

FX 11 – EOLE

Nom des membres du projet :

JOUEN Angel, LECLEVE Alizée, DECAENS Côme, MORIN Lazare, ORGER -- BLEUET Maxence, PEPAY Lucie, PIGOT Brice, PEIX Guillaume

Résumé :

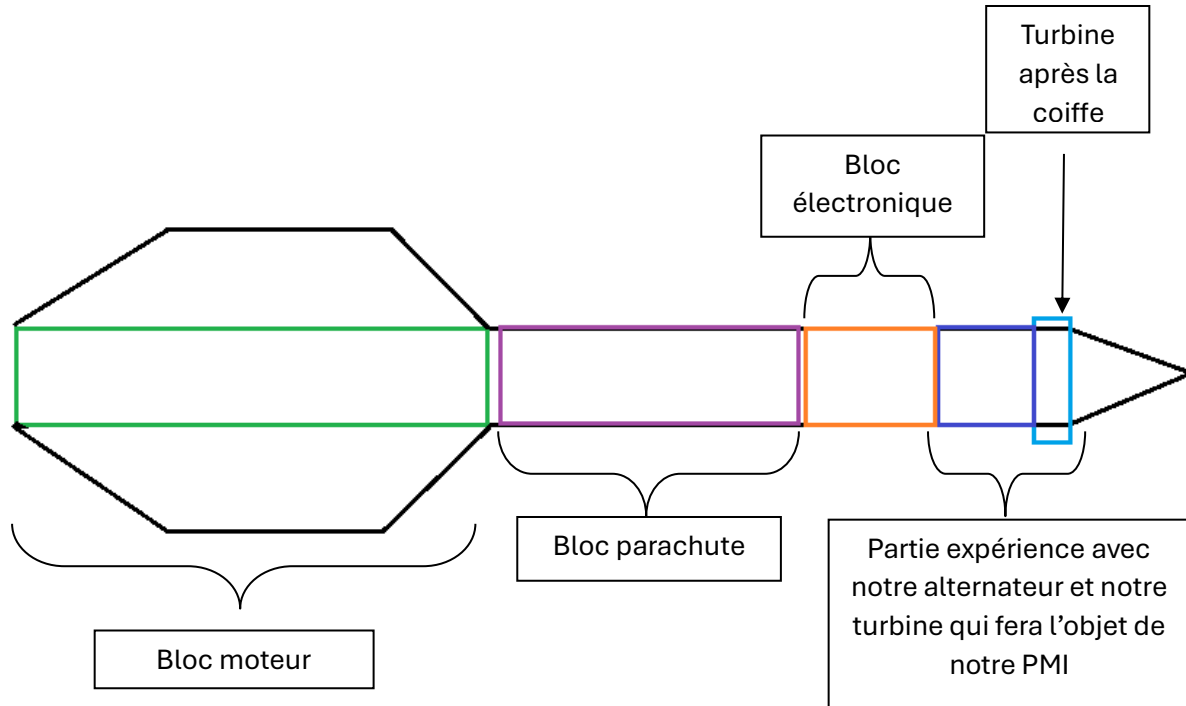
Fusée expérimentale avec production électrique par une turbine alternateur, analyse de la production et de la rotation de la turbine.



[illegible]

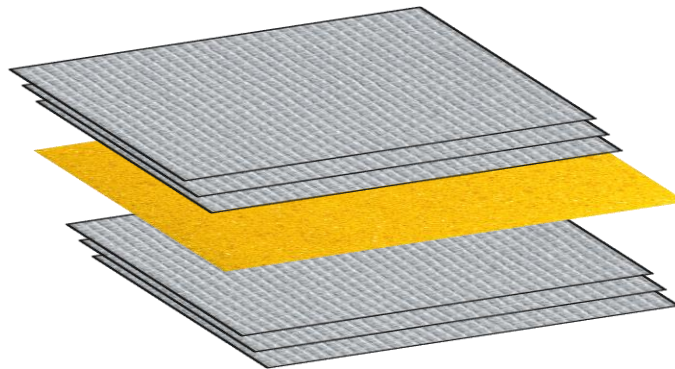
2. DESCRIPTION MECANIQUE

La conception mécanique de EOLE répond aux caractéristiques suivants :



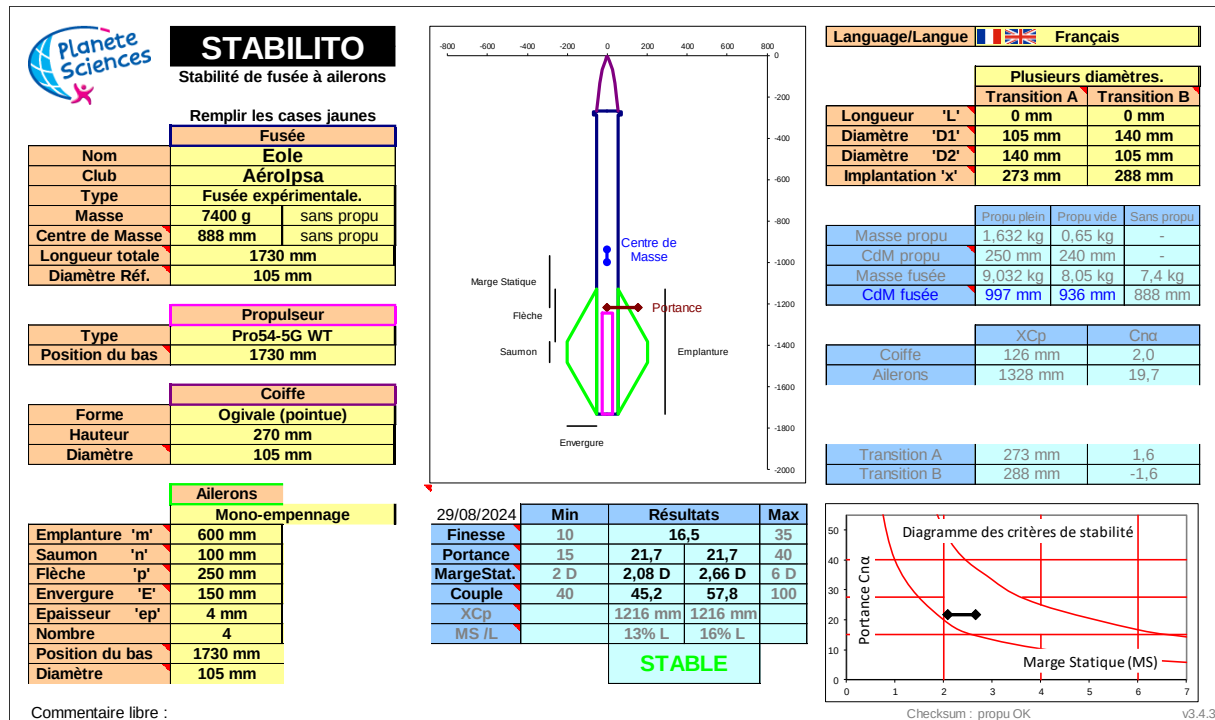
La fusée comporte alors différents blocs fixés sur des bagues au fuselage. Il s'agit donc d'une structure dite peau porteuse.

Le tube est réalisé suivant une technique de moulage composite sur tube en PVC. Il est composé de 6 couches de fibres de verre avec une couche de mousse au milieu. Le tout est appliqué sur le tube PVC avec de la résine époxy. La présence de la couche de mousse permet d'épaissir le tube sans compromettre son poids. Ainsi, la fixation des différents blocs sur la peau sera plus résistante.



La conception du tube a permis de valider tous les tests physiques et structuraux de la fusée.

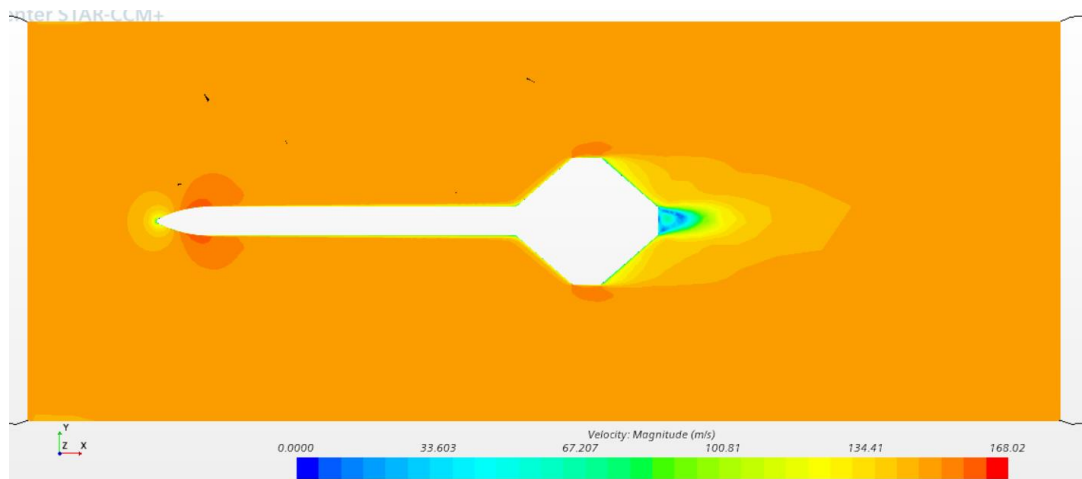
La conception de Eole a nécessité différents calculs et réalisation de stabtraj. En effet, la présence d'une turbine n'est pas incorporable dans le stabtraj. Il a donc fallu calculer la traînée totale de la fusée avec la turbine. Nous avons donc suivi le document stabtraj suivant :



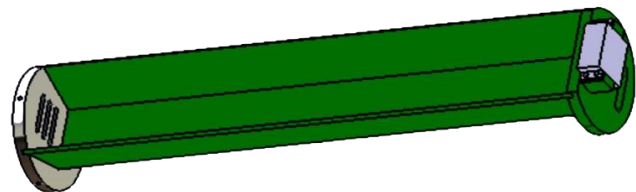
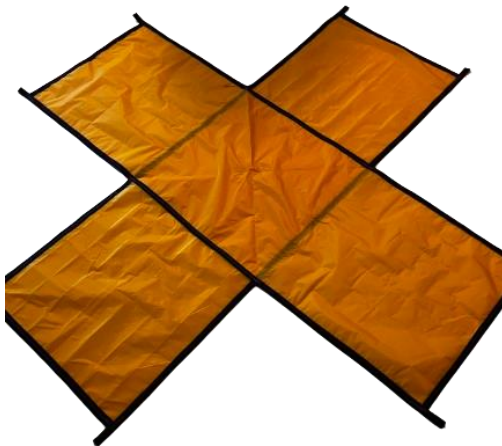
Ce document présente la fusée avec un double diamètre représentant la turbine. Nous avons aussi modifié le coefficient de trainée de la fusée en seconde page afin d'avoir une apogée plus fiable.

profil	NACA 9409				
nb ailettes	24			vitesse max	213
Rayon turbin	0,07			rho	1,225
Rayon fusée	0,05			mu	1,81E-05
Cx ailette x1	0,008			longueur cor	0,02
Cx fusée	0,6			Re	288314,917
Sref fusée	0,00785398				
Sref turbine	0,00376991	Cx turbine	0,192		
		Cx_tot	0,69216002		

Les ailerons sont en diamants et on maximise l'envergure afin de résister aux perturbation du flux d'air généré par notre turbine. De plus, on choisit une longueur de fusée assez longue pour que nos ailerons soient le plus loin des perturbations.



Le système de récupération de la fusée est un parachute en croix de côté 50x50. Réalisé par une couture de deux rectangles de 150x50 de toile de spi, il est ensuite fixé par des suspentes rigides de section 4mm Ø. Les suspentes sont reliées à un émerillon qui est fixé à une sangle de section rectangulaire et de longueur $l = 1,5 \times l_{fusée}$. Cette sangle est ensuite fixée à une bague en aluminium.



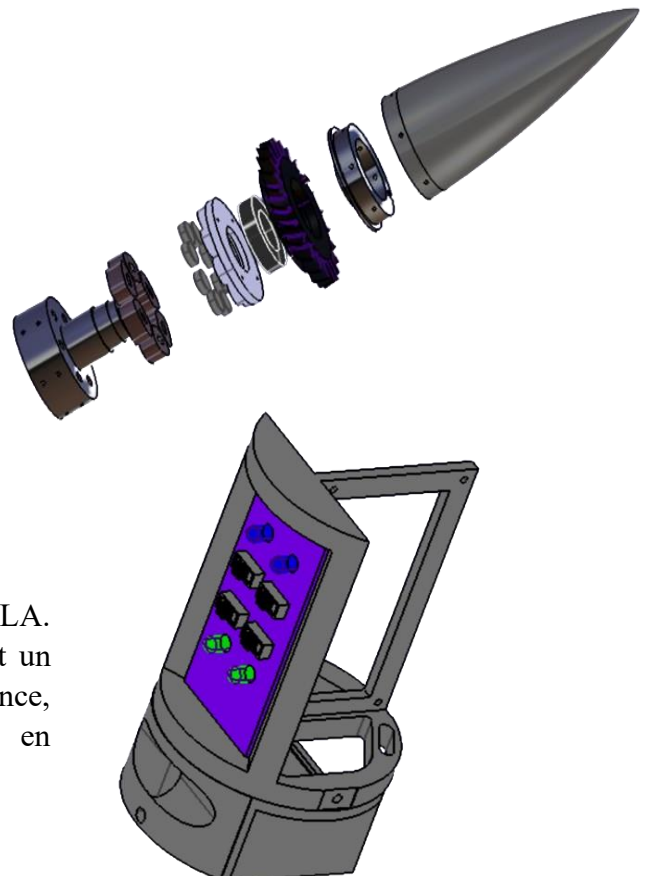
La fusée est composée de différents blocs décrits ci-dessous :

- Bloc expérience et coiffe :

L'ogive est de type Von Karman et mesure 267mm. Elle repose sur l'arbre de la turbine qui est en aluminium et qui est en deux parties. Une partie mâle qui présente une jupe afin de mieux s'accrocher au tube et une partie femelle qui contient une rainure pour le tour/minute et qui accueille la coiffe. Cet arbre s'emboîte et emprisonne le roulement à billes. Le roulement à billes est quant à lui emboîté dans la turbine et dans le support des 8 aimants. Les bobines sont au nombre de 6 et font 200 spires. Elles sont trempées dans la résine époxy et sont collées à l'arbre mâle.

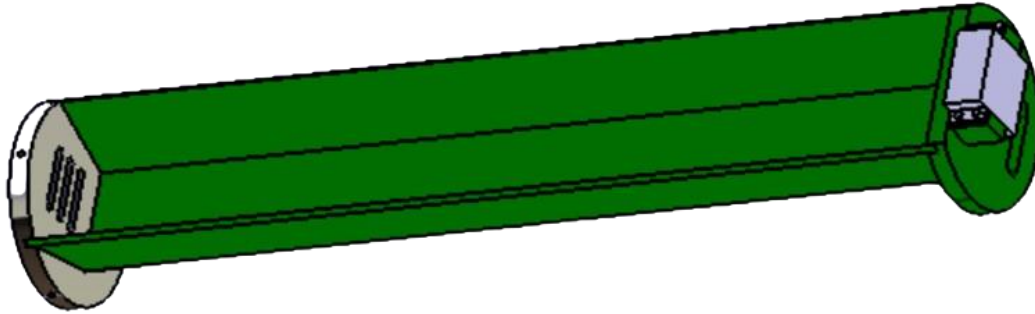
- Bloc électronique :

Le bloc électronique est en 3 parties imprimées en PLA. Il présente un tiroir qui accueille l'alimentation et un support carte qui accueille les 3 cartes PCB (Expérience, interface et séquenceur. (Schémas électroniques en annexe)



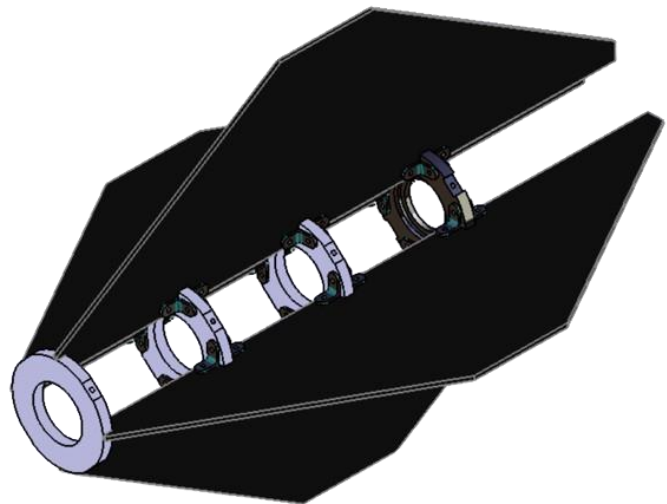
- Bloc parachute :

Ce bloc accueille le parachute. Il est composé d'un caisson en PLA collé à deux bagues : La bague de support du servomoteur et la bague de support du parachute qui est en aluminium. Il mesure 60cm de long et peut être réduit considérablement pour les prochains projets.



- Bloc propulsion et ailerons :

Ce bloc accueille le propulseur et maintient les ailerons. Il est composé de 3 bagues de support et de centrage en delerine et d'une bague de reprise de poussée en aluminium. Les ailerons sont en fibre de verre et sont fixés dans des fentes des bagues et maintenues par des équerres.



3. DESCRIPTION ELECTRONIQUE

L'électronique de notre fusée se décompose en trois parties. Premièrement, le séquenceur ; alimenté par deux piles 9V et contrôlé par un microcontrôleur arduino nano every, il régit l'ouverture du servomoteur à l'apogée. La deuxième carte électronique est la carte d'expérience. Cette carte comporte les modules d'analyse de courant, de tension, d'altitude et du nombre de tour par minute de notre turbine. Elle est aussi alimentée par deux piles 9V. Enfin, la troisième carte électronique est la carte de l'interface. Cette carte permet d'interagir avec les autres cartes de la fusée et ainsi de connaître les différents états de notre fusée. Les schémas électriques sont en annexe.

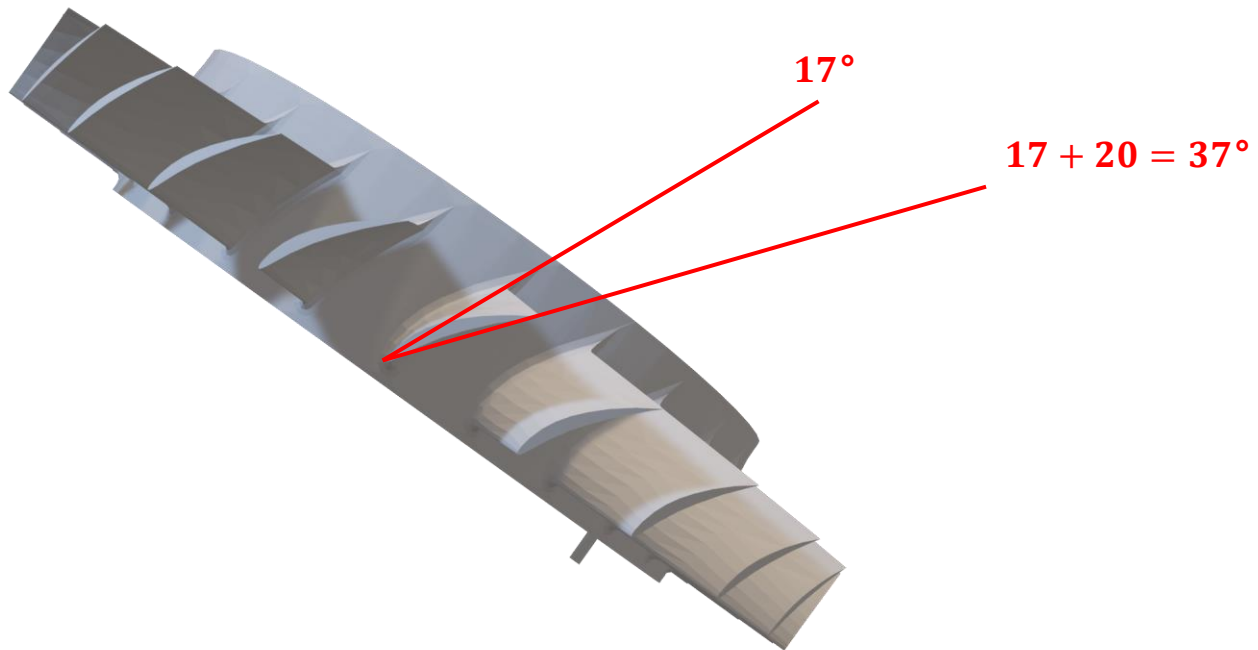
En détaillant davantage la carte séquenceur, on utilise le courant des deux piles 9V en dérivation pour alimenter le microcontrôleur. On utilise ensuite un convertisseur 9V – 5V pour alimenter le servomoteur. On obtient donc une tension plus stable. La minuterie de notre fusée s'effectue par compteur interne, nous utilisons un compteur relié à la bibliothèque millis d'arduino afin de compter les 15 sec de vol jusqu'à l'apogée.

Pour la partie expérience, le microcontrôleur est alimenté sur la sortie 5V d'un second convertisseur. Nous utilisons un capteur de pression et de température BMP390 de chez adafruit et on le branche en I2C à l'arduino. Pour le capteur du nombre de tours par minute, nous utilisons une diode optronique OPB620 que l'on relie en I2C à la broche D2 de l'arduino en interrupt. Cette diode capte le passage d'un picot présent sur la turbine. Nous arrivons ensuite à la partie conversion et analyse d'énergie. Nous récupérons une phase de notre alternateur triphasé que l'on redresse via un pont diode. Nous ajoutons ensuite une résistance de quelques Ohm afin d'avoir une charge sur notre circuit et ainsi analyser le courant produit par un capteur ACHS de la marque Polulu. On effectue sur la suite du circuit, un pont diviseur tension afin de convertir une tension max fixée à 100V/phase à du 5V. On ajoute un condensateur sur la branche 5V en dérivation pour faire ressortir un filtre RC permettant de lisser la sinusoïde. La conversion ADC de la tension et de l'intensité s'effectue par un ADC externe à l'arduino pour de meilleures performances. Cet ADC dispose cependant d'une fréquence de 3KHz là où notre alternateur est à 1333Hz max. Cela justifie la présence du lissage par filtre RC. Nous communiquons avec la carte SD en SPI entre la arduino et le ADC.

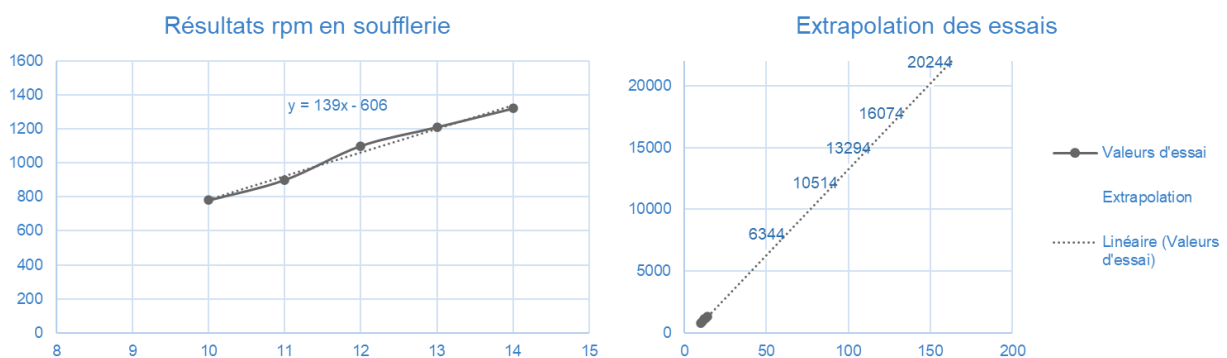
Enfin, l'interface dispose de LED et de switch. Les LED nous indiquent les états de la fusée. Nous avons indiqué la bonne communication entre tous les composants (écriture SD, communication Baromètre, ...) avec un léger clignotement en début d'allumage de l'alimentation de l'expérience.

4. EXPERIENCE

Nous cherchons à travers le vol de notre fusée, à produire de l'électricité grâce à notre turbine. Pour cela, nous avons étudié le meilleur profil à utiliser ainsi que l'inclinaison de la pale. Nous en avons conclu que le profil NACA 9409 correspondait à nos attentes de par sa portance importante aux grandes incidences et sa torsion de pale. Nous avons alors designer une turbine de 24 ailettes suivant le profil NACA indiqué et subissant une incidence de 37° .



Cette turbine a un rayon externe de 7cm (corps + 2cm d'ailettes). Selon les essais menés en soufflerie, notre turbine devrait atteindre des vitesses de rotation supérieures à 20 000 tr/min. Cette valeur ne représente pas l'action de la saturation du roulement à billes.



Nous comptons donc maximiser le rendement de notre turbine afin de mesurer la tension et le courant produit selon le montage expliqué dans la partie électronique.

S'agissant d'un alternateur conçu par nos soins, nous ne sommes pas en mesure d'en prédire la production. Cependant, nous avons pris des plages de capteurs assez larges pour résoudre ce problème.

5. DEROULEMENT DU VOL

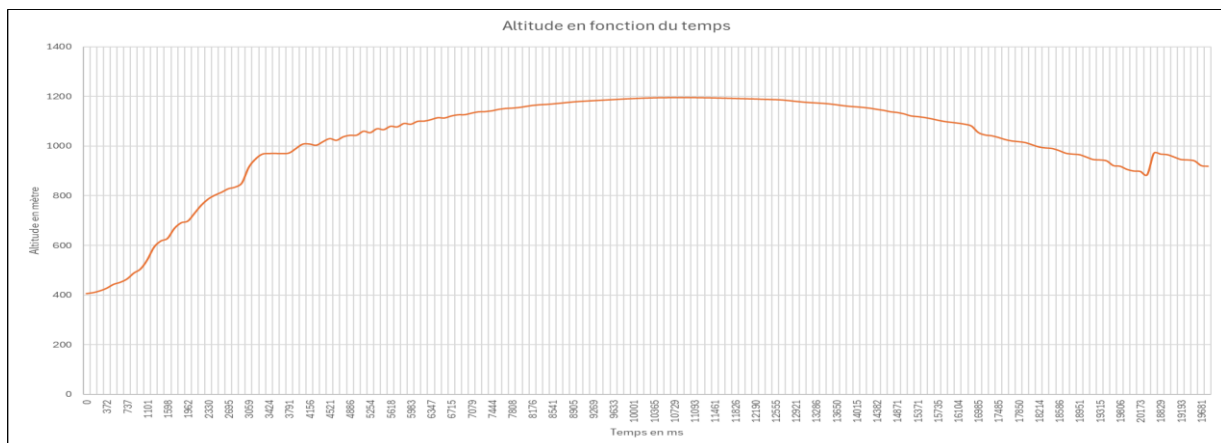
Le vol s'est déroulé le jeudi 11 juillet en début d'après-midi. Le ciel était dégagé et il faisait 37°C en ZAS.

À la suite d'un défaut d'alimentation du boîtier de mise à feu, la fusée a décoller. Quelques oscillations se sont fait remarquer. La phase ascendante fut marquée par une ouverture de la trappe parachute provoquant ainsi l'arrachage de ce dernier. Ce problème survient de la trappe qui disposait d'un système de fixation déjà utilisé sur propulseur Pro54 5G mais qui n'a pas survécu aux vibrations du propulseur Pro54 WT. La trappe était, en effet, fixée par un loquet en aluminium où venait se nicher la tête du servomoteur. Un meilleur système de fixation de trappe ou des maintiens latéraux aurait pu éviter ce problème.

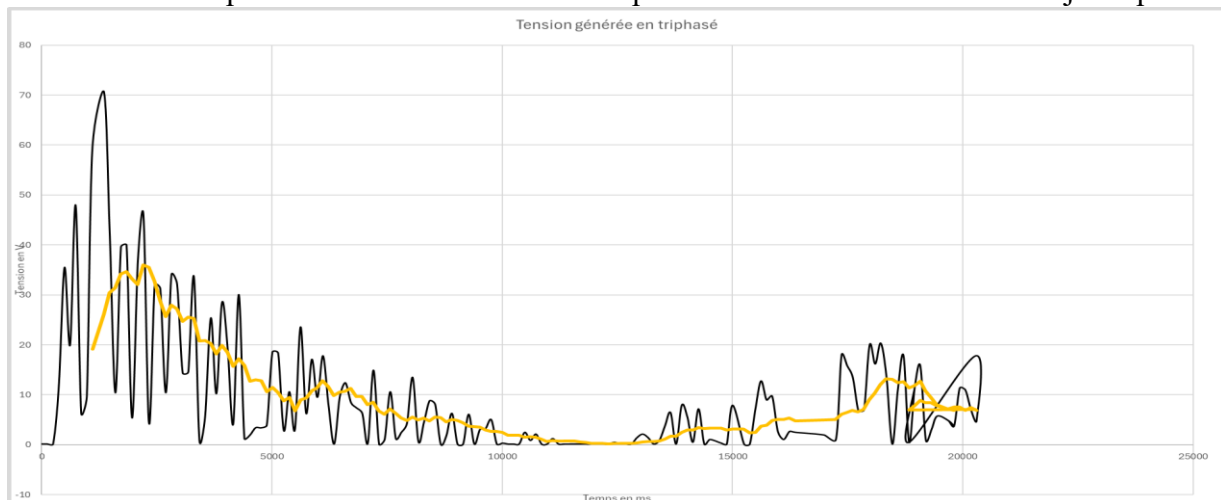
Nous avons réussi à récupérer la fusée qui a fait un vol balistique. Nous avons aussi récupéré la carte SD.

6. RESULTATS

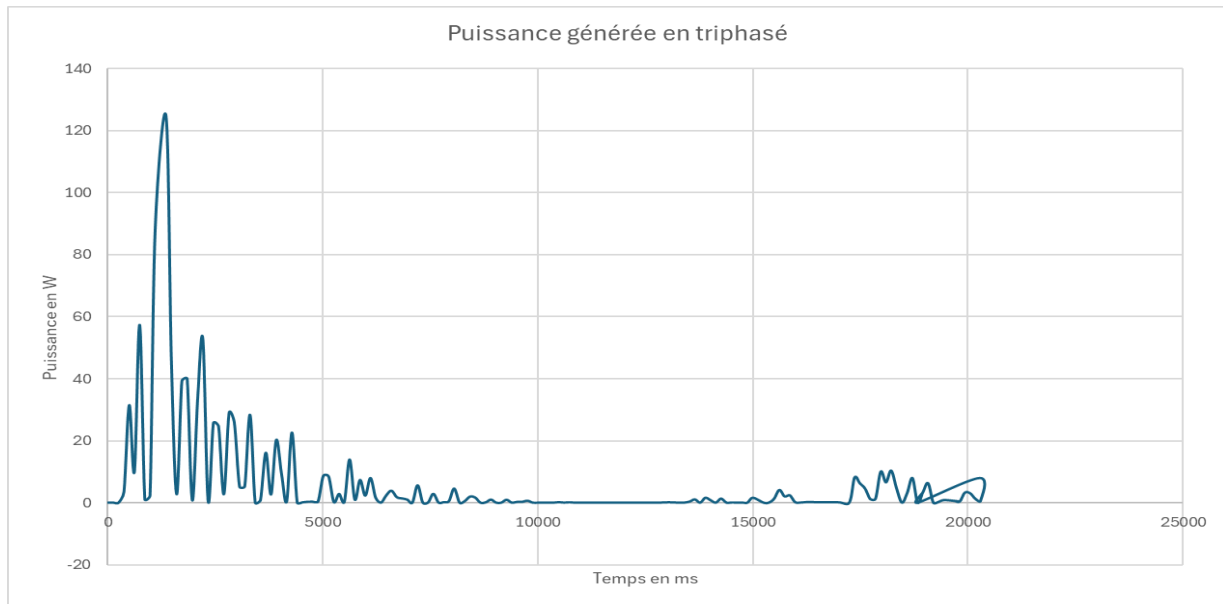
Nous avons pu récupérer les données du vol balistique et les exploiter par la carte SD. Nous obtenons ainsi les courbes suivantes :



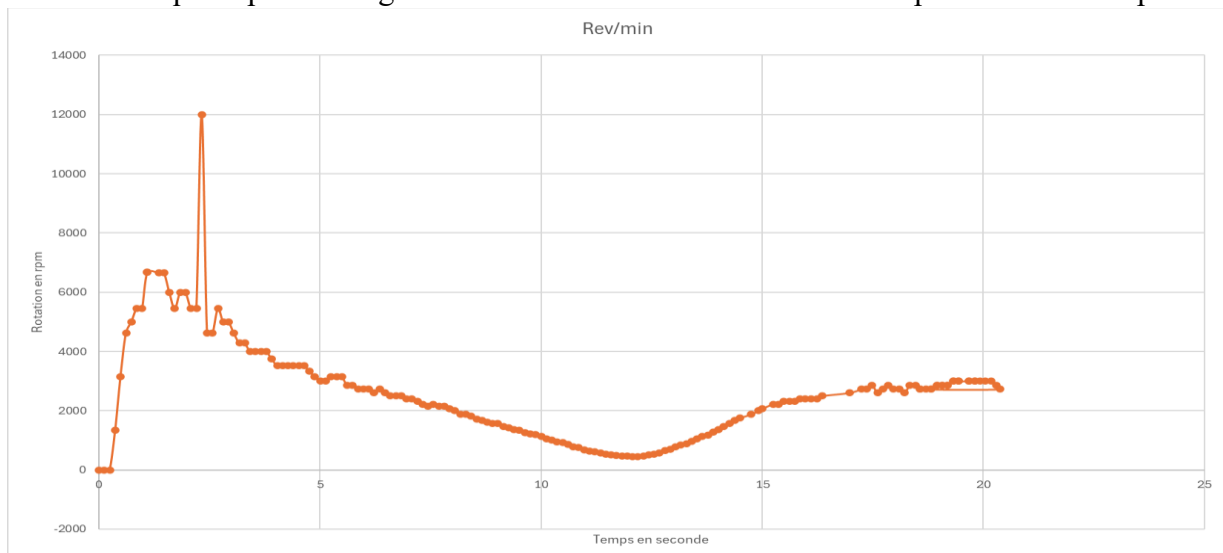
Les données récupérées sur la SD ne contiennent pas l'entièreté du vol mais une majeure partie.



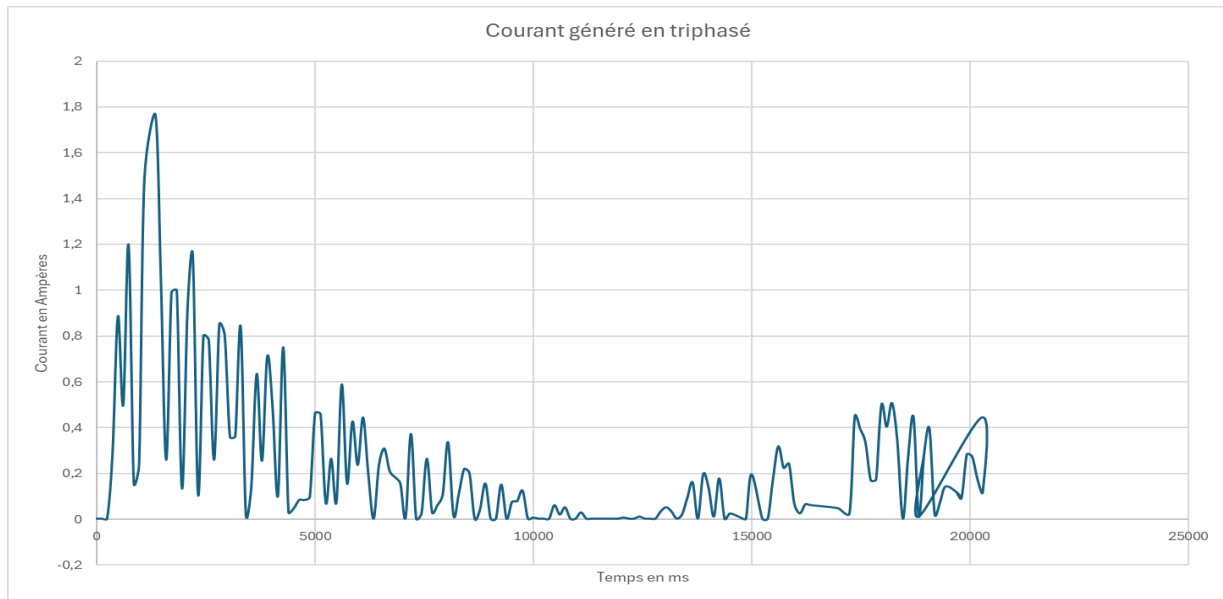
La tension générée est assez représentative du vol de notre fusée. On retrouve une montée de production correspondant à la phase ascendante puis une diminution de la production au temps d'apogée et enfin une nouvelle production en phase descendante balistique.



On constate que la puissance générée suit la courbe de tension. Avec un pic à 124 W en triphasé.



Nous pouvons voir une valeur aberrante de 12000 tr/min qui ne doit pas être prise en compte. Notre turbine aura donc eu une pointe de rotation à 6666tr/min. Nous avons retrouvé des ailettes sur la zone d'impact, on peut donc en conclure que la turbine à résister au décollage.



Nous pouvons remarquer que les rotations de la turbine sont très nettement inférieures aux rotations attendues. Cela s'explique par la saturation du roulement à billes. En effet, à forte vitesse, les coefficients de frottement du roulement saturant la rotation de ce dernier.

Cependant, nous avons prouvé que EOLE a produit de l'électricité. L'expérience est donc un réel succès et nous sommes très fier des résultats obtenus.

7. CONCLUSION

Nous avons donc conçu une fusée expérimentale ayant comme principal objectif de produire de l'électricité par une turbine reliée à un alternateur que l'on a nous même conçu. La fusée suit des caractéristiques mécaniques connues au sein de notre association telles que le tube en fibre de verre et mousse, la conception des bagues de support du parachute ou les systèmes de maintiens des ailerons.

EOLE fut qualifié et a volé le 11 juillet. Après un vol balistique dû à un arrachage de la trappe para en phase ascendante, nous avons récupéré et exploité les données de notre génération d'électricité. Les résultats importants à retenir sont :

- Apogée : 1150 m
- Tension max : plus de 70,56 V
- Puissance max : 124,46 W
- Courant max : 1,764 A
- Rotation max de la turbine : plus de 6666 rpm

Nous avons acquis de nombreuses compétences en conversion d'énergie, mais aussi en traitement de signal et en aérodynamique. La gestion du projet fut intéressante et nous a permis d'acquérir des notions d'organisations et de gestions d'équipe.

Nous sommes fiers du fonctionnement général de l'électronique de EOLE (servo en position ouvert au sol, récupération des données) et de la mécanique de notre turbine qui tourne encore.

De nombreuses pistes restent tout de même à améliorer, notamment la solidité de la trappe du parachute, il faudrait s'intéresser à un système similaire aux fusées (Cyclone, SP01, Arcturus). Pour l'expérience, il serait alors intéressant d'utiliser un roulement à billes en céramique permettant de limiter les frottements. Aussi, il est possible d'augmenter l'envergure des ailettes de la turbine pour avoir plus de rendement.

Pour la génération électrique, le triphasé reste une bonne solution. Il est possible de diminuer la section des fils de cuivres utilisés pour les bobines (1mm) pour augmenter le nombre de spires. La surface de bobinage peut aussi être optimisée.

Enfin, il est possible de gagner du poids notamment avec des ailerons plus petits et un système d'ailerons collés. L'arbre de la turbine peut lui aussi être allégé avec divers trous internes.

Il s'agit là d'un projet avec beaucoup de pistes d'amélioration qui peut continuer sur un stockage ou une utilisation de la production électrique.

Nous tenons à remercier Planète Science pour les conseils et l'organisation du C'space permettant le décollage de magnifiques projets. Nos remerciement s'adressent aussi à l'entreprise ReproAuto, spécialiste dans la production de pièces 3D en PLA et résine. Nous avons étroitement collaboré avec eux dans la réalisation de pièces prototypes, de la turbine et des pièces finales de la fusée.