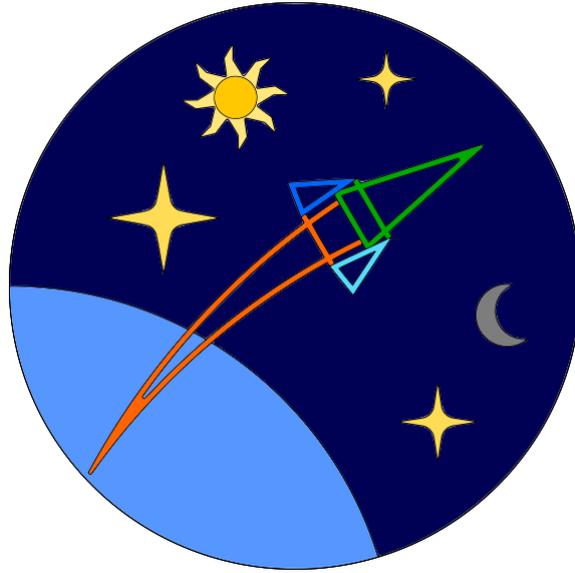


## Campagne de tir C'space 2025



# Rapport de projet FX-37 NormanDIY



## Présentation du club et de l'équipe

Le Kaladair Space Program est constitué de trois diplômés de l'École Nationale d'Ingénieurs de Brest (ENIB), fort d'une précédente expérience au sein du fablab de l'école (Fusex

Hermin I - Association BDI ENIB tirée lors de la campagne 2021), nous avons décidé de se relancer une dernière fois dans l'aventure avant de quitter les bancs de l'école.

L'équipe s'articule autour de trois personnes :

- Guirec Nicholas (Responsable Méca - Aéro - Récupération)
- Clément Lenoel (Responsable Électronique Embarquée Expérience - Séquenceur)
- Julien Guyader (Responsable Logiciel Embarqué Expérience)

## Présentation du projet

NormanDIY est une fusée de taille modeste, à la conception simple.

Nous savions dès le départ que nous n'aurions que peu d'accès à des techniques de construction avancées (composite, centre d'usinage ...), d'où le DIY dans le nom. Il s'agit également d'un projet avec des contraintes d'éloignement ou les membres avaient peu de possibilités de se regrouper pour intégrer et avec peu de moyens propres.

L'expérience consiste en une trajectographie au moyen d'un IMU et d'un module GPS, une télécom LoRa était également prévue initialement.

## Conception mécanique

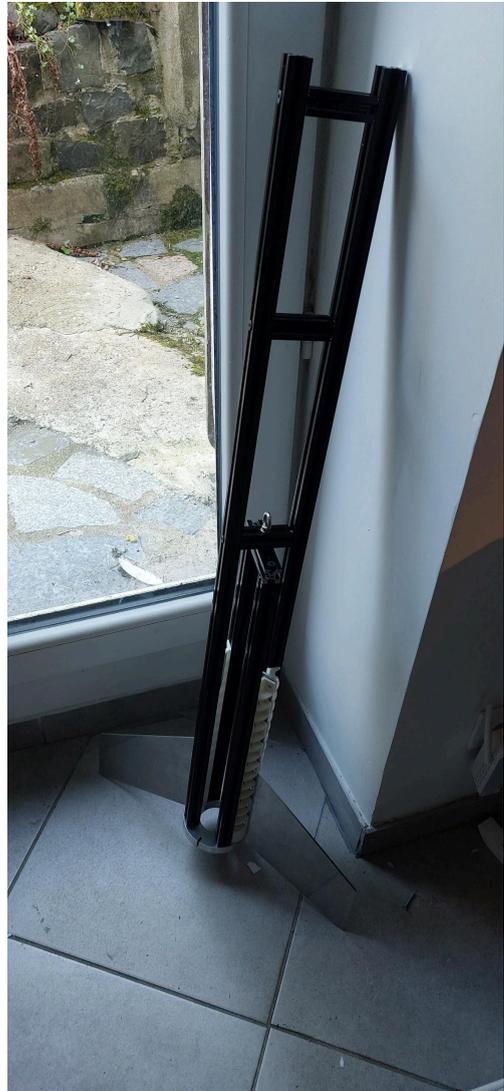
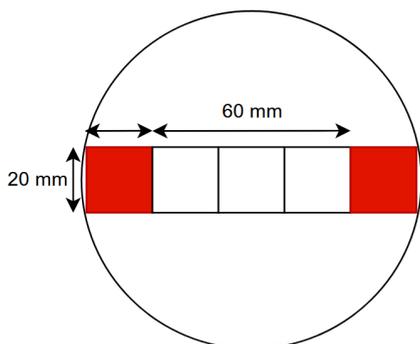
Afin de simplifier la conception, la structure de la fusée repose sur le principe de structure porteuse, un treillis interne supporte la majorité des efforts durant le vol. Cette structure est revêtue d'un tube en PVC et coiffée d'un assemblage de pièces imprimées en 3D.

### Structure Porteuse

Pour simplifier la structure, un assemblage vissé de profilés 20x20mm aluminium à fente en V a été privilégié.

Deux profilés de 1 m forment la totalité de la longueur du fuselage, deux autres plus courts aident à rigidifier la structure sur la moitié de la hauteur de la fusée.

La structure suit une conception pensée pour pouvoir être modularisée en employant la largeur d'un profilé (un profilé = 20 mm de côté). La structure ayant été pensée pour être coiffée par un tube de diamètre de 110 mm extérieur (~100 mm intérieur), nous avons donc choisi un encombrement intérieur de 5 profilés (deux profilés de chaque côté séparé par des longerons de 60 mm)



Les profilés sont diamétralement reliés par des longerons réalisés à partir de chutes de profilés (longueur 60mm)

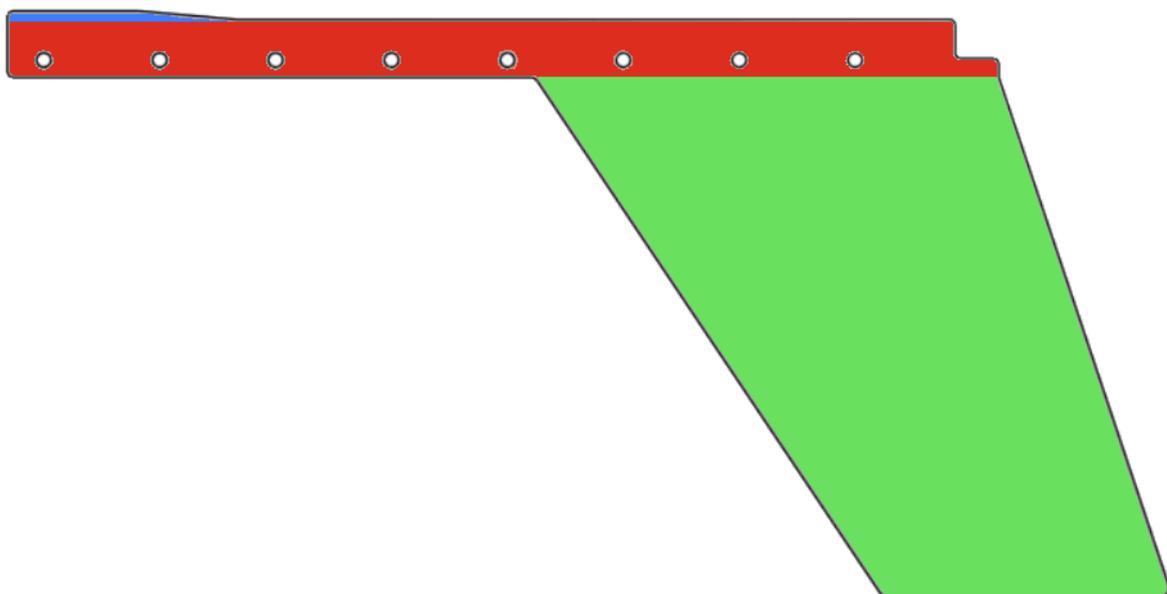
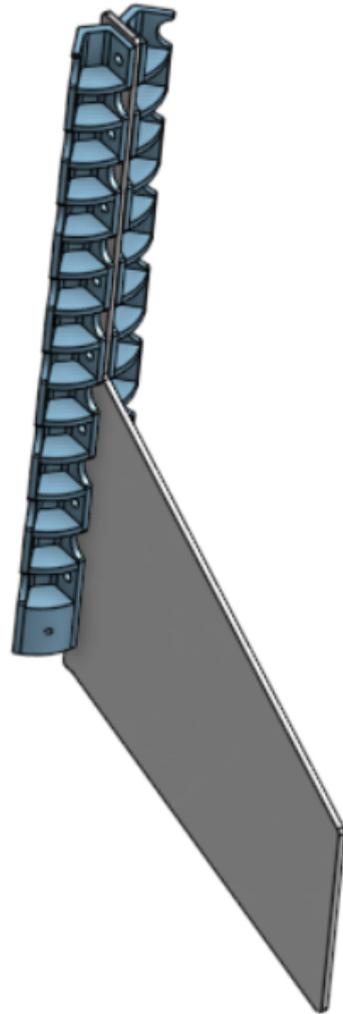
## Bloc Propulseur

Le propulseur choisi est un Pro-54 White Thunder qui est retenu par une bague de reprise de poussée située en bas de la fusée.

Le centrage haut est assuré par les ailerons, qui sont au nombre de 4.

Usinés à partir d'une tôle de 3 mm, ils sont chacun fixé à la base de la fusée par deux ferrures imprimées en ASA prenant l'aileron en sandwich entre deux profilés adjacents.

Les ailerons sont constitués d'une **partie exposée à l'air**, d'une **partie structurelle** située sous la peau, dont le sommet dispose d'une **extrusion** afin d'aider à centrer le haut du propulseur.



La partie structurelle de l'aileron dispose d'une encoche à sa base afin de s'engager dans les gorges de la bague de reprise de poussée afin que cette dernière participe à la rigidité de l'assemblage aileron au niveau de l'envergure de l'aileron.

La bague de reprise de poussée est une pièce usinée en aluminium, elle retient le propulseur au moyen d'un écrou papillon maintenant une petite plaque en métal, un ressort entre la bague et la plaque permet de gêner le mouvement de celle-ci.

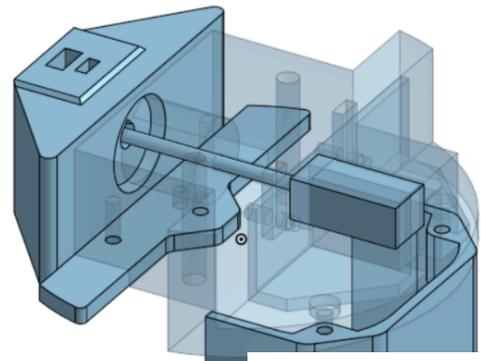
## Système de récupération

Le système de récupération est constitué d'un container situé au centre de la fusée, du parachute et de son système de déploiement.

Le container en lui-même est réalisé par la découpe d'une ouverture de 120° dans la peau en PVC au-dessus du treillis reliant la structure longitudinale et mi-longitudinale, c'est au croisement des deux longerons, qu'est fixé, par un assemblage boulonné traversant, un anneau de levage servant à relier le parachute à la fusée. Aussi, le boulon supportant le parachute sert également à relier solidement les deux parties mécaniques de la structure porteuse.

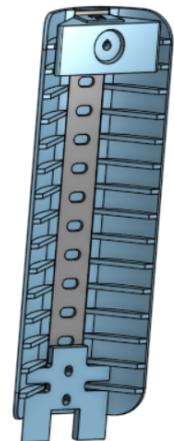
La porte est réalisée en impression 3D, est munie d'un profilé plat en acier pour la renforcer, l'ensemble est maintenu en place durant le vol grâce à deux pièces imprimées en 3D :

- un doigt contournant le profilé mi-longitudinal servant de charnière amovible en bas de la porte
- une pièce contenant un écrou, reliée au haut du compartiment par un moteur DC entraînant une tige filetée pour verrouiller et relâcher la porte par le haut.



Initialement imprimé en ASA, pour mieux résister à la chaleur, la porte fut finalement mise de côté par les contrôleurs lors des qualifications en raison d'une trop faible adhésion des couches, nous avons finalement volé avec une pièce de test réalisée en PLA.

Le parachute provient du commerce ([Parachute Loc Precision](#) provenant commandé depuis le site [Euro Space Technology](#)) et est rattaché via ses 10 suspentes fournies à une sangle de chargement (débarrassée de son cliquet) cousues à ses deux extrémités via un double pattern en croix.



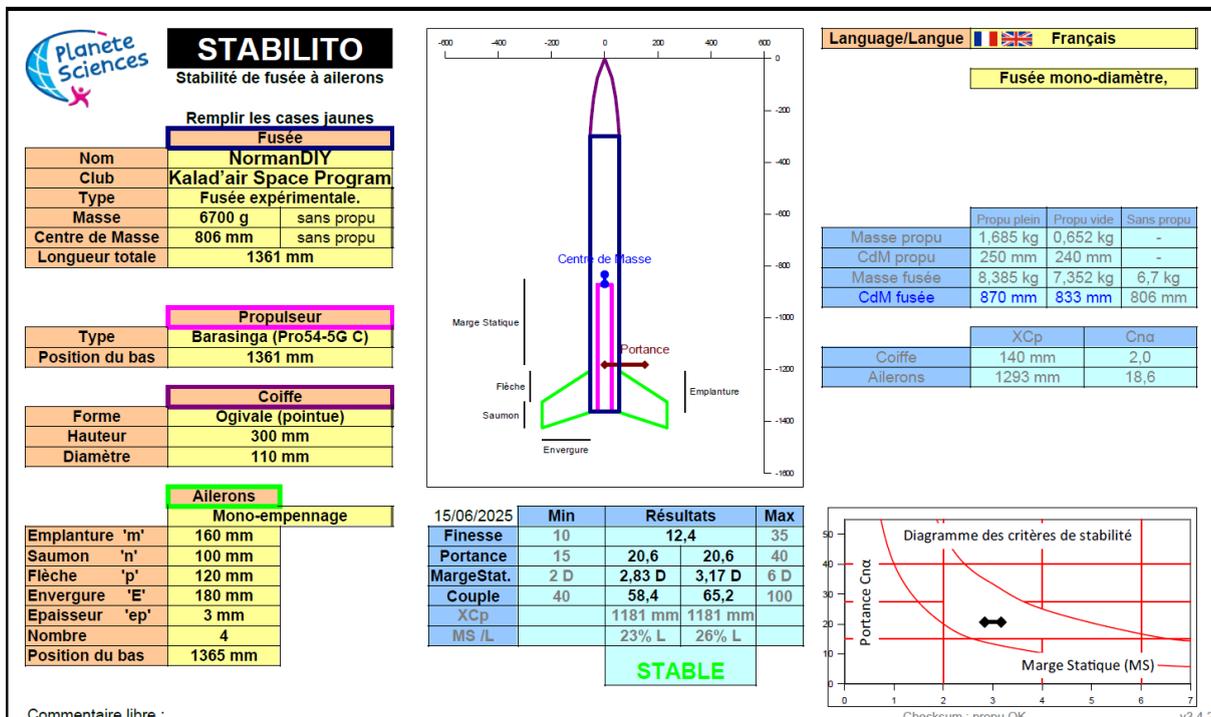
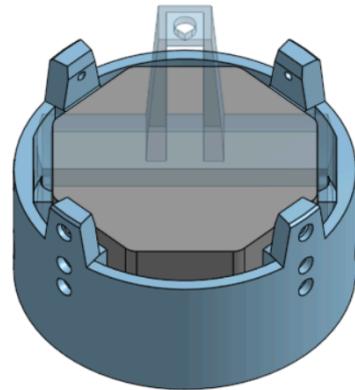
La sangle de récupération était initialement prévue pour un assemblage via deux manilles reliant la fusée et l'émerillon du parachute. Cependant de par des problèmes de blocage des suspentes par la manille du côté fuselage lors des essais d'éjection parachute et d'autre part, car notre sangle semblait un peu longue. Nous avons finalement choisi de plier la sangle en deux et d'attacher l'anse ainsi formée à l'anneau de levage grâce à un nœud en tête d'alouette ce qui retira les aspérités de la cavité parachute.

Pour faciliter l'extraction parachute, nous avons relié la porte du compartiment parachute à l'émerillon via une cordelette reliée au renfort de porte. Aussi, le placement du parachute dans son compartiment fut réalisé avec la sangle au fond de la cavité, suivie des suspentes et enfin de la toile.

## Élément aérodynamiques

La peau est réalisée à partir d'un tube PVC de 110 mm de diamètre, de 1 m de long, les fentes et les défonces ont été réalisées via ponçage / dremel / scie.

La coiffe, quant à elle, est ogivale, imprimée en 3D en deux parties et contient une masse hexagonale de 1.4 kg en acier, cela répond à deux contraintes : allonger la fusée et alourdir son sommet afin de remonter son centre de masse pour améliorer la stabilité aérodynamique suivant stabtraj.



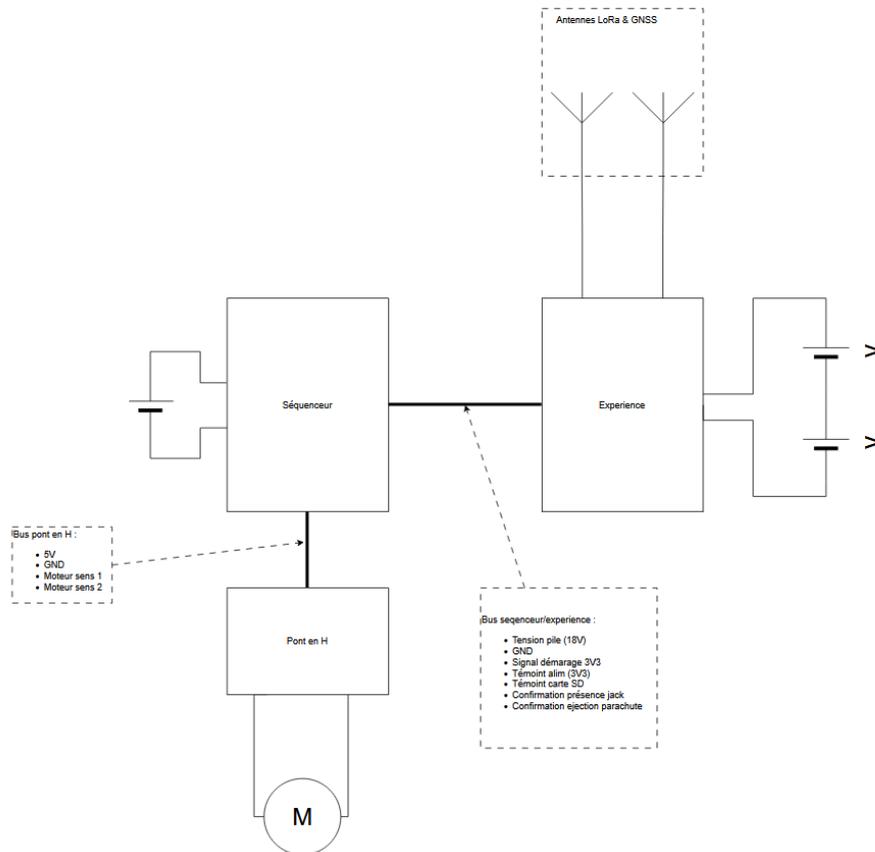
## Conversion en rampe rail

La fusée était initialement conçue pour être tirée depuis une rampe rail : munie de quatre ailerons, aucun rétreint. Cependant au cours des qualifications notre fenêtre d'accès aux interrupteurs de mise sous tension ainsi que la fente d'introduction du jack séquenceur n'était pas assez aligné avec les ailerons.

Aussi nous avons assez vite trouvé une solution grâce aux profilés longitudinaux. Deux écrous en T en surplus furent utilisés pour fixer deux patins, gracieusement donnés par l'équipe FX03 - STAROS III de Space Tech Orléans que nous souhaitons de nouveau remercier.

Après quelques ajustements d'alignement, nous avons pu passer avec succès le test de compatibilité rampe pour insertion sur la rampe rail Toutatis.

# Conception électronique



## Alimentation de l'architecture électronique

Les cartes électroniques étaient alimentées par trois piles 9v à raison d'une pour le séquenceur et deux pour la carte expérience.

L'autonomie estimée était de 4h en rampe.

Conso Séquenceur :

Composant	Consommation max (mA)	Consommation totale (mA)	Ration courant entrée/sortie
LED(alim et jack)	33	83.05	0.5555555556
Jack	0.05		
comparateur	50	Marge de sécurité (%)	Rendement convertisseur
		10	0.75
		Courant considéré (mA)	Courant consommé (mA)
		91.355	67.67037037

Conso Expérience:

Composant	Consommation max (mA)	Consommation totale (mA)	Ration courant entrée/sortie
stm32F411RE	160	510.022	0.3666666667
TCXO (25MHz)	15		
Capteur de température	0.012	Marge de sécurité (%)	Rendement convertisseur
Module lora	120	10	0.75
Accéléromètre	100		
GPS	100	Courant considéré (mA)	Courant consommé (mA)
Capteur de pression	0.01	561.0242	274.2784978
Carte sd	15		

## Carte séquenceur/interface

Afin de réduire le nombre de cartes et de câbles entre ces dernières. Nous avons choisi de fusionner le séquenceur et l'interface sur une seule carte.

La fonction interface est séparée entre l'interface séquenceur et l'interface expérience. Toutes deux isolées électriquement, mais reliées mécaniquement afin de pouvoir contrôler les deux cartes. Elle permet pour l'expérience et le séquenceur : leur allumage via un interrupteur ainsi que le contrôle de leur état via des LEDs.

Quatre LEDs permettent de connaître l'état du séquenceur et de l'expérience :

- Allumage séquenceur (rouge)
- Enclenchement du câble jack (verte)
- Allumage expérience (rouge)
- Carte SD en place (verte)

La fonction séquenceur permet de déployer le parachute au bon moment. Elle détecte le décollage de la fusée grâce à un câble jack qui est arraché au moment du décollage. Cet événement déclenche une temporisation analogique (circuit RC + comparateur), qui elle-même commande un pont en H activant le moteur de la trappe parachute.

La présence de deux optocoupleurs permet également de transmettre (sans lien électrique) le moment du décollage, et celui de l'ouverture du parachute, à la carte expérience.

## Carte expérience

La carte expérience permet de récupérer les mesures nécessaires à l'expérience. Elle se base sur un microcontrôleur STM32 F411RE et permet de récupérer :

- Les accélérations linéaires sur 3 axes.
- Les vitesses angulaires sur 3 axes.
- La température (non-vital, mais utile durant les tests)
- Les informations GNSS (latitude, longitude, altitude, temps)
- L'état du séquenceur via des optocoupleurs (décollage de la fusée et ouverture du parachute)

Ces mesures sont ensuite enregistrées sur une carte SD présente dans la fusée pour récupération ultérieure.

Il était initialement prévu de pouvoir optionnellement récupérer les mesures en LoRa. La carte intègre donc également un émetteur/récepteur LoRa RFM95W-868S2 pour cette fonction, mais a été désactivé faute de temps pour le logiciel de cette partie.

# Conception logicielle

## Architecture logicielle

Les tâches assignées au système sont la lecture d'un nombre de capteurs et le stockage de ces données.

Nous avons donc décidé de structurer le logiciel autour de deux fonctions, une fonction d'acquisition et une fonction de stockage, appelées à intervalle régulier (contrôlé par timer) après une initialisation.

## Acquisition

Une portion des capteurs de la carte expérience (l'accéléromètre et le gyroscope) communique par interface I2C et sont interrogées durant la portion "acquisition" de la boucle.

Toutes les autres valeurs mesurées (température via thermistance, coordonnées GNSS via serial, état du séquenceur via GPIO) sont obtenues par des interruptions, et la fonction d'acquisition se contente de les formater en séquence de caractères lisibles.

## Stockage

La seconde partie de la boucle comporte le stockage et/ou la transmission des données.

La séquence de caractère élaborée durant l'acquisition est stockée dans la carte SD (utilisant l'interface FATFS) et transmise via sérial pour débogage.

Il était prévu de transmettre les données via LoRa, mais la fonction n'a pas été implémentée à temps.

## Traitement des données

L'approche de traitement de données envisagée consiste en une élimination des biais des capteurs utilisés, par un seuillage et une correction du drift (pour le gyro) et un passe-bas en fenêtre glissante pour les accéléromètres, calibrés sur une séquence de données où la fusée est immobile, les caractéristiques étant propres à chaque composant.

## Vol et analyse des données

Le Vendredi 11 juillet à 10h10 NormanDIY à pris son envol depuis la rampe Toutatis sous l'impulsion de son propulseur.



Après une phase propulsée nominale, au bout de 14.6 secondes, elle atteint comme prévu son apogée, moment auquel nous avons pu constater le déploiement nominal de son parachute.



## Rapport de projet FX-37 NormanDIY

Suivant une descente calme sous sa toile, la fusée s'est posée dans les fougères du champ de tir de Ger.

Malgré une localisation par l'équipe de loc du site de lancement, les épaisses fougères ne nous ont pas permis de retrouver notre vecteur d'expérience.

Bilan	
Mécanique	Fonctionnement nominal
Séquenceur	Fonctionnement nominal
Expérience	Fonctionnement inconnu
Données de vol	Statut inconnu