

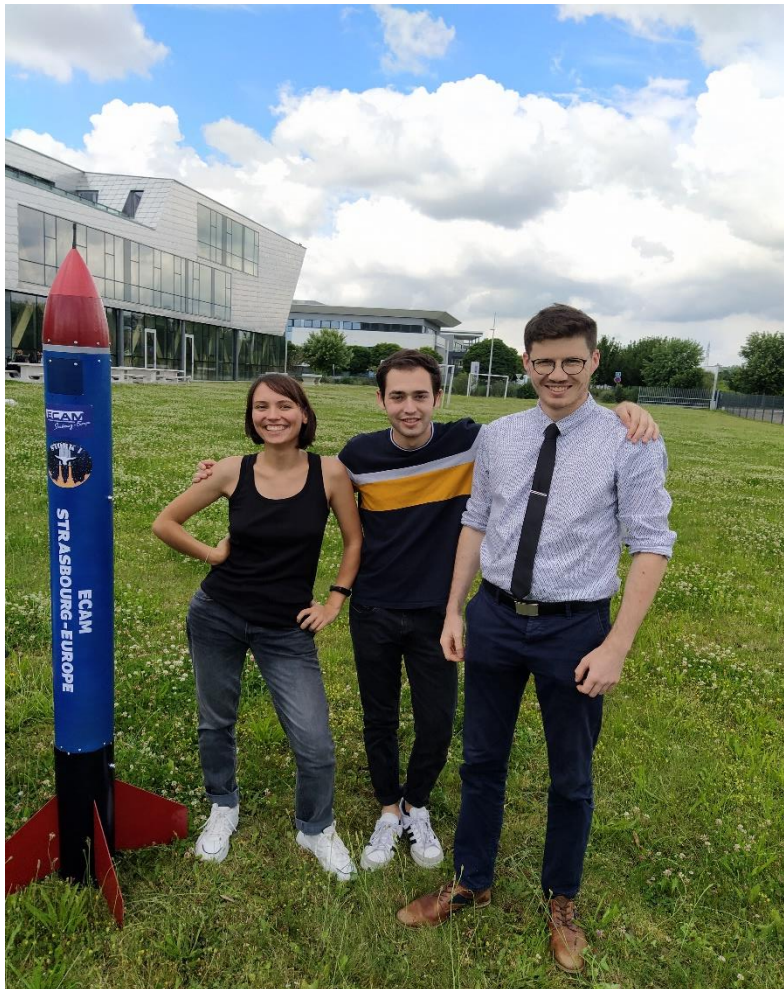
Stork 1

Erwan LUCAS – Maël CHARLOT – Denisa Mihaela SERBAN

ECAM Strasbourg-Europe

2019

Stork 1 est la première fusée expérimentale de l'ECAM, elle a pour but de réaliser deux expériences : un guidage de la fusée en temps réel, et une transmission d'information pendant le vol à la station sol. La fusée a effectué un vol nominal, le guidage s'est effectué sans considérer les données GPS (dérogation) et les données transmises étaient saccadées.



1 Introduction [7-8 lignes]

- Contexte du projet (en club, projet d'étude, autres, ...)
- Nombre de personnes participantes & fonctions (méca, elec, info, logistique, ...)
- Organisation du projet et des tâches à réaliser (description du planning)
- D'où viennent l'idée de la fusée et de l'expérience ?

Dans le cadre de la démarche *learning by doing*, l'ECAM Strasbourg-Europe s'est rapproché du milieu aérospatial grâce à l'initiative PERSEUS du CNES. Grâce à cette collaboration, des projets tels que des ballons sondes ou des CanSat ont pu émerger au fil des années. En 2019, M. Chabrol l'un des professeurs en charge des projets technique de 4^{ème} année de cycle ingénieur décide d'initier le projet Stork 1. Depuis 2019, c'est 10 étudiants qui se sont succédé pour mener à bien ce projet. Initié lors d'un projet technique, repris par des stagiaires et poursuivi par des étudiants dans leur projet de recherche et développement, le projet se voit concrétiser par une seconde équipe de stagiaire en 2021.

2 Description mécanique [> 10 lignes + plans + photos]

- Aperçu général de la fusée (forme, matière pour la peau, peau porteuse ou non, ...) Inclure un plan général avec la répartition des éléments dans la fusée
- StabTraj & forme des ailerons
- Système de récupération (parachute ou un autre système, forme, taille)
- Supports mécaniques des cartes électroniques
- Faire un résumé de chaque système mécanique important

La coque est en fibre de verre et n'est pas une peau porteuse. Cette solution est intéressante car elle est un bon compromis entre solidité, prix, et usinage. Le prix étant aux alentours de 200€, cela reste abordable. De plus, le découpage de la coque avec une Dremel diamant réduit le temps de découpe et augmente la précision. La coque a su résister à une défaillance du propulseur, et à résister à l'impact au sol d'un vol nominal.

Les ailerons ont été commandées à une entreprise tierce, et leurs peintures posées à l'ECAM. Lors du C'Space, il nous a été recommandé de poser des bandes de scotch semi-épais (type scotch d'électricien) sur le bord supérieur des ailerons afin de ne pas abimer les suspentes lors du déploiement du parafoil.

L'utilisation d'un drogue (parachute utilisé pour le déploiement du parafoil) a été fortement conseillé lors de la RCE3. Le drogue est attaché à un sac contenant le Parafoil, et ce sac est attaché à la fusée à l'aide d'une suspente. Pendant le vol de Stork 1, lors du déploiement du parachute, la couture tenant le sac n'a pas tenu.

Le parafoil, lorsqu'il est dans la fusée, se situe dans une cage en aluminium, et est propulsé à l'aide d'une plaque en aluminium. Après plusieurs utilisations, la cage est intacte, et la plaque de poussée a subi des déformations. Ces déformations sont dû aux élastiques et à la force exercée sur ladite plaque. En effet, la forme générale de la plaque a été conçu pour supporter des efforts de flambement, mais les diverses autres manipulations de la plaque ont arrondi sa forme. Les élastiques sont des élastiques de camping utilisés pour les sardines des tentes.

La porte du parafoil fonctionne avec un système de loquet. Ces loquets sont attaché à des servos moteurs, eux-mêmes contrôlés par une carte Arduino.

Nous avons rencontré un problème de centre de masse. En effet, pour optimiser l'utilisation du parafoil, le centre de masse de la fusée doit être positionné au milieu des deux freins, ce qui n'était pas le cas lors de la RCE3. Nous ne pouvions pas changer toute la structure internes de la fusée aussi, nous avons opté pour un ajout de poids au sommet de la fusée. Le disque maintenant la coque et la structure interne se situant au sommet de la fusée était initialement en aluminium de 400g, a été remplacé par un disque en acier de trois kilos.

La partie mécanique du guidage du parafoil a résisté au décollage, au guidage du parafoil et à l'atterrissage. Elle est faite en quasi-totalité de PLA. Deux servos moteurs, par le biais d'engrenages imprimé en 3D, guident les suspentes de frein du parafoil.

Le système électronique est réparti dans la fusée. La carte Arduino contrôlant la minuterie et l'ouverture de la porte se trouve en bas. L'électronique du GNC se situe entre la coiffe et la cage du parachute, quant à la télémétrie, elle se trouve dans la coiffe. L'ensemble des supports des composants électroniques sont fait en PLA et leur tenue mécanique a été testé sur SolidWorks.

3 Description électronique et informatique [*> 10 lignes + des plans et des photos*]

- Aperçu général de l'électronique et des connections entre les cartes (combien de cartes sont utilisées, comment sont-elles reliées)
- La minuterie (quel type de carte : carte maison, Arduino, autres et comment contrôle-t-elle le système de récupération, détection du décollage, ...)
- Alimentation électrique de la fusée (piles, batterie, carte d'alimentation)
- Système d'enregistrement à bord (si présent)
- Télémessure (si présente)

Le système électronique de la fusée utilise 2 Raspberry et une carte Arduino. La GNC et la minuterie sont reliées électriquement. Cela n'aurait pas dû être fait, mais une dérogation lors du C'Space nous a été faite. Le système est alimenté par 4 piles 9V et 2 batteries rechargeable.

Pour pouvoir détecter l'envol de la fusée, la minuterie est relié à un câble jack. Ce câble étant attaché à la rampe de lancement, la séparation du jack avec le système électrique initialise la minuterie interne. La minuterie et l'ouverture de la porte est géré par une carte Arduino. Il a été choisi de considérer la broche analogique comme une broche numérique, de souder la masse avec le plus à l'autre extrémité du jack pour relier les GND de la prise jack femelle entre elle, et de mettre une résistance et un condensateur en parallèle entre la broche de l'Arduino et la masse. Cette dernière installation évite les tensions type bruits dans la broche analogique.

Le module télémétrique utilise, comme le système électronique du GNC, un Raspberry est une Navio2. Une solution avec une carte Arduino et des composants électroniques a déjà été testé et mise en place. Les données de vol étaient enregistré dans le Raspberry de la télémétrie, et transmettent à la station sol via une XBee.

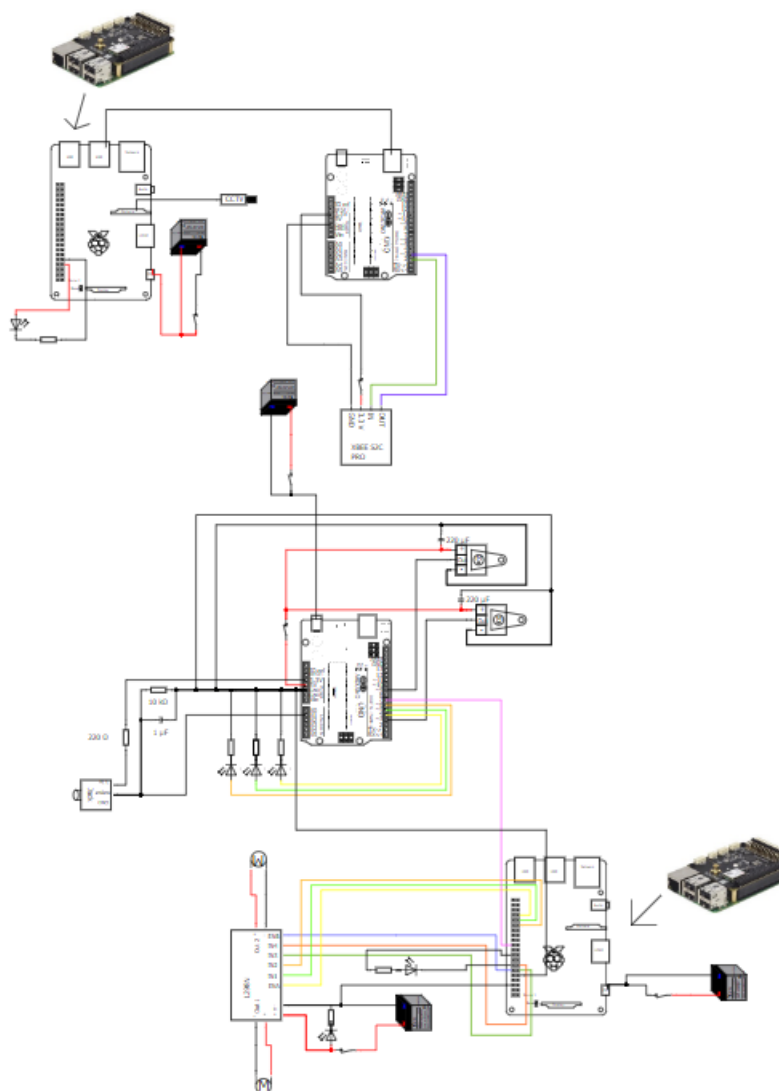


Figure 1 : schéma électrique de Stork 1

4 **Expérience** [*> 10 lignes + courbes étalonnage + photos + plans des capteurs*]

- But de l'expérience => à quelle question scientifique voulez-vous répondre ?
- Quels paramètres sont mesurés (pression, température, ...) ? Avec quel système de mesure ? (Tube Pitot, thermomètre, ...)
- Plage de valeurs estimées avant expérience
- Etalonnage des capteurs (méthodologie et courbe d'étalonnage) et erreurs de mesure

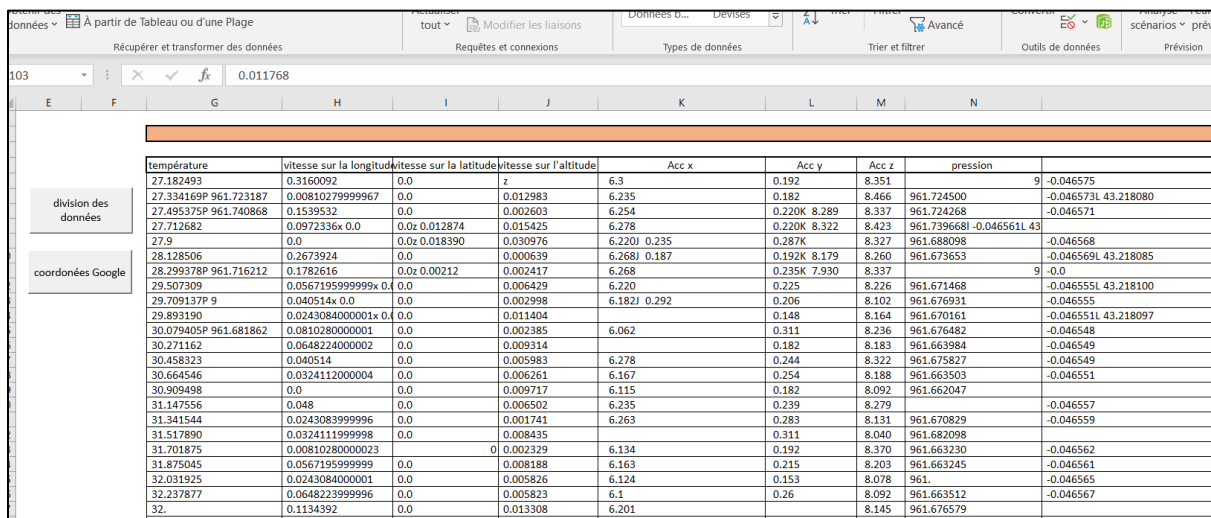
Deux expériences ont été réalisées lors du vol : le guidage de l'atterrissage de la fusée à l'aide d'un parafoil, et la transmission de données de vol à une station sol durant la phase de vol. La première expérience répond à la question : comment peut-on guider une fusée lors d'un vol expérimental, et la seconde à la question : comment peut-on transmettre des informations de vol lors d'un vol expérimental.

Lors de l'atterrissage de la fusée, il était question de diriger la fusée grâce aux coordonnées GPS mesuré avec la Navio2 (shield de la Raspberry). Un problème technique lors du C'Space nous a contraint de ne pas se fier à ces données, et de pré-enregistrer des ordres pour guider la fusée.

La télémétrie est commandé par un autre Raspberry, et reçoit également des données de vol provenant d'une Navio2. Les données sont la température, la pression, l'accélération, les coordonnées GPS et la vidéo de vol. Toutes ces informations sont enregistré dans la carte Raspberry et transmise (sauf les vidéos du vol) à la base via un module XBee.

5 Résultats

Les données enregistrées à partir de l'interface Processing sont enregistrées dans un fichier texte qui doit être traité. Le traitement se fait sur un fichier Excel. Des macros et un guide d'utilisation aident à trier les données. Le résultat de cette triage est visible sur l'image ci-dessous. Ces données auraient servi à déterminer la position de la fusée pour la récupérer(vol balistique, atterrissage en zone interdite...), ce qui n'est pas le cas. Les données de vol ont pu être récupérées et traitées.



température	vitesse sur la longitude	vitesse sur la latitude	vitesse sur l'altitude	Acc x	Acc y	Acc z	pression
27.182493	0.3160092	0.0	z	6.3	0.192	8.351	9
27.334169P 961.723187	0.00810279999967	0.0	0.012983	6.235	0.182	8.466	961.724500
27.495375P 961.740868	0.1539532	0.0	0.002603	6.254	0.220K 8.289	8.337	961.724268
27.712682	0.0972336x 0.0	0.0x 0.012874	0.015425	6.278	0.220K 8.322	8.423	961.739668 -0.046561L 43
27.9	0.0	0.0x 0.018390	0.030976	6.220I 0.235	0.287K	8.327	961.688098
28.128506	0.2673924	0.0	0.000639	6.268I 0.187	0.192K 8.179	8.260	961.673653
28.299378P 961.716212	0.1782616	0.0x 0.00212	0.002417	6.268	0.235K 7.930	8.337	9
29.507309	0.0567195999999x 0.0	0.0	0.006429	6.220	0.225	8.226	961.671468
29.709137P 9	0.040514x 0.0	0.0	0.002998	6.182I 0.292	0.206	8.102	961.676931
29.893190	0.02430840000001x 0.0	0.0	0.011404		0.148	8.164	961.670161
30.079405P 961.681862	0.0810280000001	0.0	0.002385	6.062	0.311	8.236	961.676482
30.271162	0.0648224000002	0.0	0.009314		0.182	8.183	961.663984
30.458323	0.040514	0.0	0.005983	6.278	0.244	8.322	961.675827
30.664546	0.0324112000004	0.0	0.006261	6.167	0.254	8.188	961.663503
30.909498	0.0	0.0	0.009717	6.115	0.182	8.092	961.662047
31.147556	0.048	0.0	0.006502	6.235	0.239	8.279	-0.046557
31.341544	0.0243083999996	0.0	0.001741	6.263	0.283	8.131	961.670829
31.517890	0.0324111999998	0.0	0.008435		0.311	8.040	961.682098
31.701875	0.00810280000023	0	0.002329	6.134	0.192	8.370	961.663230
31.875045	0.0567195999999	0.0	0.008188	6.163	0.215	8.203	961.663245
32.031925	0.0243084000001	0.0	0.005826	6.124	0.153	8.078	961
32.237877	0.0648223999996	0.0	0.005823	6.1	0.26	8.092	961.663512
32.	0.1134392	0.0	0.013308	6.201		8.145	961.676579

Figure 2 : tableau de valeurs triées

Une fois les valeurs triées, nous avons pu afficher la température et la pression sous forme de graphique.

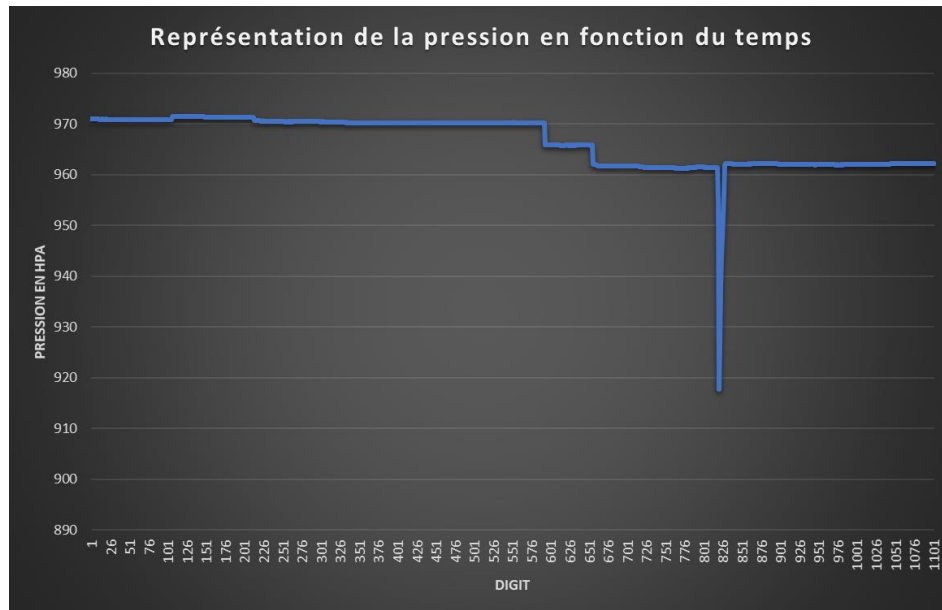


Figure 3 : Représentation de la pression en fonction du temps

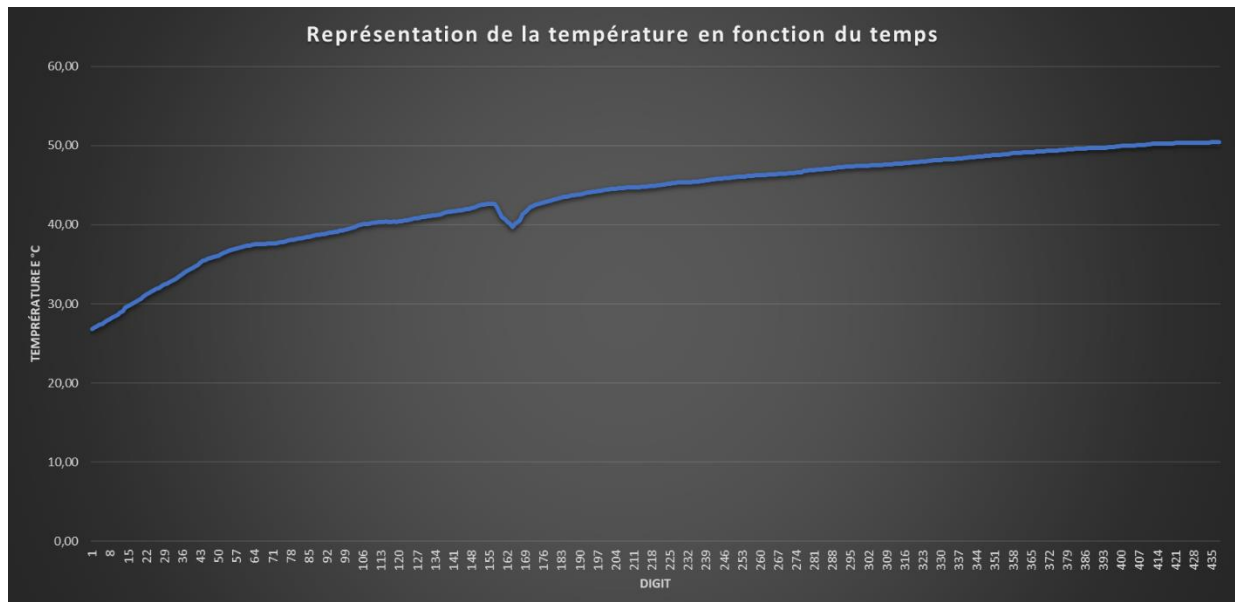


Figure 4 : Représentation de la température en fonction du temps

Les données sont lisibles et analysables. Nous comprenons que la température dans le nez de l'appareil n'a pas cessé d'augmenter durant toute la phase expérimentale. Nous pensons que cela est pluricausale. En effet, la carte électronique, le soleil et le manque d'aération ont joué un rôle important. Le capteur provient du Shield Navio2 de la Raspberry Pi de la télémétrie, de ce fait le capteur mesure avant tout la température du système électronique. Les futurs vols pourront mesurer la température générale de la fusée ainsi que la température du système électrique.

Il est possible de déduire de la pression l'altitude atteinte en calculant la différence entre la pression pré-vol et la pression enregistrée à l'apogée. Pour obtenir les bonnes altitudes, nous utilisons l'expression suivante : $P = P_0 \cdot e^{-\frac{\mu \cdot g \cdot h}{RT}}$. Nous avons rencontré beaucoup de problèmes avec les vitesses calculés. Nous pensons que pour assurer la fiabilité du système, d'autres capteurs doivent être utilisés lors des prochains vols.

Calculer la pression atmosphérique

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{\mu \cdot g \cdot h}{RT}}$$

Calcul de la pression atmosphérique à une altitude donnée.
Saisir 'x' dans le champ à calculer.

Résultat

$x = 8.493548 \cdot 10^2$ m (mètre)

Pression (P)	91776	Pa (pascal) ▼
Press. niv. mer (P_0)	101325	Pa (pascal) ▼
Altitude (h)	x	m (mètre) ▼
Température (T)	20	°C (degré celsius) ▼
Format résultat	Notation scientifique ▼	

Figure 5 : Site et formule de conversion de la pression en altitude

La différence entre la pression au sol et la pression à l'apogée nous indique une altitude de 397,4 mètres. C'est bien inférieur à la prévision faite par l'outil de calcul Stabtraj de l'association « planète sciences ». Ce tableur Excel nous donne une estimation de la hauteur atteinte de la fusée lors de son vol en fonction de différents paramètres comme le poids, la taille, le type de rampe etc... Leur prévision était de 540 mètres. Cette différence d'altitude provient, selon nous, de la défaillance du propulseur. Ce problème nous a été confirmé par les membres de planète sciences, mais aussi par le retour vidéo de la caméra embarqué dans la fusée. On nous a expliqué que cette défaillance a réduit la hauteur maximale de la fusée. Cela n'est pas de notre faute mais du fournisseur en propulseur du CNES. Nous ne pouvons donc pas corriger cette erreur.

En revanche, l'altitude estimée et atteinte de la fusée sont loin de nos espérances. Cela est dû à la mauvaise gestion de la masse dans la fusée. Des solutions tardives et non optimisées pour ce type d'application ont été choisies. Lors des prochains développements des fusées STORK, ce facteur sera étudié plus en détail.

La localisation GPS est également lisible, et nous a permis de retracer un trajet de la fusée cohérent avec ce qui a pu être observé lors du vol. Même si les données nous donnent une vue d'ensemble du vol, les positions enregistrées manquent de précision. Lors des prochains vols, une optimisation de la localisation GPS devra être faite.

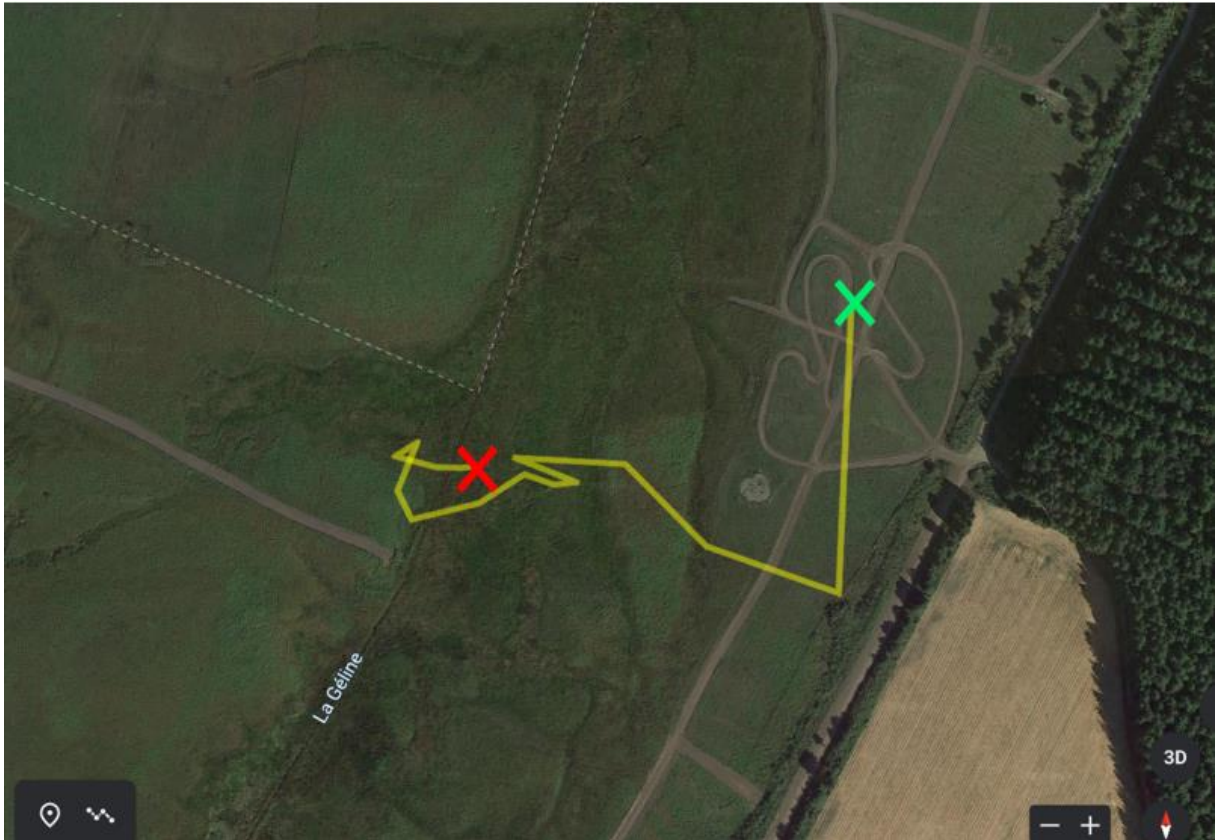


Figure 6 : Représentation des déplacements de la fusée sur google earth

Nous remercions le CNES ainsi que l'initiative PERSEUS pour nous avoir financé durant ce projet.