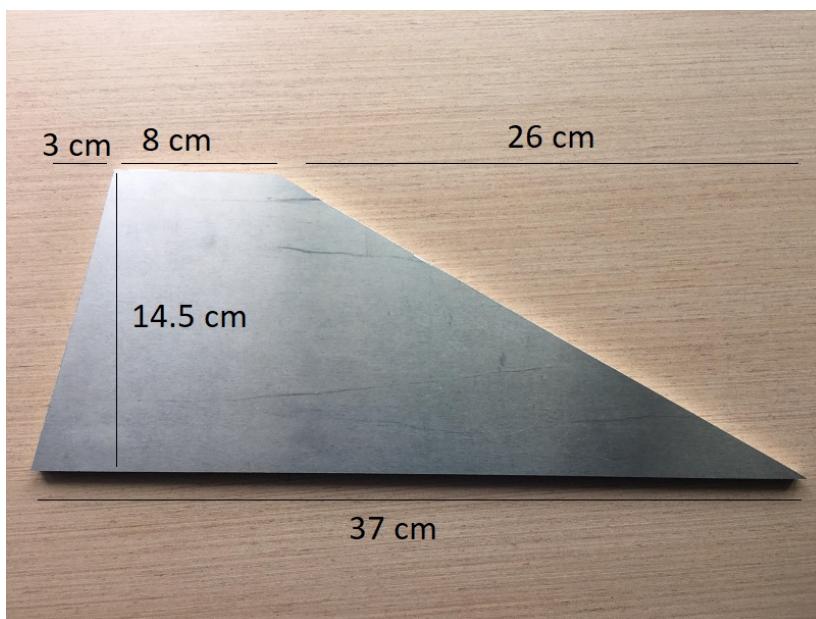
## Stabilité et ailerons :



## La stabtraj de notre fusée



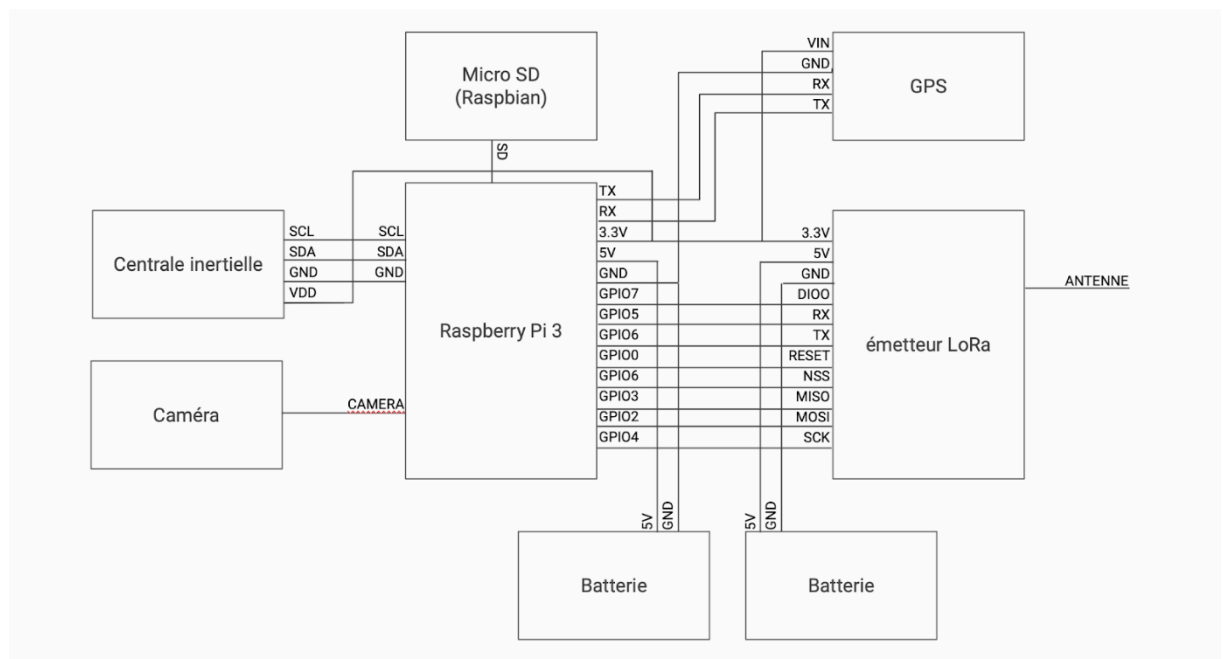
## La trajectoire prévue



Dimensions des ailerons (aluminium)



### 3 Description électronique et informatique



*Aperçu général de l'électronique et des connections entre les cartes*

L'électronique de la partie récupération est constituée d'une carte Arduino court-circuitée tant que la fusée est en rampe. Au moment du décollage, le court-circuit est arraché et le séquenceur devient actif. Une minuterie s'enclenche alors, commandant l'éjection au bout des 17,1s théoriques nécessaires pour atteindre la culmination, en faisant tourner un servomoteur, comme expliqué précédemment.

L'expérience et la télémétrie sont alimentées séparément chacune par un boîtier contenant six piles rechargeables de 1.2V/2800mAh en série associées à un régulateur de tension réglable qui adapte la tension aux 5V requis par le microprocesseur et l'émetteur. Le séquenceur de la partie récupération est quant à lui alimenté par une pile 9V.

Le système d'enregistrement est inclus dans le code source implémenté dans le microprocesseur qui garde à bord une copie des données mesurées (mesures d'accélération, de vitesse angulaire et du magnétomètre) avant de les envoyer par télémétrie. À cause de contraintes au débit d'émission, toutes les données enregistrées à bord ne seront pas nécessairement transmises par la télémétrie.

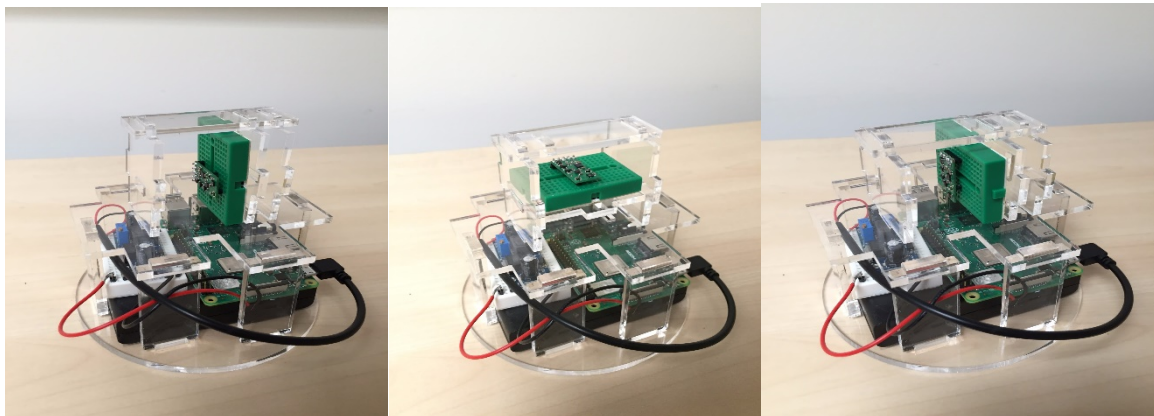
La télémétrie est un aspect non négligeable de l'expérience que nous menons à bord de la fusée, puisque nous voulons suivre la trajectoire de la fusée en temps réel. Elle utilise un couple émetteur-récepteur utilisant la technologie LoRa qui transmet à une fréquence de 869.5MHz. L'émetteur est relié directement au microprocesseur et nous utilisons les fonctionnalités de la librairie C++ qui vient avec celui-ci pour réaliser la transmission des données.

## 4 Expérience

L'expérience a pour objectif principal de valider le vol nominal de la fusée et de connaître par ce biais les caractéristiques de l'environnement dans lequel la fusée évolue en vue d'une expérience embarquant du plasma dans les années à venir. Pour y parvenir, nous mesurons les accélérations et les vitesses angulaires de rotation de la fusée suivant les trois axes afin d'en déduire la trajectoire du vecteur (donc sa position dans le repère terrestre). La mesure du champ magnétique nous permet de fixer l'orientation des axes du repère terrestre. Ces mesures sont effectuées grâce à une centrale inertielle numérique embarquée connectée au microprocesseur.

L'accélération sera comprise d'après le stabtraj entre 0 et 10g. La vitesse de rotation maximale estimée est de 4 tours/s soit 240 tours/min autour d'elle-même.

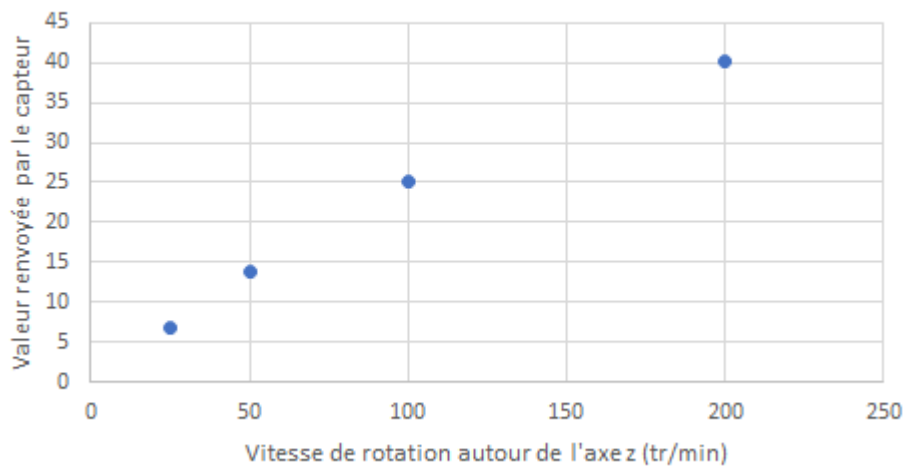
L'accéléromètre est étalonné suivant le protocole standard qui consiste à noter les valeurs prises par le capteur en position horizontale dans les deux sens, et en verticale suivant les trois axes. Pour le gyromètre, nous avons réalisé un montage à base circulaire qui a permis de placer le capteur (ainsi que le microprocesseur et la batterie) sur un tour du laboratoire de mécanique des solides, ce qui nous a permis d'obtenir une courbe d'étalonnage à partir de quatre vitesses de rotation différentes allant de 25 tours/min à 200 tours/min, et ce suivant les trois axes. Le montage permettait en effet de placer le capteur dans trois dispositions différentes.



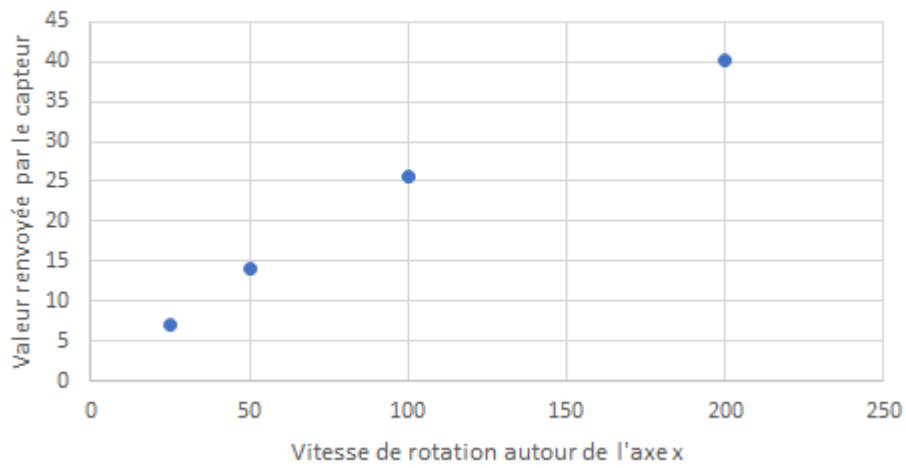
*Dispositif utilisé pour l'étalonnage du gyromètre*

Nous avons ainsi pu obtenir les courbes d'étalonnage suivantes autour des trois axes :

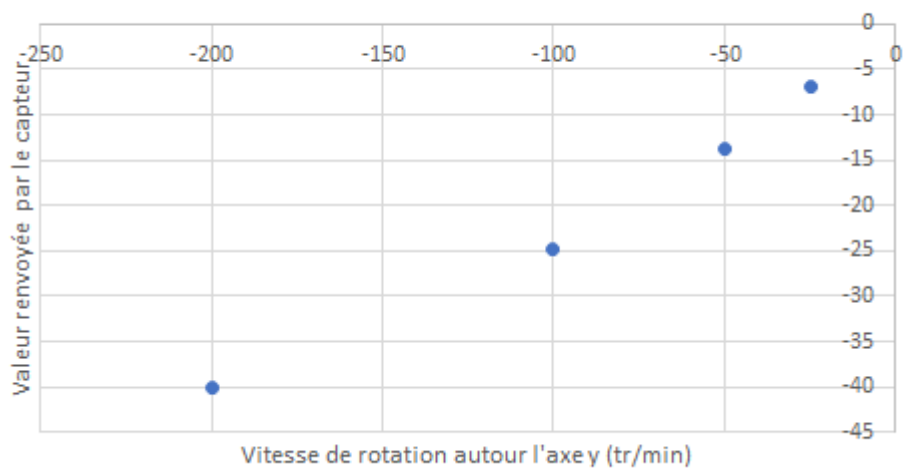
Courbe d'étalonnage de l'axe z



Courbe d'étalonnage de l'axe x



Courbe d'étalonnage de l'axe y





Enfin, le magnétomètre est calibré grâce à un programme déjà intégré dans la librairie. Le champ magnétique ne servant qu'à bien orienter le nord du repère terrestre, sa mesure n'influe pas sur la forme de la trajectoire à proprement parler.

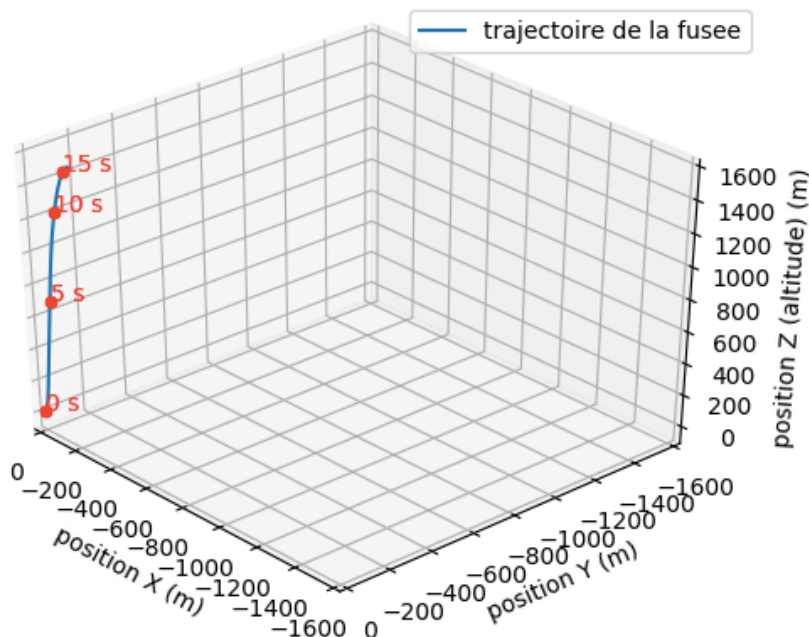
## 5 Déroulement du vol

La fusée X-Rocket a décollé de la rampe de lancement Menhir le vendredi 19 juillet 2019 à 10h12. Après une ascension de 17 secondes dans un ciel immaculé, l'ouverture du parachute s'est déclenchée à l'apogée de sa trajectoire, soit une altitude de 1528m au-dessus du sol. La fusée s'est posée sans encombre près de la route au bout de trois minutes de vol nominal. A l'arrivée, notre fusée était tout à fait intacte. Seule l'alimentation de l'expérience s'était détachée, sûrement lors du choc à l'atterrissage.

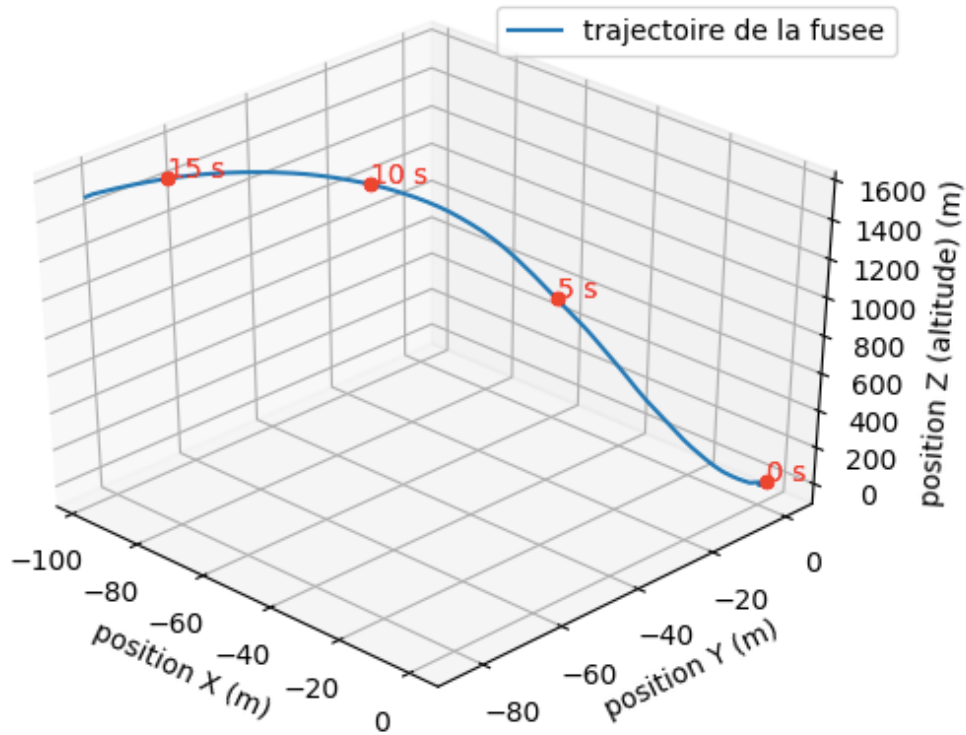
## 6 Résultats

Les différentes parties de l'expérience ont très bien fonctionné : mesures par la centrale inertielle, calcul de la position, envoi au sol par télémesure, prise de vue vidéo.

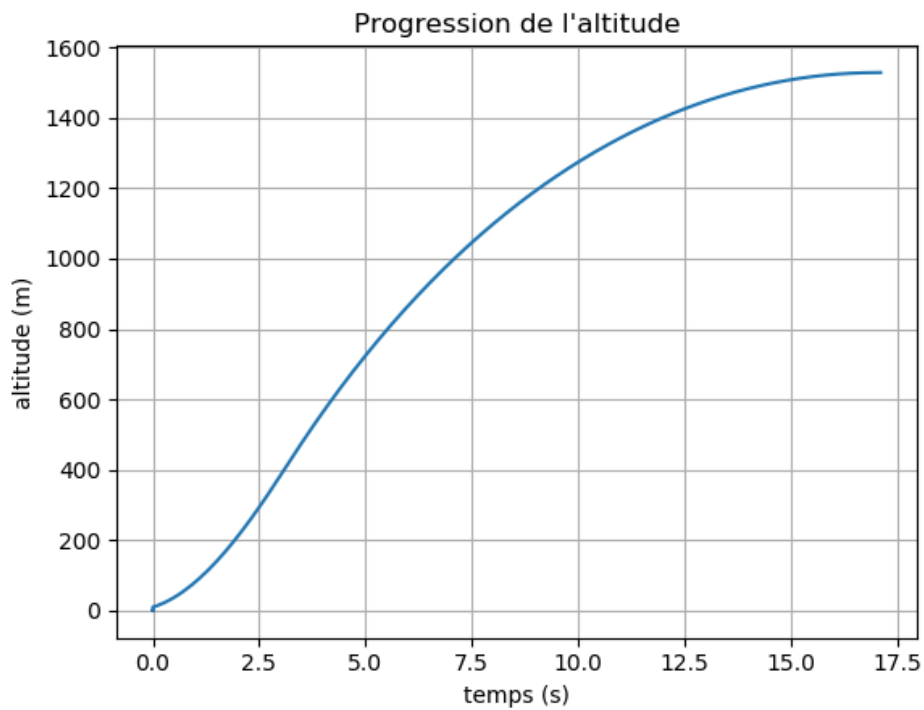
Les mesures par la centrale inertielle ont commencé dès l'allumage de l'expérience. Après avoir détecté une accélération supérieure à 5g pendant 500ms, correspondant donc à la phase de décollage, le calcul de la position à partir des accélérations et des vitesses de rotation a débuté, amenant à une apogée de 1528m en 17,1s. Les calculs théoriques du stabtraj donnaient une apogée de 1527m en 17,1s : nos mesures expérimentales confirment donc ces calculs.



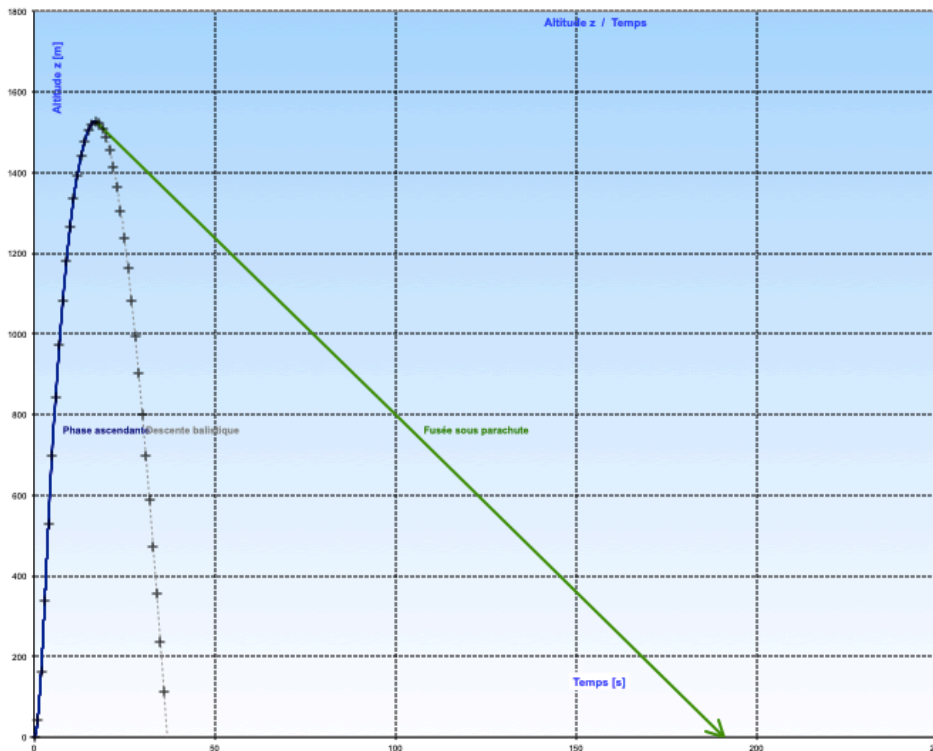
*Vue 3D de l'ascension de la fusée*



*Vue 3D de l'ascension de la fusée*



*Evolution de l'altitude en fonction du temps lors de l'ascension*



*Evolution théorique de l'altitude en fonction du temps*

Ces données pourront donc être utilisées pour mieux connaître l'environnement dans lequel le plasma absorbant les ondes radars doit être produit.

Les résultats dans la phase de descente ne sont cependant pas fiables, car ils donnent une altitude finale de -500m alors qu'elle devrait être proche de 0m. Ceci peut être dû au fait que lorsque l'accélération mesurée atteint une valeur très élevée, elle ne revient pas à zéro après mais garde une valeur non nulle — nous avons observé cela lors de nos expérimentations. Ainsi, ayant atteint des valeurs de plusieurs g lors de la phase de montée, l'accélération ne donne plus des valeurs correctes pour la phase de descente. Par ailleurs, le phénomène de dérive, dû à l'erreur sur l'accélération que l'on intègre deux fois, est négligeable pendant la phase de montée devant les accélérations considérées, mais ne l'est plus sur la phase de descente, ce qui pourrait expliquer ces valeurs incohérentes. Dans l'optique de l'utilisation de ces données pour connaître les conditions de vol pour le plasma, ce n'est cependant que la phase de montée qui nous intéressait.

## 7 Conclusion

Cette fusée était donc une première pour l'Ecole polytechnique. L'ampleur du projet nous a un peu désarçonnés au départ, d'autant que nous souhaitions initialement intégrer un générateur de plasma dans la fusée. Nous avons cependant bénéficié des conseils de personnes plus expérimentées (l'ESTACA et Planète Sciences notamment) qui nous ont permis de réaliser notre propre fusée. Après avoir décidé d'abandonner le plasma pour cette première année, nous avons choisi une expérience plus classique de trajectographie et réception en direct des données par télémesure. Celles-ci, en parfait accord avec les résultats théoriques, nous donnent une excellente base de données pour

mieux comprendre les conditions dans lequel le plasma se trouvera s'il est intégré à la fusée. L'année prochaine, le projet sera repris par nos successeurs, dont trois d'entre eux sont venus à la campagne de lancement et ont ainsi de bonnes bases pour se lancer dans leur fusée, laquelle devrait abandonner complètement l'idée du plasma pour envisager vers la conception d'une bi-étage.

*Merci à nos tuteurs Ruben di Battista et Nicolas Hanappier qui nous ont suivis et conseillés tout au long de l'année, ainsi qu'à tous ceux qui nous ont soutenus en particulier pendant la campagne de lancement !*