



Document de conception Fusée NAONED-I

Raynald DUMAS, Tanguy SUBTIL, Aubin BEUNARD, Bryan LEVY

19/10/2025

Version	Date	Note	Auteur
1.0	19/10/2025	Initial	EQUIPE NAONED-I

TABLE 1 – Historique du document

Ce document a pour objectif de présenter le travail réalisé sur la fusée NAONED-I. Il permettra également aux autres clubs de s'inspirer du travail réalisé.

Table des matières

1	Présentations	4
1.1	Association	4
1.2	Fusée	4
1.3	L'équipe	4
2	Architecture mécanique	5
2.1	L'ogive	5
2.2	La partie électronique	5
2.2.1	Support de batteries	6
2.2.2	Le rack	6
2.3	Système de récupération	7
2.4	Logement moteur	7
3	Architecture de l'expérience	10
4	Architecture électronique	11
4.1	Première année : la volonté de faire soit même	11
4.1.1	Objectifs	11
4.1.2	Présentation du système	11
4.2	Deuxième année : la simplification du système	14
4.2.1	Objectifs	14
4.2.2	Présentation du système	14

5	Développement de la station de sol	16
5.1	Les débuts du projet	16
5.2	Architecture de la station de sol	16
5.2.1	Réception des données	16
5.3	Application Web	16
5.3.1	Les vues	16
5.3.2	Les bibliothèques utilisé	18
5.3.3	Fonctionnalité secondaire	18
5.3.4	Exécution de la station de sol	18
6	Déroulement du vol	19
7	Traitement post vol	20

Remerciements

Nous souhaitons remercier nos partenaires qui nous ont suivis pour ce projet : RS France, Micro-chip Nantes, Altium designer, Polytech Nantes ainsi que l'université de Nantes.

1 Présentations

1.1 Association

Fondée en 2023 à Polytech Nantes, Nantes Space Systems est l'association de l'air et de l'espace de l'Université de Nantes. Son but est la promotion des domaines de l'air et de l'espace auprès des étudiants du campus de Nantes et ce par le biais de projets, de sorties pédagogiques et d'évènements. Parmi toutes ces activités, la principale est la conduite et la réalisation de projets fusées étudiantes avec pour objectif un lancement lors de la campagne C'Space. Cette année marque le début des activités de l'association.

Actuellement, 1 projet de fusée expérimentale étudiante a volée de manière nominale au C'Space 2025.

1.2 Fusée

NAONED-I est un projet de fusée expérimentale qui a pour but principal de mesurer sa vitesse avec un tube de pitot. Cette mesure précise de la vitesse permettra post vol d'étalonner notre mesure de vitesse par un capteur.

1.3 L'équipe

Le projet s'est organisé sur deux ans, l'équipe a été renouvelée entre les deux années. Ainsi :

Equipe 2023-2024 *Equipe mécanique :*

- SAMSON Théo (4A)
- ALLAIRE Antoine (4A)
- GERST Clément (3A)
- CHABAUTY Paul (3A)

Equipe électronique

- CHAMBONNIERE Baptiste (5A)
- GALERAS Maxence (5A)
- MARIE Adam (3A)
- DUMAS Raynald (3A)
- GUILLAUME Benjamin (4A)

Equipe 2024-2025 : *Equipe mécanique*

- SUBTIL Tanguy (3A)
- BARATTE Kathleen (3A)
- BEUNARD Aubin (3A)
- CHABAUTY Paul (4A)

Equipe électronique

- MESNIL Alexis (3A)
- CHARBONNIER Pablo (3A)
- DUMAS Raynald (4A)

Equipe Informatique (Station Sol)

- LEVY Bryan (3A)
- BALLY Samuel (4A)

2 Architecture mécanique

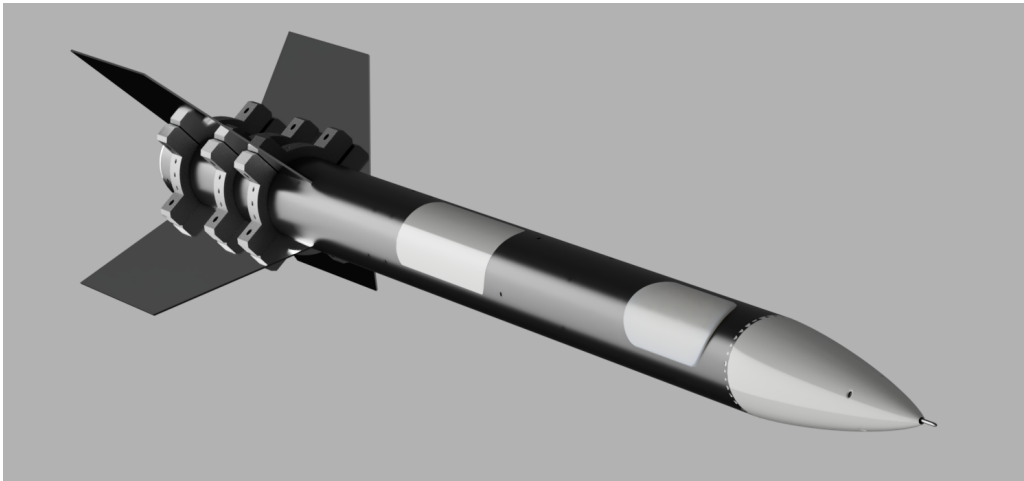


FIGURE 1 – Rendu CAO 3D de NAONED-I

NAONED-I est une fusée à peau porteuse en matériau composite (fibres de verre imprégnées d'époxy). Le tube mesure 1,50 m de long, possède un diamètre extérieur de 80 mm et une épaisseur de paroi de 2 mm. Une grande partie du tube a été usinée au tour afin d'optimiser l'alignement des perçages.

Les ailerons sont réalisés en aluminium (épaisseur 2 mm); ils sont montés serrés sur le tube et maintenus par des fixations.

La structure interne de la fusée se compose de quatre éléments :

- la coiffe,
- la baie électronique,
- la soute parachute,
- l'emplacement moteur.

2.1 L'ogive

La coiffe est imprimée en PLA en une seule pièce. Elle est fixée directement à la peau porteuse au moyen d'inserts filetés et de vis.

Cette ogive abrite le tube Pitot, élément clé de notre expérience. Pour le maintenir, nous avons choisi un système de plaque de rétention garantissant sa stabilité durant le vol.

Pour les projets à venir, la coiffe sera imprimée en PETG, afin d'obtenir une meilleure résistance thermique, même sans application d'une peinture claire.

2.2 La partie électronique

Nous avons opté pour un rack électronique unique, subdivisé en trois parties :

- le support de batteries,
- le rack principal accueillant la carte expérimentale et la carte séquenceur,
- la sortie jack.

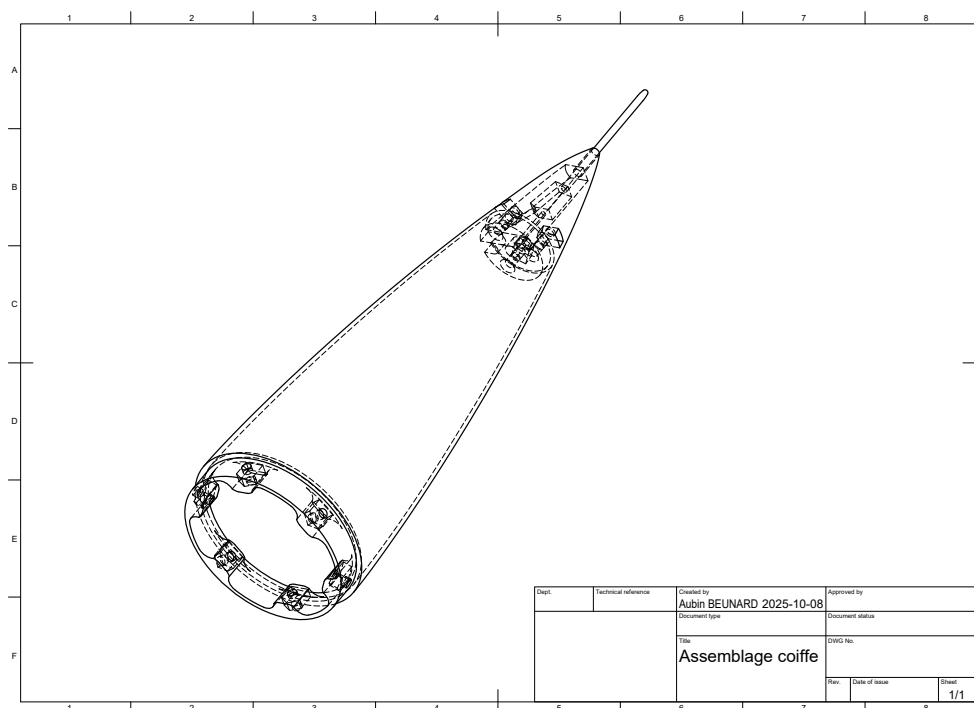


FIGURE 2 – Plan de la coiffe avec le support du tube pitot

2.2.1 Support de batteries

Le support de batteries est conçu pour accueillir deux accumulateurs (une batterie ... et une batterie ...). Celles-ci sont stockées dans un tiroir coulissant intégré au support. Le tiroir a été pensé de manière à ce que les batteries soient parfaitement maintenues en place, sans jeu, garantissant ainsi leur sécurité et leur stabilité durant le vol.

2.2.2 Le rack

Le rack constitue l'élément central sur lequel viennent se fixer toutes les cartes électroniques. C'est la pièce qui a nécessité le plus de prototypes et de réflexion. Il est conçu pour être facilement démonté et remonté, ce qui facilite la maintenance et les ajustements.

Dans la version finale, les cartes sont positionnées en face de la trappe d'accès électronique, permettant une intervention rapide sur les commandes. Le rack intègre également un système d'entretoises rapprochant les cartes du centre, de façon à optimiser l'espace disponible dans la fusée.

Cette première version du rack reste améliorable. Par exemple, un espacement plus important entre certains éléments faciliterait le montage et le démontage des connecteurs. Le rack a été imprimé en PLA.

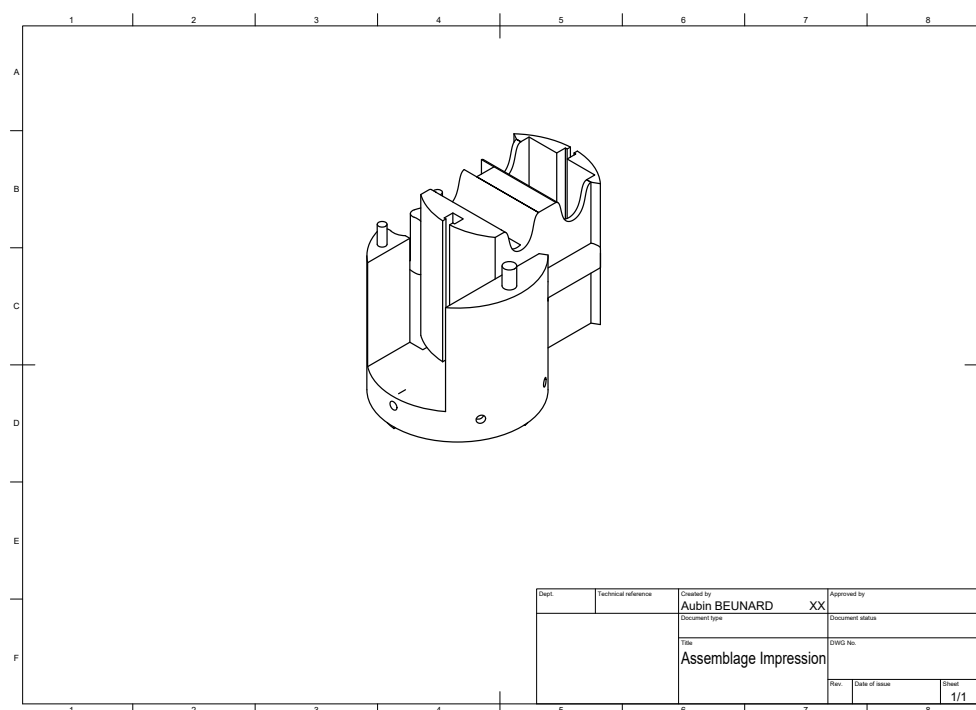


FIGURE 3 – Plan du support de batteries

2.3 Système de récupération

Le système de déclenchement de la trappe parachute repose sur un servomoteur qui actionne un mécanisme pignon-crémaillère. Celui-ci est relié à une fourche en tige de carbone, logée dans une pièce fixée directement à la trappe. Le mécanisme est imprimé en PLA.

Lors des premières phases de test, la trappe en PLA a fondu en raison de sa faible résistance thermique. Elle a donc été remplacée par un tube en PVC, découpé aux dimensions de l'ancienne trappe.

Le système de rétention supérieur est constitué d'un morceau de bois, tandis que le système de rétention inférieur est réalisé à partir d'une barre d'acier.

Concernant l'éjection, les essais à vide ont montré une ouverture fluide. Avec le parachute en place, celui-ci exerce une contrainte sur la porte, ce qui facilite en réalité son ouverture. De plus, en vol, l'air qui s'engouffre au niveau de la trappe contribue à pousser la porte vers l'extérieur et à entraîner le parachute.

Le parachute lui-même avait été acheté auprès d'un fournisseur externe. Toutefois, ce choix ne sera pas reconduit : aucune spécification technique ne nous avait été fournie, et le parachute s'est déchiré durant le vol. La trappe parachute est fixée directement au parachute.

2.4 Logement moteur

Le moteur est maintenu par des bagues usinées en aluminium. La reprise de poussée s'effectue par le haut, via une bague d'appui en aluminium (cf. photo ...).

La rétention du moteur est assurée par une tuyère usinée dans un tube en acier inoxydable de diamètre 100 mm, ce qui donne un système d'emplacement du moteur à la fois efficace et atypique.

Pour les futures itérations, nous avons décidé d'augmenter le pas de vis du système de fixation afin de simplifier la mise en place du moteur pour les pyrotechniciens.

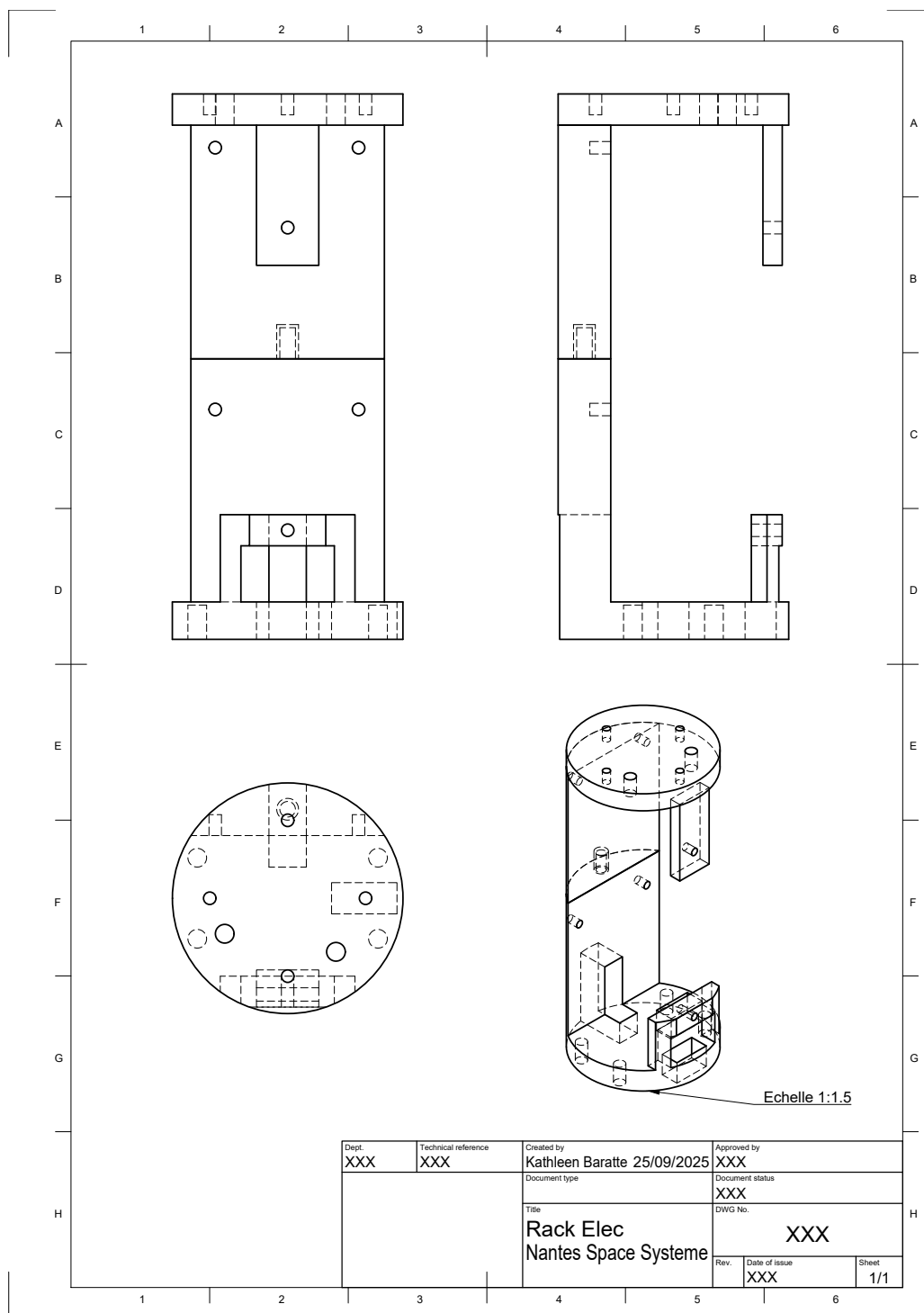


FIGURE 4 – Plan du rack électronique

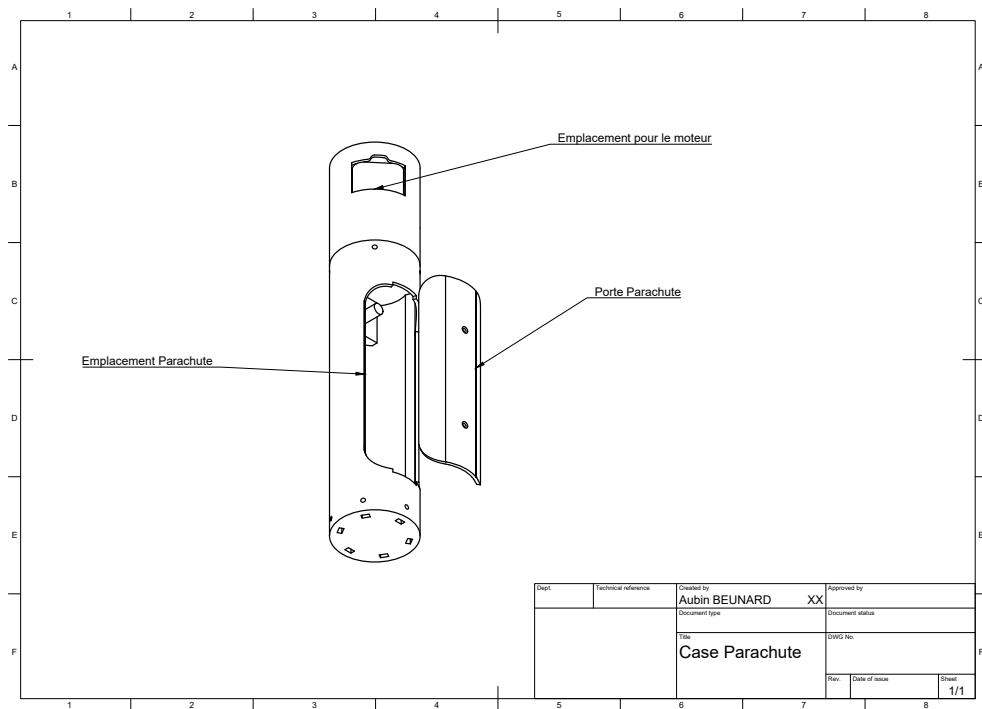


FIGURE 5 – Plan de l'emplacement parachute

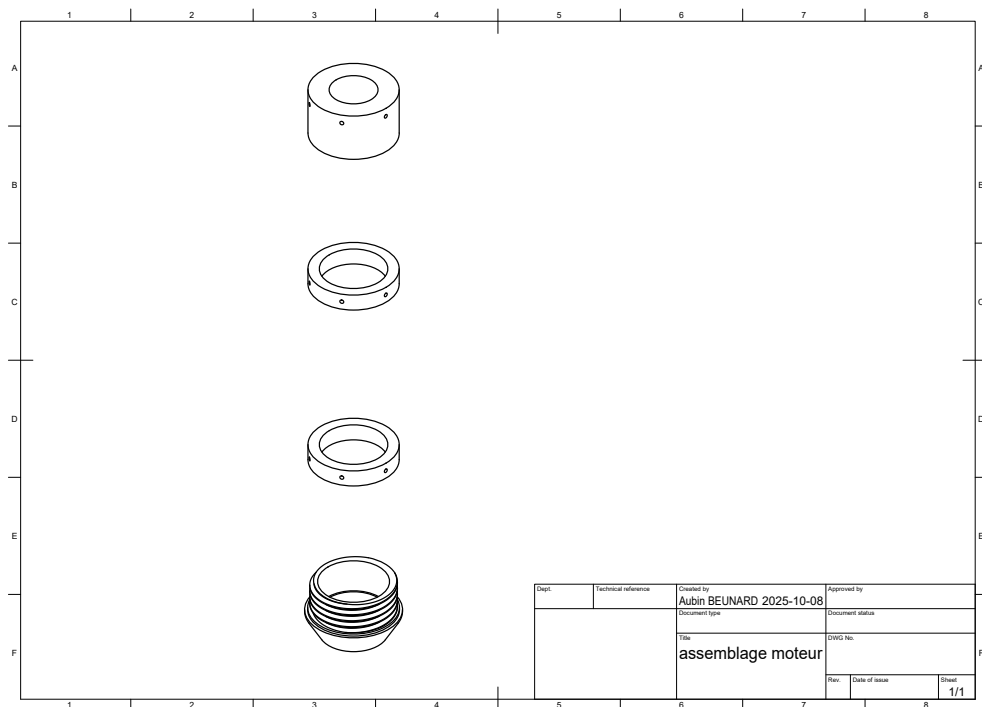


FIGURE 6 – Plan des bagues de maintien ainsi que de la tuyere

3 Architecture de l'expérience

L'expérience consiste en un tube de pitot, ce système permet de mesurer la vitesse avec une grande précision. L'objectif était de comparer les valeurs de ce dispositif avec les valeurs de l'IMU afin de le calibrer.

Le système est composé d'un tube de pitot acheté sur amazon et d'un capteur différentiel de pression TE-Connectivity MS560702BA03-50 connecté à l'ordinateur de bord.

L'ordinateur de bord récupère les valeurs toutes les 100 ms (10Hz).

Ce tube de pitot est coincé dans la coiffe. Un système grâce à une coiffe découpé suivant la hauteur a été designée. À l'aide de quatre vis, la coiffe peut être vissée à la partie inférieure.

De plus, le système de pitot a été testé en soufflerie à Polytech Nantes pour vérifier le programme de conversion des données.

4 Architecture électronique

L'électronique a été réalisée sur deux années différents qui possèdent deux visions différentes de la manière de créer l'électronique.

4.1 Première année : la volonté de faire soit même

4.1.1 Objectifs

Lors de la première année l'équipe a fait le choix de réaliser ses cartes de la manière "full custom". Cette façon de faire consiste à créer nos propres cartes électroniques à partir de composants électroniques du marché, à la différence qu'aucune carte déjà faite doit être utilisée. Cette façon d'opérer avait pour but de permettre aux membres de l'association d'apprendre l'électronique de manière approfondie.

4.1.2 Présentation du système

Cette première génération était conçue suivant 4 cartes majeurs, chacune à sa fonction attribuée. L'objectif, avoir un empilement de carte qui communiquent ensemble avec des pins communs. Ainsi, un plan avec attribution de chaque signal sur chaque pin de ce bus a été défini. Cette manière de fonctionner a permis de développer en parallèle les quatre cartes. Ces cartes ont dû suivre un format défini par la mécanique de la fusée.

Carte d'alimentation La carte d'alimentation avait deux fonctions primaires, de convertir la tension des batteries en des tensions stables normalisées (3.3 V / 5 V). La seconde, avoir une isolation galvanique entre la carte séquenceur et la carte ordinateur de bord. Pour cela nous avons utilisé des convertisseurs DC-DC de chez microchip et suivi la datasheet pour choisir les bons composants passifs. Cette carte servait aussi de base, autrement dit, d'hub pour tous les signaux des cartes.

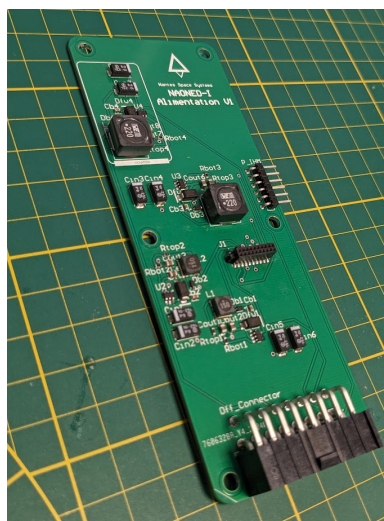


FIGURE 7 – Photo illustrant la carte d'alimentation de la première version de l'électronique

[REX]: La carte a été simple à réaliser et a pu être testée et validée par les membres de l'association. Cependant les connecteurs entre chaque carte étaient difficiles à souder et impossible à modifier en cas de problèmes. Nous vous conseillons de faire une carte avec des connecteurs traversants plus faciles à souder et à debugger.

Carte séquenceur La carte séquenceur se voulait d'être un séquenceur à fenêtre temporel. Le principe, ne pas prendre en compte les capteurs de l'ordinateur de bord sur la première partie du vol. Quand on arrive presque à l'apogée (t1) on prends en compte les données des capteurs pour ouvrir au moment optimal. Enfin pour palier au fait de ne jamais déclancher le parachute, dans le cas ou les capteurs venaient à mal fonctionner, on utilise un deuxième temps (t2) pour forcer l'ouverture du parachute.

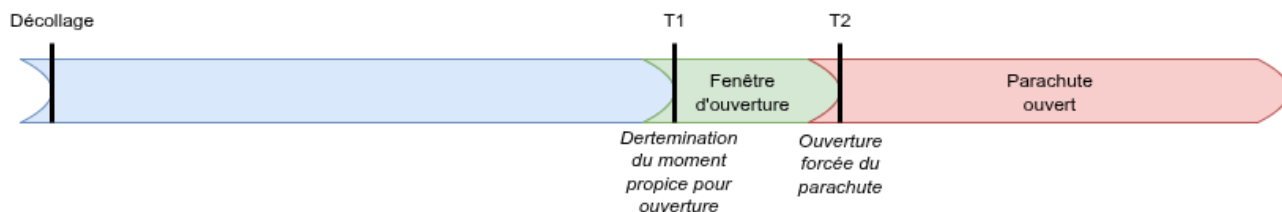


FIGURE 8 – Schema expliquant le fenêtrage temporel

Ces fonctions ont voulu être réalisées sans microcontrôleur, autrement dit qu'avec des générateurs de fonctions et des portes logiques. L'équipe a donc réalisé un prototype avec des générateurs de fréquences (NE555). Ces générateurs nous ont permis d'avoir un signal carré avec une fréquence fixe de 100 Hz. Cette fréquence fixe passait dans deux compteurs afin de diminuer le temps. En effet, ces compteurs divisaient respectivement par 1800 et 2000, ainsi leur sortie s'activaient à respectivement 18 et 20 secondes ce qui correspond au temps t1 et t2 du fenêtrage temporel. Cela peut-être facilement calculé par la division suivante : $\text{temps (s)} = \frac{\text{compteur}}{\text{fréquence(Hz)}}$. Ce compteur devait être déclenché par le signal d'arrachement du jack.

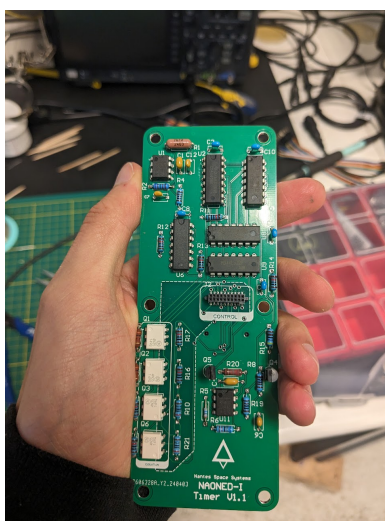


FIGURE 9 – Photo de la première carte séquenceur

[REX] : La réalisation de cette carte fût d'une complexité trop élevée pour les membres de l'association. Malgré l'apprentissage des signaux et des portes logiques, l'équipe n'a pas réussi à respecter les délais imposés par Planètes Sciences. Nous vous conseillons de réduire la complexité de ce système critique qui aura effet de vous faire gagner en temps et en fiabilité.

Carte ordinateur de bord Cette carte comporte tous les composants pour récupérer les données de vols (altitude, GPS, accélération, etc) et de les transmettre à la stati-sol via un module LoRa. Elle était composée de différents capteurs :

- **Microcontrôleur** : Microchip SAMD21
- **LoRa** : Microchip RN2483A
- **GPS** : uBlox NEO-M8M
- **IMU** : Bosch BMI270
- **Pression** : TE-Connectivity MS560702BA03-50



FIGURE 10 – Photo de la première carte ordinateur de bord

Tous les composants de la carte ont été soudés directement à l'aide du four à refusion de Polytech Nantes. La carte devait être programmée via le SNAP debugger de chez Microchip.

[REX] : Lors de la brasure des composants, l'équipe n'a pas remarqué que deux pins du microcontrôleur (VIN et GND) étaient en court-circuit à cause de cette dernière. Ainsi, après mise sous tension avec le module SNAP la carte a généré un arc électrique au niveau du microcontrôleur rendant la carte inutilisable. Cet incident arrivant tard dans le projet et ayant des budgets restreint, l'équipe n'a pas pu reconstruire une carte. Nous vous conseillons de prendre le temps de passer des tests de continuités sur toute votre carte après brasure.



FIGURE 11 – Photo des pistes en mauvais état suite à un court-circuit (rangée de gauche)

Carte interface homme-machine (IHM) La carte Interface Homme Machine (IHM), consistait en un écran, quatre boutons de navigations, d'un buzzer et d'un switch pour déterminer le mode choisi : mode vol ou mode test. L'utilité d'avoir ces deux modes est de pouvoir ouvrir la trappe et de la refermer en appuyant sur un seul bouton en mode test. Cette carte avait deux connecteurs Dupont de six broches chacun afin de se ficher sur la carte d'alimentation et l'ordinateur de vol. Lors de la conception de celle-ci, nous avons réalisé une erreur au niveau de ces placements de ces connecteurs ce qui a résulté d'une incapacité d'utilisation de celle-ci.

[REX] : Nous vous conseillons d'utiliser des nappes ou biens des fils avec des connecteurs afin de relier plusieurs cartes entre elles. Cela permet une meilleure flexibilité et ainsi de pouvoir emboîter avec plus de degrés de liberté vos cartes. Faites tout de même attention de la polarité des signaux entre vos cartes et des longueurs de vos fils / votre nappe.

4.2 Deuxième année : la simplification du système

4.2.1 Objectifs

L'objectif de cette année était d'avoir une électronique fonctionnelle tout en ayant une modularité si l'un des modules de l'électronique venait à dysfonctionner.

4.2.2 Présentation du système

Cette année, le système est composé d'une carte électronique où l'on vient connecter des cartes / des modules présents dans le commerce. De cette manière, si un module venait à dysfonctionner, il suffirait juste à l'interchanger avec un nouveau pour faire fonctionner l'électronique.

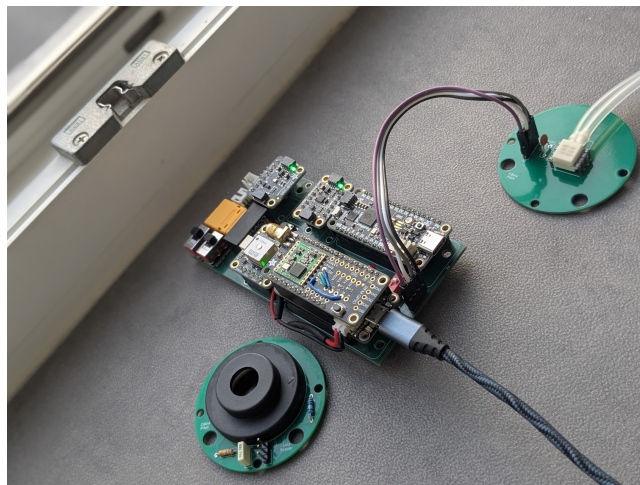


FIGURE 12 – Photo de la nouvelle électronique complète

Carte séquenceur La carte séquenceur est composé d'une carte feather RP2040 par Adafruit. Il lui est attaché un câble jack, une led et un servomoteur. Lors de l'arrachement du jack, la carte va commencer à compter jusqu'au timing de l'apogée. À ce moment-là, il ordonne l'ouverture de la trappe parachute. Ce système est plus simple et est donc plus robuste (moins sujet aux bugs du à sa complexité moins élevée). La LED quant à elle sert à indiquer l'état du séquenceur.

Carte ordinateur de bord L'ordinateur de bord est composé d'une Adafruit Adalogger Mo+. Cette carte est composée d'un SAMD21, le même microcontrôleur que la version précédente. Cette carte

possède directement un lecteur de carte SD qui a été pour enregistrer les données de vol. À cette carte est attaché différents capteurs :

- **Communication sans fil** : RFM69
- **GPS** : GPS Adafruit PA1010D
- **IMU** : ICM20649
- **Pression** : BMP390
- **Capteur pitot** : TE-CONNECTIVITY MS4525DO

Chaque donnée étaient enregistrées à une vitesse de 10Hz dans la carte SD. L'envoi des données était de l'ordre de 1Hz. Cependant, les données GPS étaient envoyés toutes les cinq secondes (0.2Hz). Du fait du module est du moyen d'encodage (QPSK) et de l'altitude max à atteindre. Le bitrate était très faible. C'est pour ça que nous avons donc choisi d'envoyer ces coordonnées GPS toutes les cinq secondes. Un buzzer était aussi présent afin d'avoir un témoin supplémentaires de l'état de la fusée en rampe.

[REX] : Le plus gros problème qu'a eu l'équipe sur cet ordinateur de bord est l'incompatibilité entre le module d'envoi des données et le récepteur. L'équipe s'est trompé de référence et a choisi un module émetteur n'étant pas capable d'encoder en LoRa. Pour cela nous avons dû modifier les deux modules (réception et envoi) pour qu'ils soient compatibles. Cela a induit un retard, une instabilité du moyen de communication et une baisse de performance.

Isolation galvanique Une des conditions à respecter est d'avoir une isolation galvanique entre le séquenceur et l'ordinateur de bord. L'équipe l'a réalisé avec des optocoupleurs entre les deux cartes pour faire transiter les signaux (buzzer, etc...). Or, nous avons deux plans de masse ce qui fait donc une double isolation galvanique. Cela s'est révélé complexe et a causé des torts pour l'utilisation du buzzer.

[REX] : L'équipe, vous conseille alors de ne pas relier les plots d'alimentation positive entre eux. Vous pouvez réaliser une simple isolation galvanique de cette manière. Ainsi, vous pouvez connecter les plans de masses des deux batteries ensemble. De cette manière, le montage est plus simple avec un plan de masse commun.

5 Développement de la station de sol

5.1 Les débuts du projet

En dehors du développement de la fusée, il nous fallait un moyen simple de pouvoir visualiser et récupérer les données de la fusée pendant son vol. Nous avons alors choisit de développer une station de sol qui nous permettrait d'afficher en temps réel les données de la fusée.

5.2 Architecture de la station de sol

Tout d'abord le développement de la station de sol a été découpé en 3 parties :

1. Développement du module de communication LoRa pour l'envoi des données (Cette partie à été réalisé par l'équipe Électronique)
2. Développement d'un websocket permettant de gérer la réceptions des données envoyé par le module LoRa
3. Développement d'une application web pour l'affichage des données

Nous nous interesserons ici seulement aux point (2) et (3).

5.2.1 Réception des données

Tout d'abord il faut comprendre comment le système fonctionne. Un module LoRa est intégré à l'électronique de la fusée, ce qui lui permet d'envoyer des données en vol. Du côté de la station de sol, un autre module LoRa est connecté à l'ordinateur exécutant la station de sol et permet au logiciel de fonctionner et recevoir les données transmis par la fusée.

Pour la réception des données, nous avons opté pour un code en python qui aurait comme objectif de se connecter au module LoRa via son port en série, puis de renvoyer chaque donnée reçu sur un websocket permettant d'être utilisé par notre application web.

5.3 Application Web

Pour une station de sol, elle a besoin de rafraichir les données présentes sur la page plusieurs fois par secondes c'est pour cette raison que nous avons choisi de le développer avec le framework React . Ce framework nous permet, dès que nous recevons de nouvelles données, d'actualiser la page afin d'afficher ces dernières recues.

5.3.1 Les vues

La page est divisé en 4 vues distinctes :

1. Préparation
2. Affichage des données en vol
3. Données du GPS
4. Section paramètres

Les vues

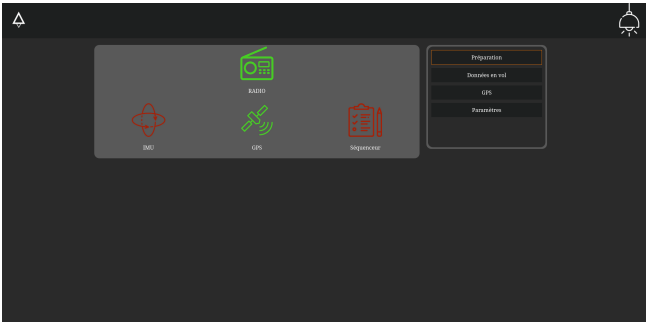


FIGURE 13 – Vue préparation des données

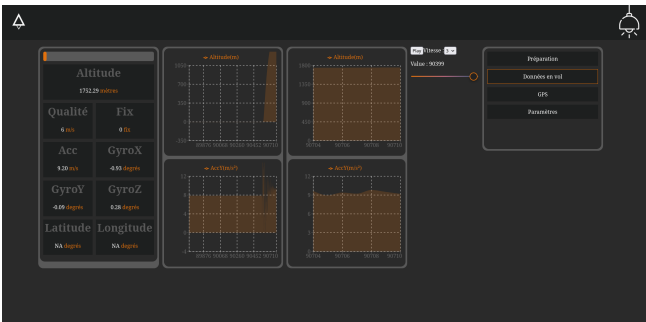


FIGURE 14 – Vue affichages des données

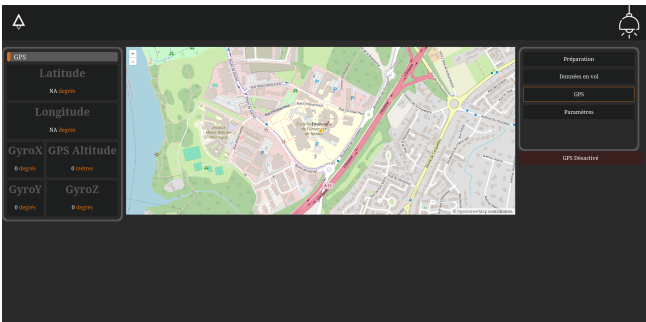


FIGURE 15 – Vue affichages des données du GPS

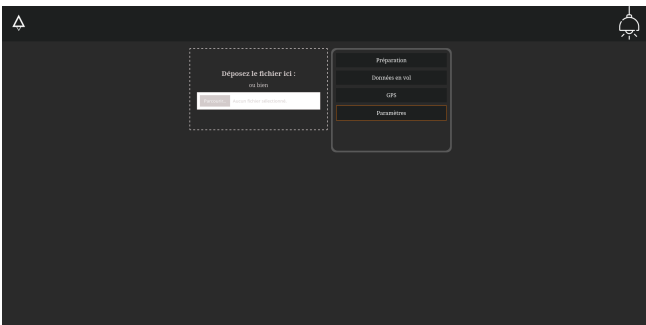


FIGURE 16 – Vue affichages des paramètres

5.3.2 Les bibliothèques utilisé

La page web étant réalisé en React, ce sont des librairies JavaScript et Nodejs que nous utilisons :

1. **recharts** : Pour la création de graphique tels que des nuages de points
2. **universal-cookie** : Pour la gestion des cookies
3. **papaparse** : Pour le parsement des données csv
4. **OpenLayers** : Pour l'affichage de carte interactive

Nous avons seulement un seul cookie sur l'application web qui nous permet de garder en mémoire le thème (Éclairé ou Sombre) choisi par l'utilisateur.

Pour le cas de l'affichage d'une carte avec la position actuelle de la fusée, l'actualisation de la carte est beaucoup trop long pour pouvoir être actualisé chaque seconde. Pour cette raison, un bouton a été ajouté sur cette page pour permettre d'activer ou non l'actualisation des données gps.

5.3.3 Fonctionnalité secondaire

Après le C'Space, il était utile de pouvoir continuer à visualiser les données récupérés lors du vol. Une fonctionnalité a alors été ajouté dans la section paramètre de la station. Cette section met à disposition un champs où il est possible de déposer un fichier csv. Ce fichier csv devant être le fichier de données enregistrés en local à la suite de l'arrêt de la station sol.

Une fois le fichier déposé, il est possible, via l'onglet "Données en vol" de lire les données du fichier csv.

Cette fonctionnalité à été développé en peu de temps après le CSspace, il reste alors quelques modifications à effectuer.

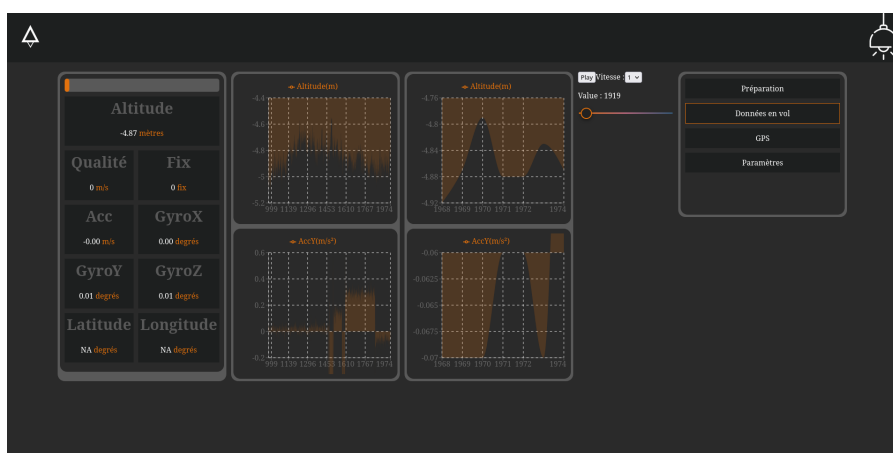


FIGURE 17 – Vue affichages des données en lecture

5.3.4 Exécution de la station de sol

La station de sol peut être exécutée à l'aide de Docker, un gestionnaire de conteneurs. Des images de l'application web et du serveur WebSocket sont stockées sur le dépôt Git de notre projet, hébergé sur le GitLab de l'université. Ces images permettent à toute personne ayant accès au projet d'exécuter facilement la station de sol sur sa propre machine, sans configuration particulière.

6 Déroulement du vol

NAONED-I a été tirée le 11 juillet 2025, à 10h. Le vol a été qualifié comme nominal. L'ouverture de la trappe parachute s'est bien effectuée. L'équipe a remarqué sur la phase descendante du vol que la fusée descendait à une allure plus élevée que prévu. En effet, après visionnage des images, le parachute s'est déchiré lors de son gonflement.



FIGURE 18 – Fusée lors de la redescente avec le parachute non gonflé

[REX] : L'équipe vous conseille d'acheter des parachutes avec des datasheets claires. Cela vous permettra de choisir un parachute dimensionné pour votre fusée.

7 Traitement post vol

Après le vol, l'équipe a eu l'occasion de récupérer la fusée et les données de vol enregistrées dans la carte SD.

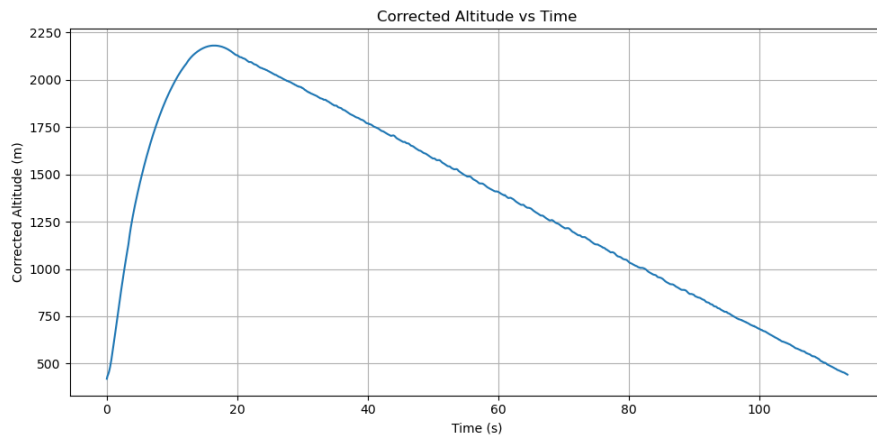


FIGURE 19 – Représentation de l'altitude en fonction du temps

L'une des données offertes par le baromètre est l'altitude de la fusée. La fusée a atteint 2200m d'altitude. L'équipe ayant mal calibré son baromètre, elle a dû recalculer cette valeur post vol.

[REX] : L'équipe vous conseille de calibrer votre baromètre le jour du lancement en demandant la valeur de pression atmosphérique à la tente météo.

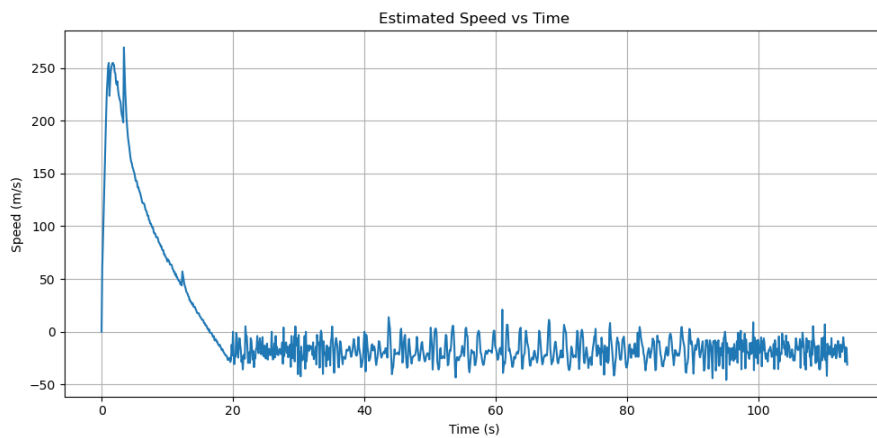


FIGURE 20 – Représentation de la vitesse en fonction du temps

La valeur de la vitesse de la fusée a été calculée en intégrant son accélération. Nous pouvons voir que la fusée a atteint 250m/s au maximum. Cette valeur correspond à MAC 0.73.

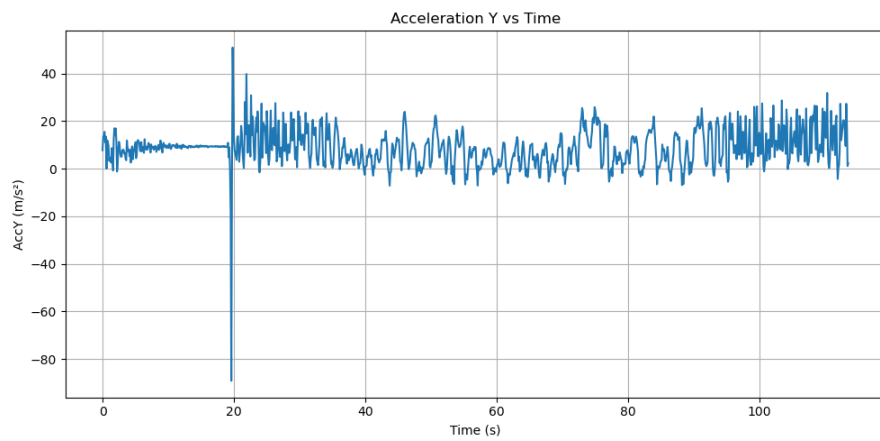


FIGURE 21 – Représentation de l'accélération de la fusée

Ce graphique correspond à la valeur d'accélération de la fusée lors du vol. Nous pouvons voir qu'après l'ouverture du parachute la fusée descend à environ 15 m/s. Cette vitesse de descente est la plus haute de la limite. En comparaison avec le stabtraj, la fusée devait descendre à environ 7m/s. Cela indique bien que le parachute s'est arraché lors de son inflation.



FIGURE 22 – Carte de la trajectoire de NAONED-I