

# COMPTE RENDU E.N.S.M.A.

*Ensmatic New Space Module Aeroglider*



Minifusée Mf21

Septembre 2017

## *Introduction au projet*

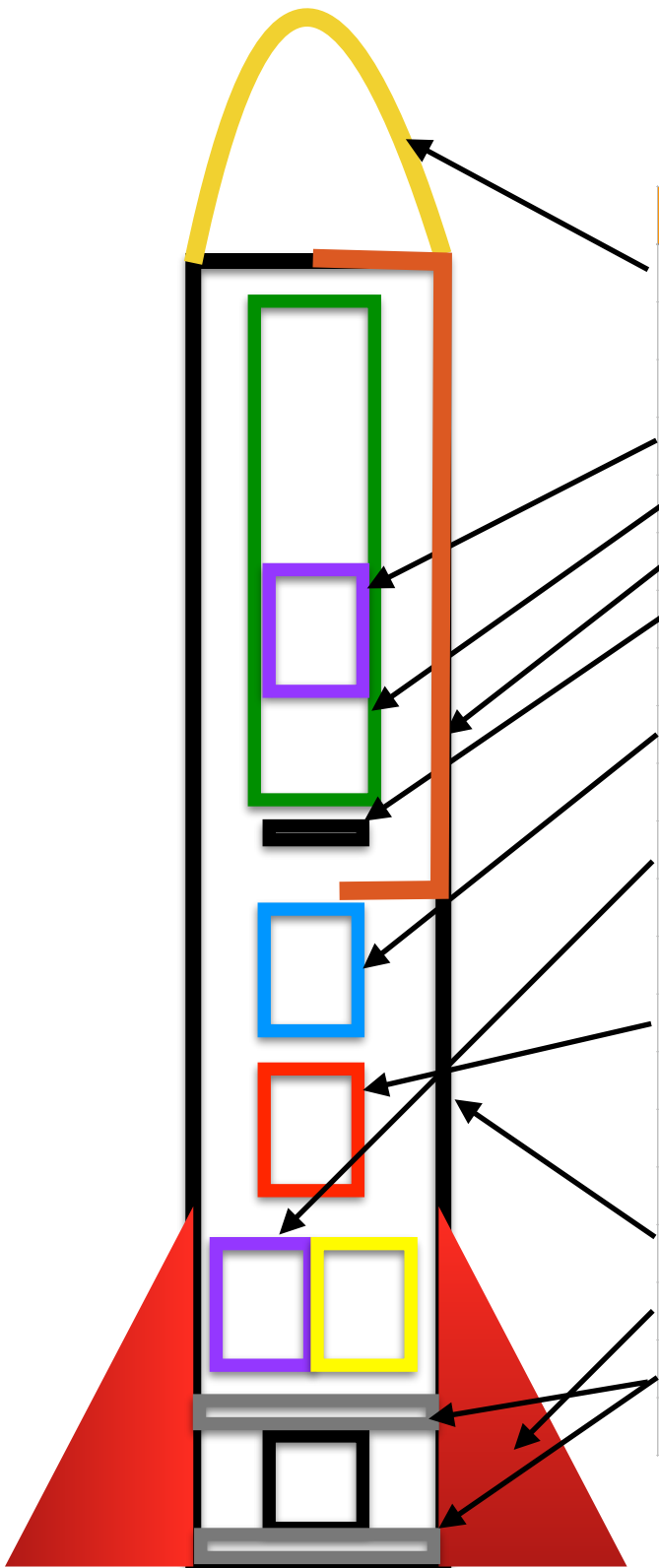
### Objectif

Le projet, soutenu par l'Ensm Space Project (ESP), s'inscrit dans le cadre du CSpace organisé par Planète science avec la coopération du CNES. Notre équipe est composée de 9 étudiants de première année de cursus ingénieur.

Notre objectif est de concevoir une fusée permettant de « larguer » un planeur à son apogée. La fusée serait ainsi composée de deux étages, le premier composé du système de propulsion et de séparation et le second d'un planeur. Chaque étage utilisera un parachute pour revenir au sol : immédiatement après la séparation pour la partie basse et après un temps  $t$  de planage pour la partie haute.

Cependant, la réalisation d'un planeur asservi en direction présentant de nombreuses difficultés, nous avons décidé de nous concentrer sur un planeur inerte, celui-ci devant décrire un vol en cercles concentriques jusqu'au sol.

## Approche globale des différents composants



Composant	Partie
Coiffe (impression 3D)	Fusée
Divers elec Fusée	Fusée
Nano Arduino planeur	Planeur
Planeur (polystyrène)	Planeur
Pétalee (pvc)	Fusée
Plaque métallique (pour électroaimant)	Fusée
Cône male (impression 3D)	Fusée
Ressort	Fusée
Cône femelle (impression 3D)	Fusée
Ventouse magnétique	Fusée
Parachute	Fusée
Servomoteur	Fusée
Charnières (x3)	Fusée
Nano arduino	Fusée
Batteries pile 12V	Fusée
Vis en divers petits équipements	
Fixations bagues (liège)	Fusée
Corps étage 1 (pvc)	Fusée
Ailerons (x4) (alu)	Fusée
Bague centrage et plaque poussée (alu)	Fusée
TOTAL	Fusée

## Systeme de recuperation

### Dimensionnement du parachutes

Données utilisées pour effectuer le dimensionnement :

➤ Masse totale de la fusée

Mf =	2 104 g
------	---------

On prend en compte la masse de la fusée sans celle du propulseur étant donné que celui-ci aura été consommé.

➤ Masse du planeur

Mp	170 g
----	-------

➤ Masse corps fusée

Mc	1 934 g
----	---------

g (m.s-2)	masse volumique air (kg.m-3)	Cx (sans unité)	
9,81		1,3	1

On peut calculer la surface du parachute à partir de la vitesse de descente souhaitée. La formule utilisée est:  $v = \sqrt{(2 * m * g) / (\rho_0 * C_x * S)}$

Partie	Vitesse (m/s)	Surface (m²)	Rayon (m)
fusée	10	2,92E-01	3,05E-01

Calcul de la force appliquée sur le parachute:

PFD projeté sur l'axe vertical:  $m a = m g + F$

En régime permanent  $a = 0$  donc  $F = -m g$

Partie	F (N)	Pression (Pa)
fusée	12,86091	4,41E+01

En utilisant un pliage optimal la taille des parachute serait :

Corps Fusée :



Hauteur (mm)	Rayon (mm)	Volume
64,6609224448376	32,5	2,15E+05

## *Description des différentes solutions techniques retenues*

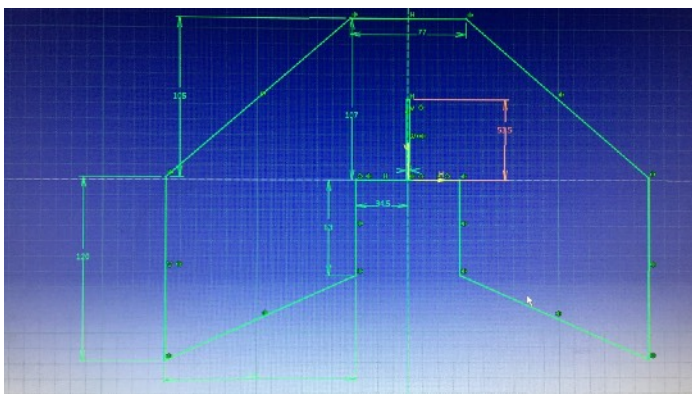
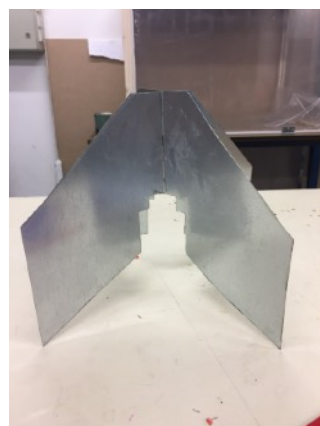
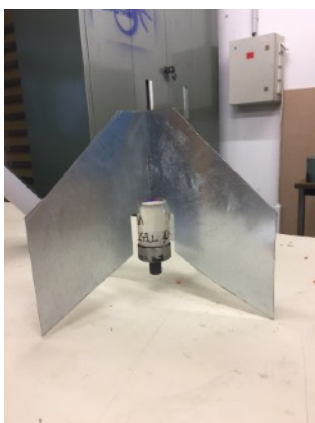
### Ailerons

Pour réaliser nos ailerons nous avons choisi d'utiliser des ailerons en croix. Nous avons retenu ce choix afin de rigidifier la structure basse de la fusée et permettre un montage et démontage facile.

Bien que les dimensions ne soient pas encore figées nous avons déjà réalisé un fichier avec un logiciel de CAO afin de faciliter leur mise en plan.

Nous avons ensuite réalisé des ailerons en acier de 0,8 mm uniquement pour valider la méthode et vérifier son intégration au reste de la fusée. Ce prototype a permis de valider la méthode utilisée, permettant à la fois de rigidifier la structure basse et d'avoir un très bon support de poussée pour le propulseur.

Pour la suite du projet nous avons choisir de réaliser les ailerons et plaque d'aluminium d'une épaisseur de 1,5 mm.



## *Description des différentes solutions techniques retenues*

### Bagues de maintien du propulseur

Nous avons choisi de réaliser deux bagues de maintien : une de poussée et une de centrage. Ces bagues vont avoir le double rôle de maintenir à la fois les ailerons et le propulseur.

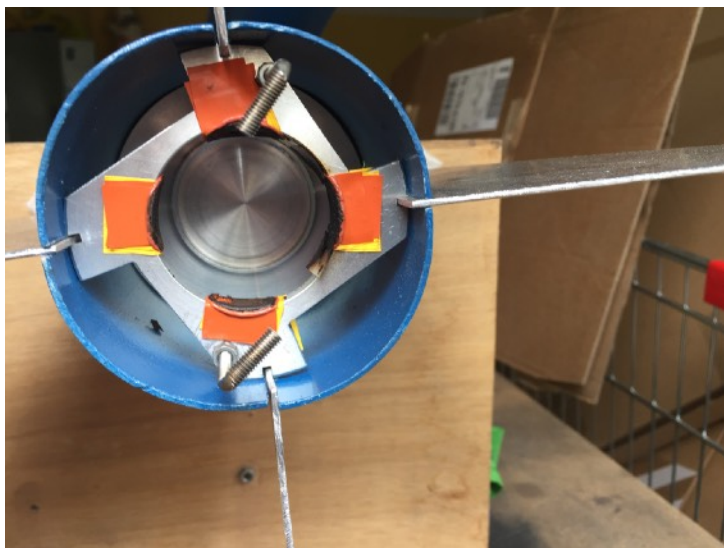
Nous avons pour cela réalisé les pièces sur un logiciel de CAO avant de les faire usiner en aluminium.

Bague de centrage :

Celle ci possède quatre trous taraudés (M3) situés à 90° chacun l'un de l'autre. Ces trous permettront de fixer la bague au corps de la fusée. De plus quatre fentes permettent de guider les ailerons. La pièce a été dessinée pour tenter d'optimiser la masse d'où cette forme en dents de scie. Le diamètre permet de faire passer le propulseur avec un léger jeu et les deux petits trous de part et d'autres vont permettre d'y insérer des pattes qui viendront empêcher le propulseur de tomber.

Bague de poussée :

Celle ci est similaire à celle de centrage pour sa partie extérieure, cependant elle ne présente pas de trou ce qui permet au propulseur d'avoir un appui solide sur lequel se poser. La rainure circulaire permet de caler le propulseur dans les directions orthogonales à la direction de la fusée.

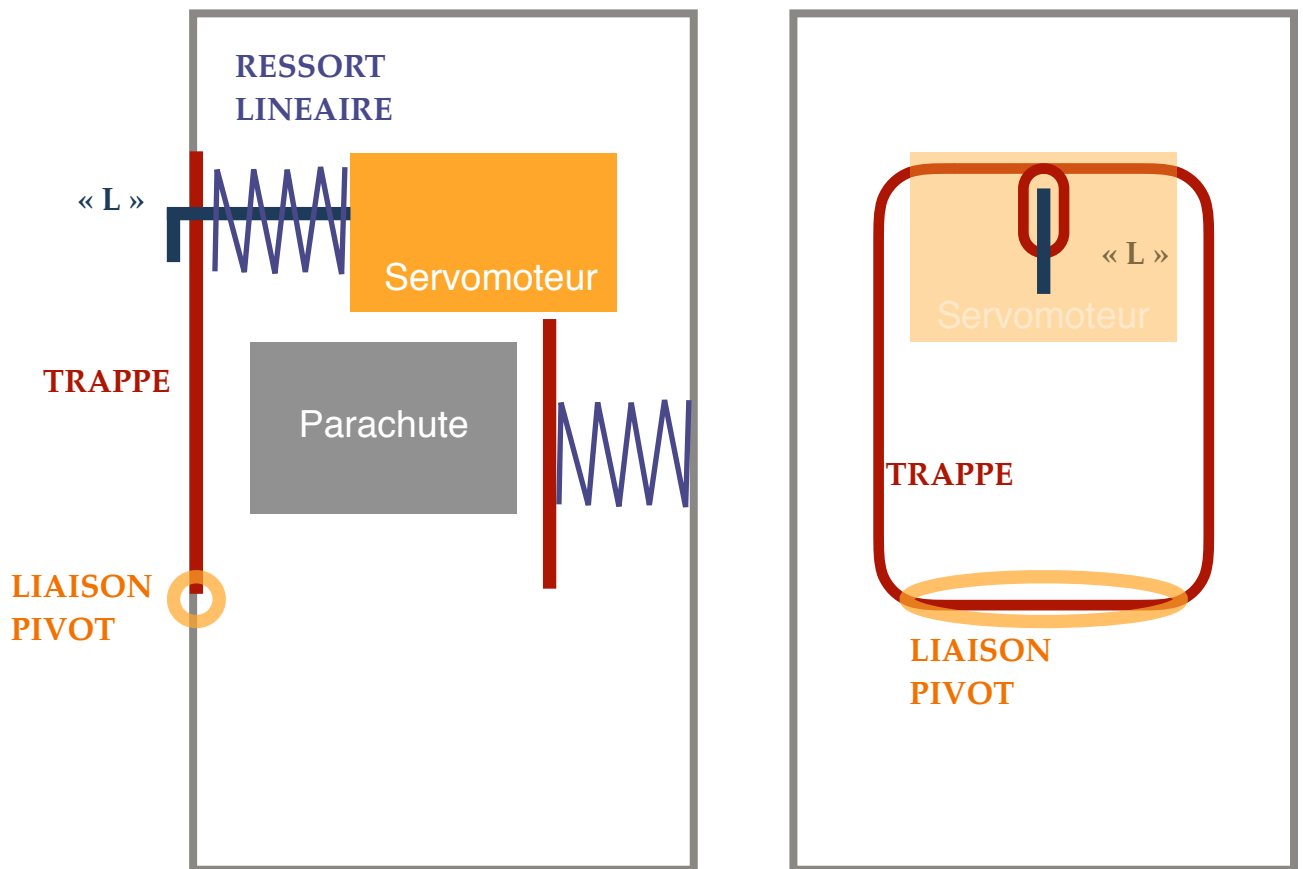


## Description des différentes solutions techniques retenues

### Trappe parachute

Le principe de cette trappe est de la lier au corps de la fusée en liaison pivot par le biais d'une charnière.

L'idée est de lier un arbre en L à l'arbre de sortie d'un servomoteur. L'orientation de ce L permettra de retenir ou de relâcher la trappe comme décrit ci dessous :



De plus on place un ressort autour du « L » ce qui permet de forcer l'ouverture de la trappe.

En pivotant le L de 180° la trappe est libérée.

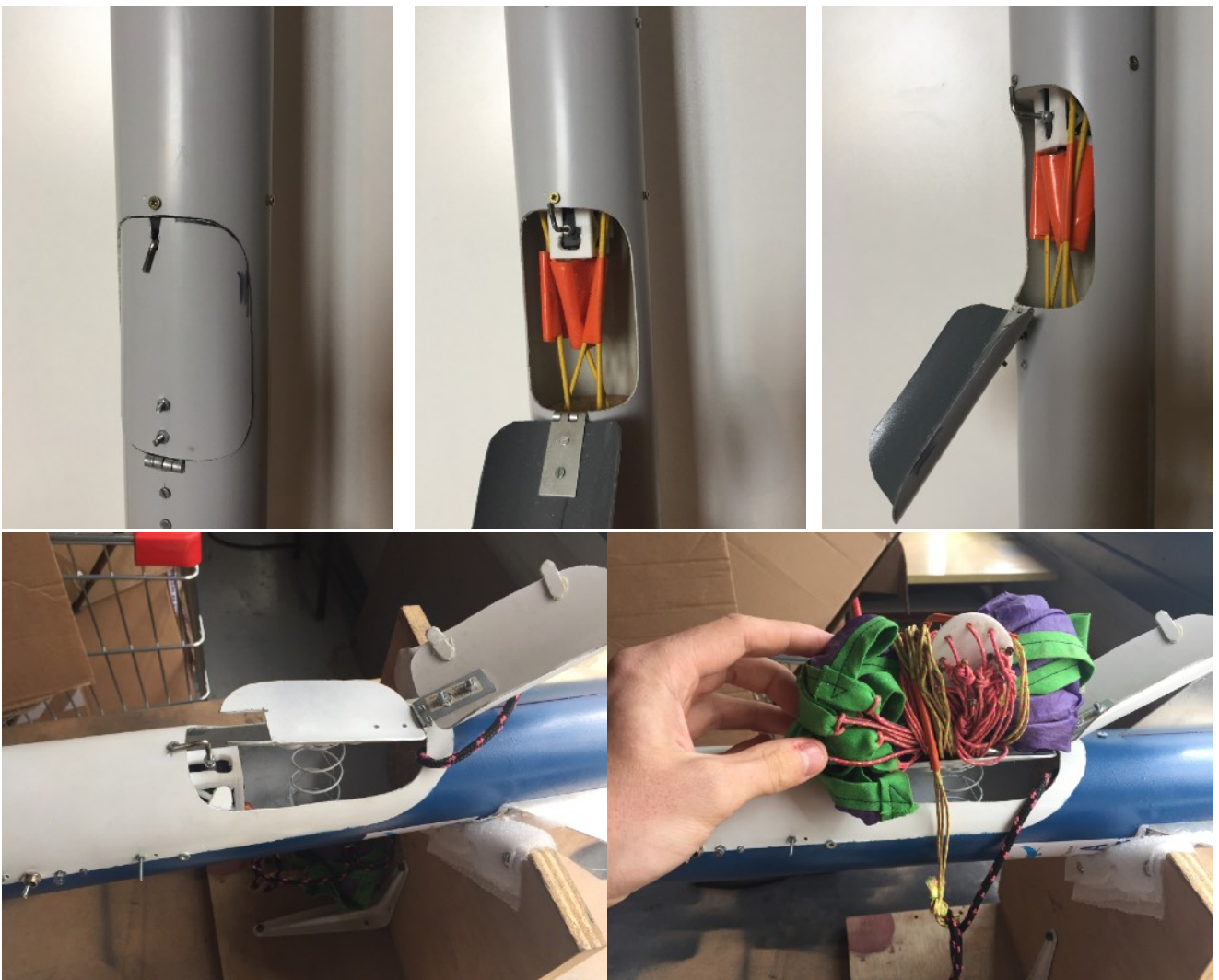


## *Description des différentes solutions techniques retenues*

### Expulsion parachute

Le déploiement du parachute étant un élément primordial en terme de sécurité et de récupération pour la fusée, nous avons ajouté un système d'expulsion du parachute de façon à s'assurer de son déploiement. Pour cela nous avons choisi dans un premier temps de créer un petit filet en élastique tendus qui appliquerons une force sur le parachute qui tendra à l'expulser du corps. Finalement nous avons utiliser un ressort pour expulser le parachute.

Ce filet est mis en place entre la bague qui maintient le servomoteur d'ouverture de la trappe et une bague de liège permettant à la fois de créer un plancher sur lequel sera posé le parachute mais aussi de l'isoler thermiquement du propulseur.



## *Description des différentes solutions techniques retenues*

### Corps fusée

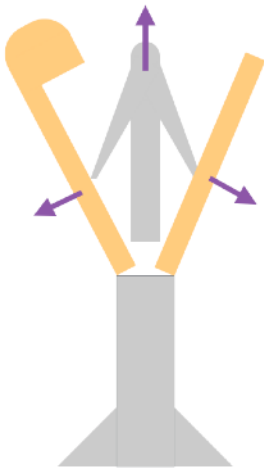
Nous avons choisi d'utiliser un tube de PVC de diamètre 80mm et d'épaisseur 1mm. Ces contraintes géométriques ont été dictées par trois éléments :

- permettre de faire rentrer un planeur suffisamment grand pour voler
- limiter la masse de la fusée
- avoir un matériau facile à travailler

Le corps de la fusée va permettre de maintenir chaque élément structurel à sa place, de les isoler de l'extérieur et de permettre une un bon aérodynamisme.

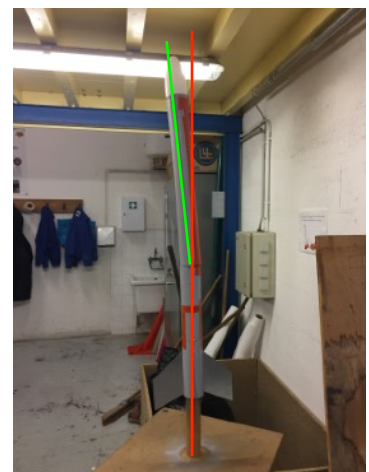
Rapide historique de notre démarche :

- nous avons dans un premier temps choisi de couper le corps de la fusée en trois parties (partie basse puis deux « pétales » qui s'ouvriraient à l'apogée pour libérer le planeur. Nous avons réalisé un prototype en carton puis en PVC. (voir ci dessous)



Cependant cette structure, bien que fonctionnelle, présentait deux inconvénients majeurs :

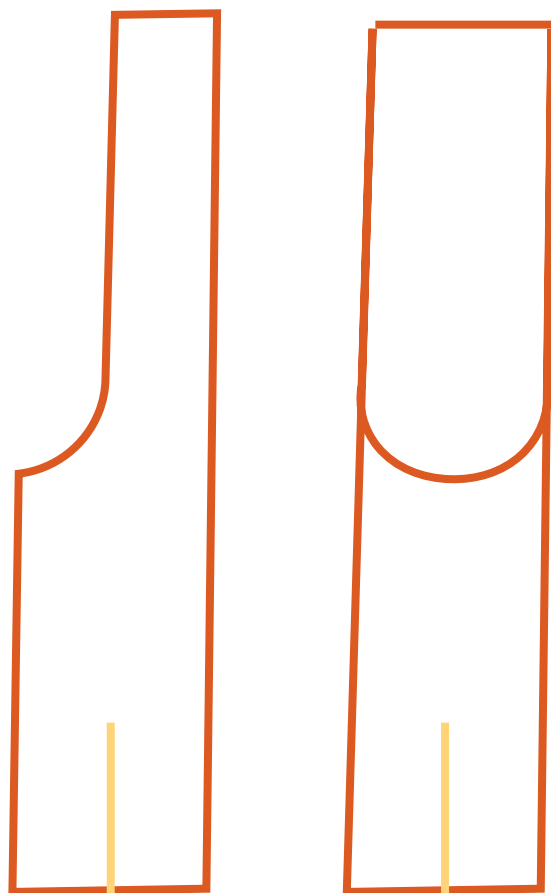
- un manque de rigidité qui se traduisait par un jeu des pétales et une flèche trop importante (problème qui commençait à être résolu par l'ajout d'éléments structurels)
- un risque de collision important entre la pétale retenant la coiffe et les ailerons



Nous avons donc choisi de modifier la structure afin de résoudre ces deux problèmes.

Notre solution a été de ne faire plus qu'un seul pétale. En effet la rigidité est largement accrue et nous rentrons ainsi dans les normes de flèche. Le pétale de la coiffe restera fixe ce qui permettra de supprimer totalement son risque de collision avec l'aileron.

Afin d'optimiser la résistance à la rupture de notre corps nous avons également évité toute angle saillant et opté pour une allure elliptique.



**FENTES  
AILERONS**

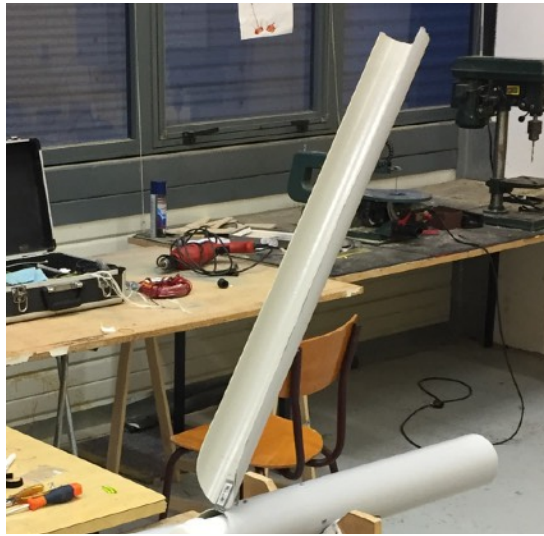


## *Description des différentes solutions techniques retenues*

### Pétale

Nous nous sommes donc restreint à l'ouverture d'une seule pétale pour faire sortir le planeur comme expliqué précédemment. Pour cela nous avons simplement découpé dans notre tube une pétale de sorte à reconstituer un tube plein.

La liaison de ce pétale avec le corps de la fusée va se faire par le biais une charnière métallique qui réalise donc une liaison pivot.

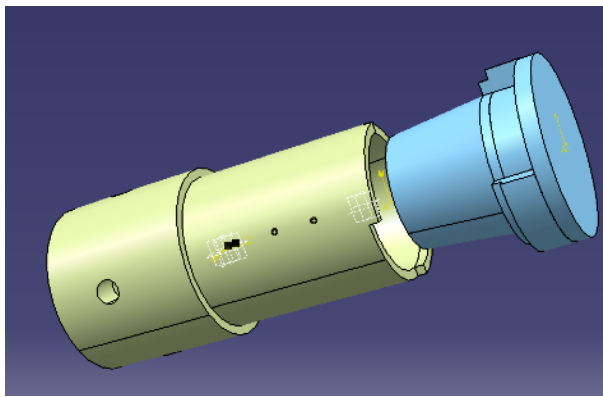


## Description des différentes solutions techniques retenues

### Système de séparation

Nous allons utiliser la combinaison d'un cône mâle et femelle afin de garder l'axe de poussée selon l'axe vertical. Cependant le cône mâle ne va pas partir avec le planeur mais va servir de « catapulte » pour le planeur mais c'est aussi lui qui va maintenir puis lâcher les pétales.

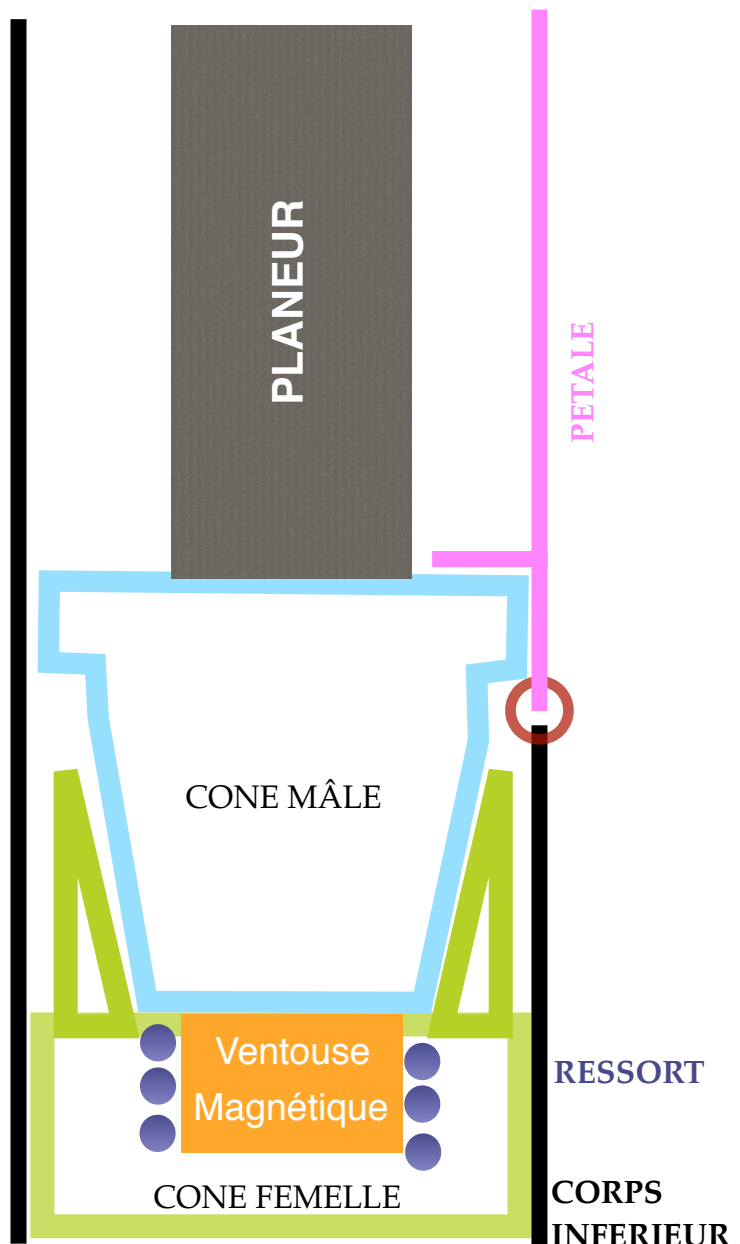
Vue en coupe :



La partie jaune est le cône femelle liée à la partie basse de la fusée. Elle contiendra un ressort longitudinal. Ce dernier permettra d'exercer une poussée sur le planeur par l'intermédiaire

Le planeur ne sera pas lié au cône mâle. Ce dernier servira de « poussoir » au planeur.

Le planeur sera maintenu en position dans la fusée par l'intermédiaire du pétale. Une page sur la pétale permettra de l'ouvrir par l'appuie du cône mâle lorsque l'électroaimant sera ouvert.



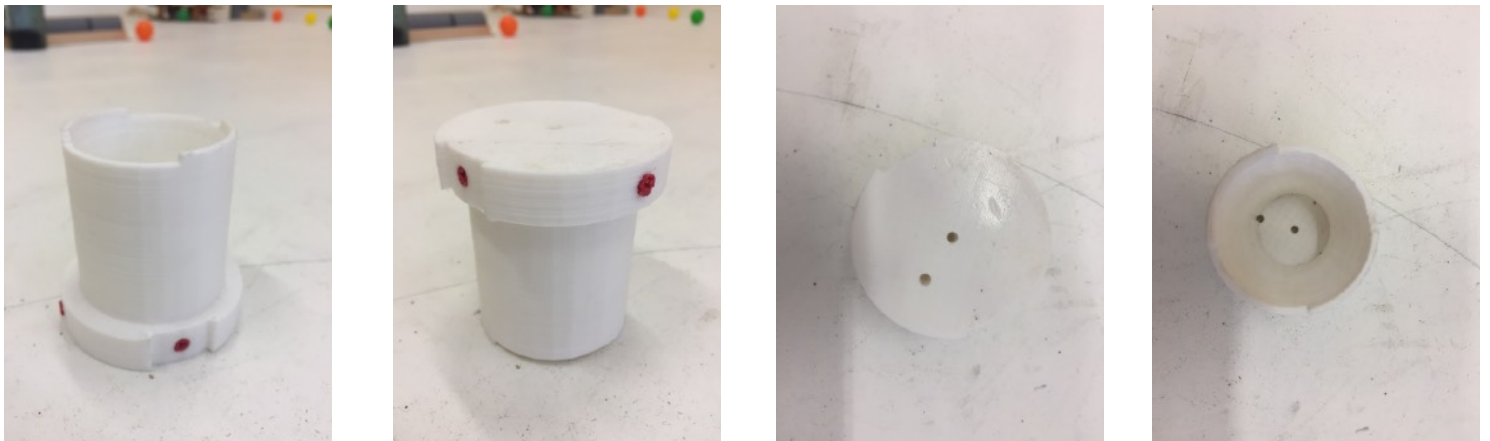
## *Description des différentes solutions techniques retenues*

### Systeme de séparation

Cône mâle :



Cône femelle :



## *Description des différentes solutions techniques retenues*

### Coiffe et fermeture du pétale

La coiffe a été réalisée en impression 3D et est fixée au corps de la fusée à l'aide de six vis.

Elle abrite également le système de fermeture du pétale. Celui-ci étant en tout point similaire à la méthode utilisée pour ouvrir la coiffe parachute, nous ne développerons pas cet élément en détail.



## *Description des différentes solutions techniques retenues*

### Planeur

Le cahier des charges du planeur a, dès le départ, été très contraignant, il doit :

- tenir dans un tube de diamètre de 78 mm
- avoir un vol stable
- décrire une trajectoire circulaire jusqu'au sol

Ce qui nous amener à ces choix technologiques :

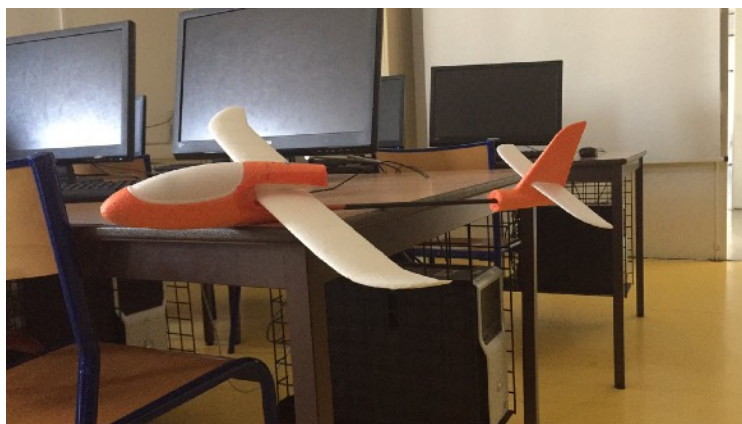
- avoir des ailes et un empennage rétractables et déployable automatiquement
- alléger la masse au maximum afin de vérifier un centrage cohérent

Après de multiples versions et prototypes nous sommes actuellement en mesure de réaliser un planeur qui remplit toutes les contraintes de dimensions.

Architecture globale :

Afin de faciliter la réalisation du planeur nous sommes partis d'un modèle existant dans le commerce, cela nous évitant les études et la conception des ailes mais nous permettant aussi d'avoir une structure solide et légère en polystyrène.

Nous avons coupé ce modèle en deux et nous avons remplacé le corps principal par une tige de carbone pour augmenter la rigidité, réduire l'encombrement (espace qui sera ensuite utilisé pour placer les ailes repliées) et surtout allonger la longueur du planeur qui ne permettait de replier les ailes.





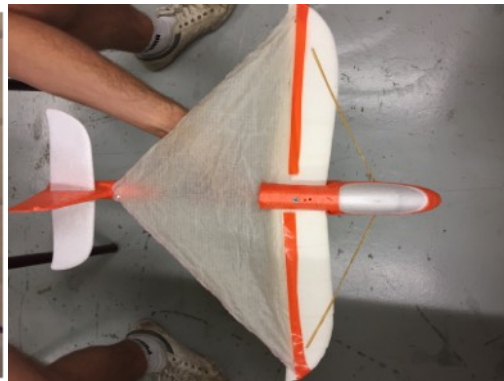
## Déploiement des ailes :

Nous nous sommes ensuite penché sur le déploiement des ailes :

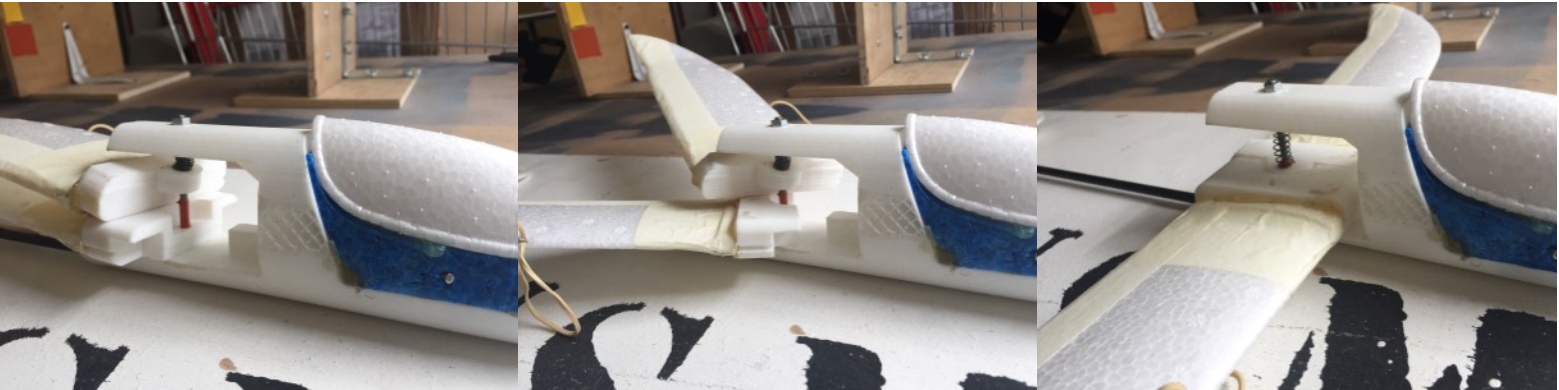
- nous avons coupé l'aile en deux et nous les avons reliées par un axe afin de créer une liaison pivot.



Nous avons ensuite ajouté des élastiques afin d'avoir une ouverture automatique ainsi qu'une toile pour améliorer la stabilité.

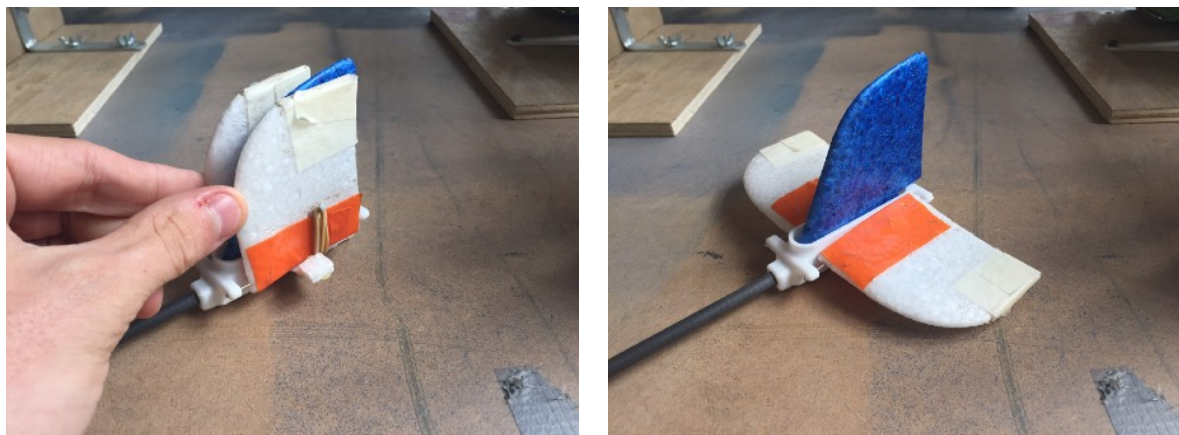


Cependant nous avons eu des problèmes de stabilité. Le problème avec la solution mis en oeuvre était le fait que les deux ailes n'étaient pas à la même hauteur. Nous avons alors réfléchi à un système qui permettrait de mettre des deux ailes sur le même plan une fois déployées.



### Déploiement de l'empennage :

Pour l'empennage nous avons gardé la gouverne verticale fixe et nous avons rendu l'empennage horizontal mobile en les mettant sur des liaisons pivots. La partie fixe sur laquelle est accroché l'empennage a été imprimé en 3D.



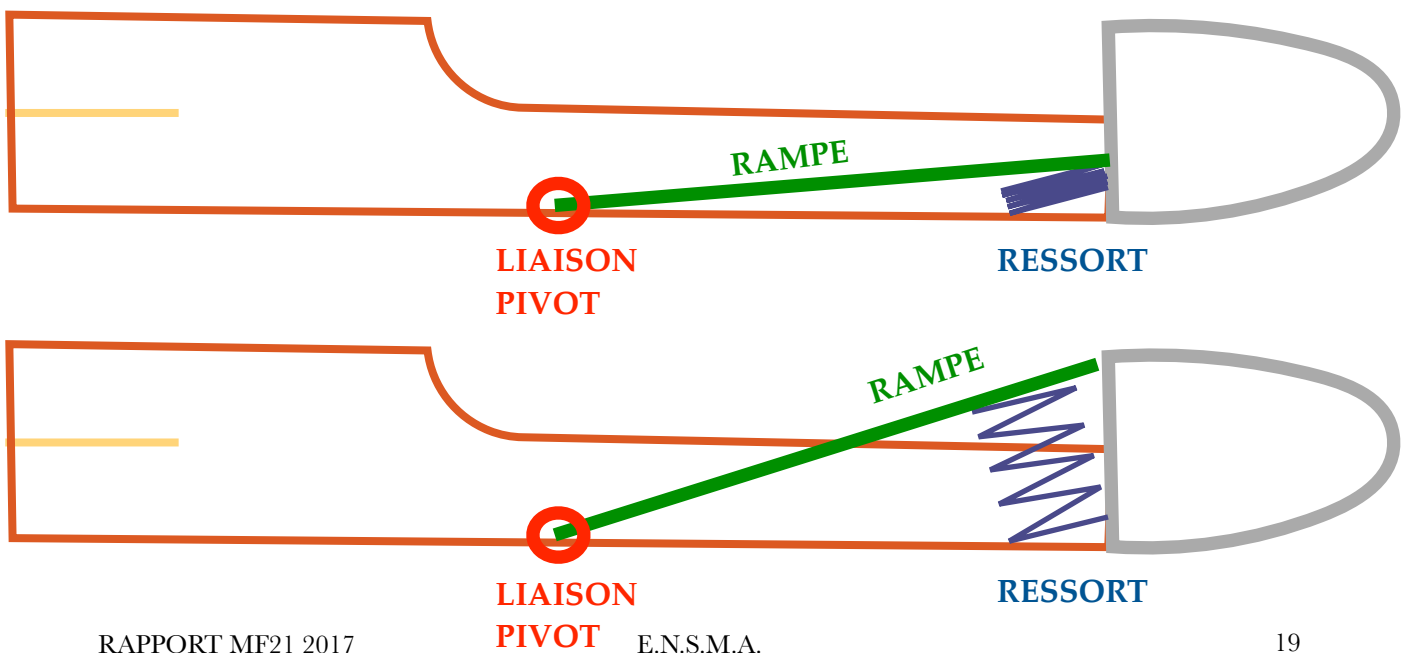
## Description des différentes solutions techniques retenues

### Expulsion du planeur

Nous avons mis en oeuvre un système permettant l'expulsion du planeur, une fois le pétale ouvert, avec une vitesse non nulle.

Ce système se décompose en deux parties :

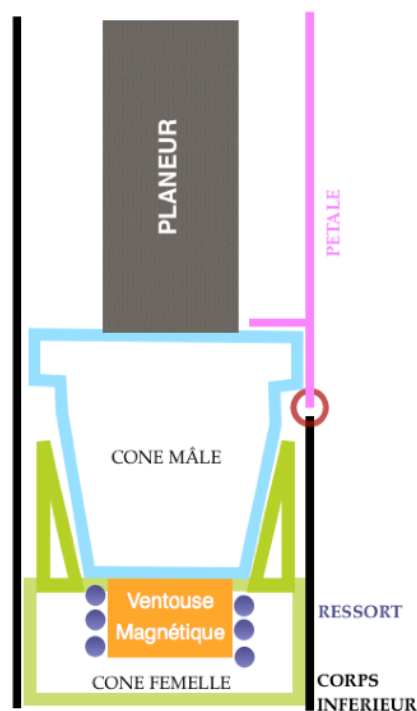
- un petit plan mobile va créer une 'rampe de lancement' pour le planeur une fois le pétale libéré. Cette rampe permet au planeur d'éviter de s'écraser contre le cône de la fusée.



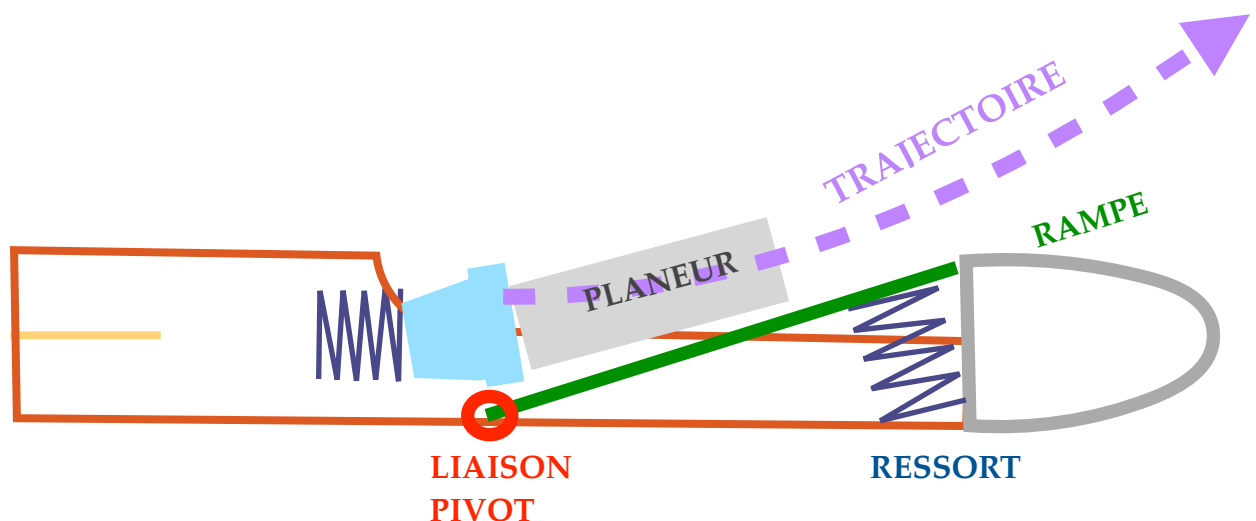
## Description des différentes solutions techniques retenues

### Expulsion du planeur

Pour lui donner une vitesse non nulle c'est le cône mâle qui va appuyer sur l'arrière du planeur. En effet comme vu plus haut le cône mâle est maintenu sous contrainte par un ressort. Lorsque la ventouse magnétique arrête d'exercer sa force, le cône mâle est propulsé en direction de la coiffe permettant au planeur de sortir du corps de la fusée avec une vitesse importante.



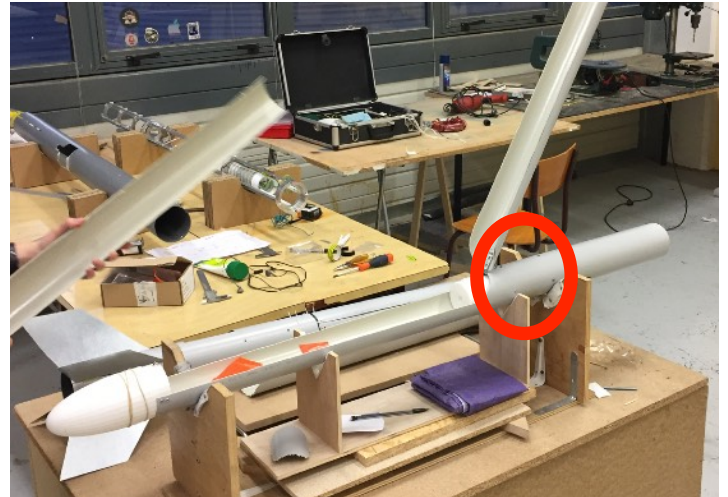
La combinaison de ces deux éléments devrait donner une trajectoire idéale pour la sortie du planeur :



## *Description des différentes solutions techniques retenues*

### Position de l'électronique dans la fusée

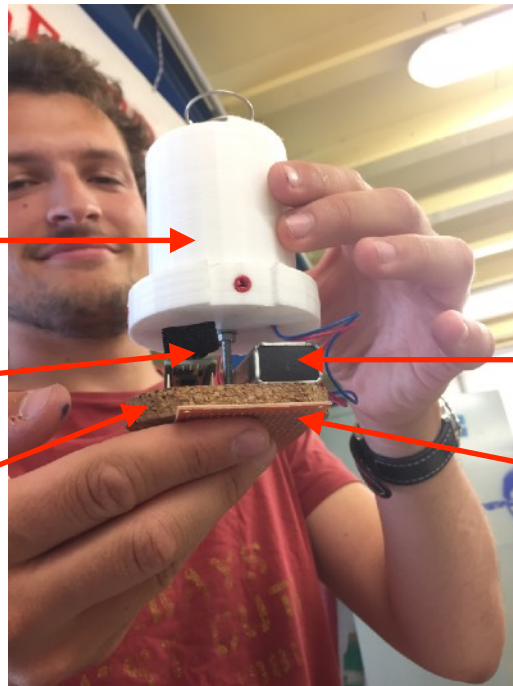
Tout l'électronique de la fusée c'est à dire la carte Arduino, la pile et les différentes LEDs et interrupteurs seront montés sur une bague en liège située entre le parachute et le cône femelle.



**CÔNE FEMELLE**

**ARDUINO NANO**

**BAGUE LIEGE**



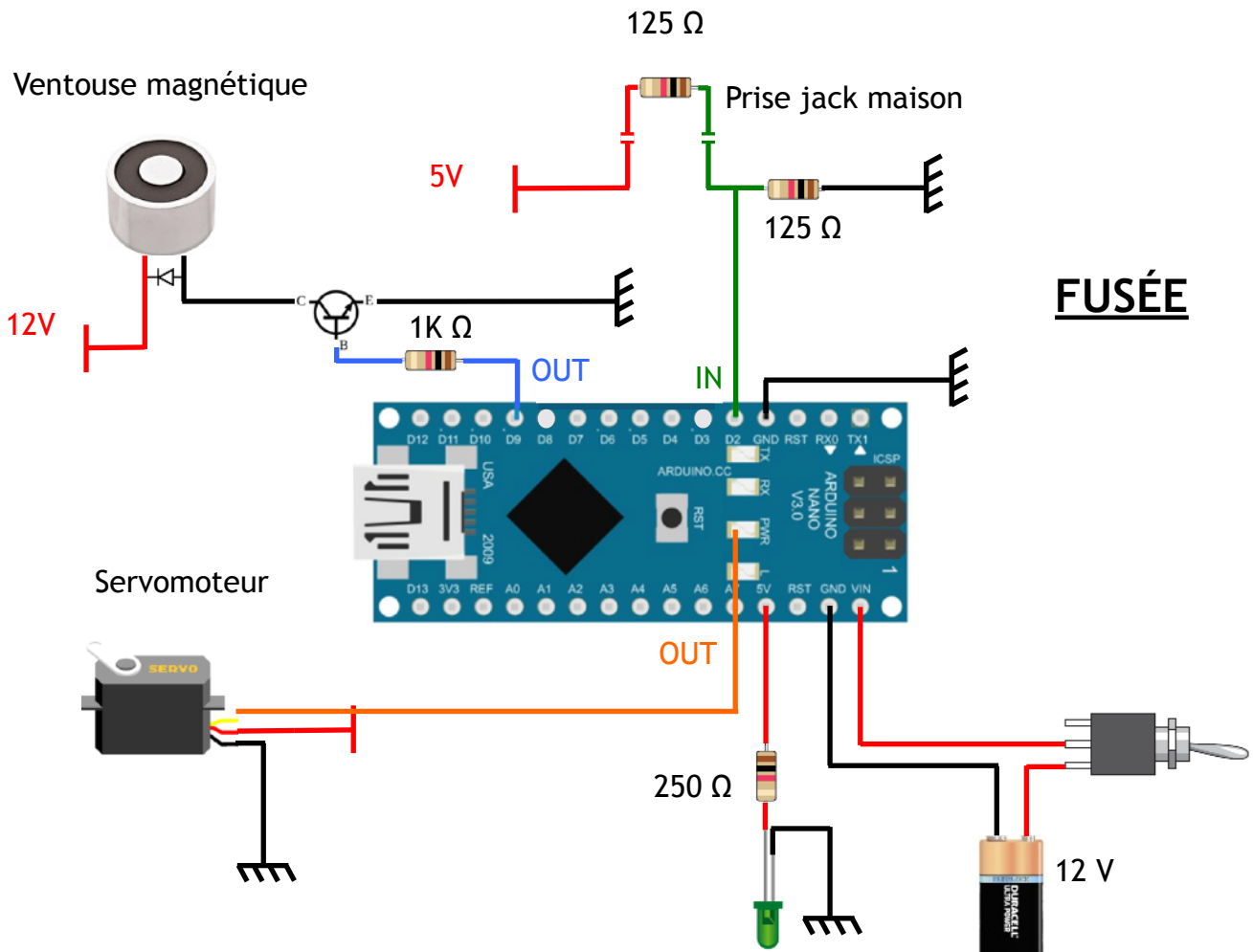
**PILE**

**CARTE  
ELECTRONIQUE**

## Description des différentes solutions techniques retenues

### Electronique de la fusée

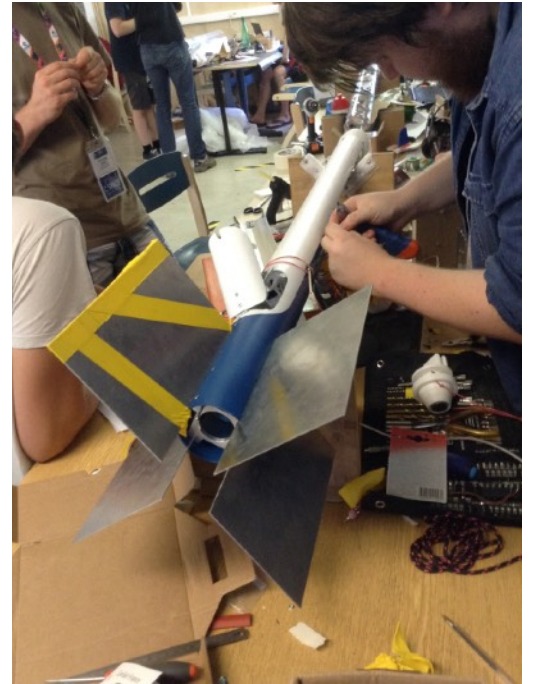
Schéma électrique :



La prise jack va permettre de détecter le lancement et donc déclencher la minuterie qui sera gérée par la carte nano Arduino. L'ouverture du parachute « fusée » ainsi que la séparation seront commandées par cette minuterie. Un bouton permettra la mise en marche et plusieurs LED permettront de visualiser le bon fonctionnement de la fusée avant décollage. De plus le servomoteur va permettre l'ouverture de la trappe latérale pour le parachute.

La ventouse magnétique permet de joindre la partie inférieure de la fusée et le planeur. On choisit une ventouse magnétique pour avoir un gain en terme d'utilisation des batteries.

Quelques images de la fusée :



# Déroulement du C'Space

En arrivant au C'Space la fusée était presque terminée. Il nous suffisait de découper les ailerons et d'intégrer l'électronique dans le corps. Nous avons volontairement choisi de garder cette opération en dernier afin d'être sûr de la position du centre de masse de la fusée. Nous avons donc dessiné et découpé les ailerons pour garantir la meilleure stabilité (en se basant sur le stabtraj).

Nous avons ainsi pu qualifier notre fusée dès le deuxième jour, c'est à dire le lundi matin. Notre lancement a été programmé pour le lendemain matin.

La météo était excellente : ciel dégagé sans une once de vent. Nous étions les premiers à faire décoller notre fusée ce jour ci.



Le vol fut nominal, le planeur fut largué à l'apogée de la trajectoire de la fusée et ses ailes se sont déployées. Il a ensuite décrit un grand cercle en vol stable avant de venir se poser devant la zone public. C'était une grande réussite pour toute l'équipe.



# Annexe 1

## Evaluation des risques du planeur

### *Structure du planeur*

Nous avons réalisé cette étude pour vérifier le risque que représentait le planeur et pouvoir ainsi décider si la mise en place d'un parachute était nécessaire. Nous avons conclu qu'il représentait à lui seul un système de récupération.

Le planeur est composé de trois matériaux :

- du polystyrène
- du PLA (impression 3D)
- Une barre en fibre de carbone

Le nez du planeur est en polystyrène permettant à la fois de le protéger de l'extérieur et inversement. Pour donner une idée de sa sollicitation, sur une dizaine de lancers effectués à 20m de hauteur le nez du planeur n'a pas subi de dégâts.

Le corps du planeur est constitué par une flèche d'arc en fibre de carbone coupée à ses extrémités. Les extrémités de cette tige sont très bien isolée de l'extérieur. A l'avant par une couche de polystyrène compact d'une épaisseur de 30 mm et à l'arrière par une plaque en PLA.

Toutes les surfaces portantes sont réalisées en polystyrène (ailes, empennage).

Le planeur ainsi constitué semble représenter un bon compromis entre rigidité et légèreté, sans oublier deux surfaces amortissantes à l'avant. Sa masse est de 170g.

# Evaluation des risques

## *Trajectoire*

Nous avons effectué de nombreux lancers pour valider la portée et la stabilité de l'objet. Récemment nous avons réussi à affiner nos réglages pour obtenir le résultat souhaité.

Pour cela après de nombreux tests de vol à quelques mètres de hauteur nous nous sommes rendus à un viaduc (20m) afin de vérifier nos attentes.

Notre objectif était de créer avant tout un planeur stable. Cela semble vérifié sur nos tests. Les 20m de hauteur dont nous disposions nous ont permis de voir la phase transitoire entre une position instable jusqu'à la remise en position stable du planeur.

Pour les lancers suivants le planeur se retourne dans le bon sens dans un premier temps avant de piquer, puis lorsque sa vitesse augmente il gagne en portance, son nez remonte et entame sa phase de descente contrôlée :

- lâché sans vitesse initiale
- lâché à l'envers
- lancé vers le haut
- lancé vers le bas
- lancés aléatoires.

Pour réaliser les calculs de portée nous avons lancé le planeur à l'horizontal avec une vitesse initiale et nous avons mesuré la distance qu'il parcourait.

Nous nous placerons dans le cas critique du lancé le plus long.

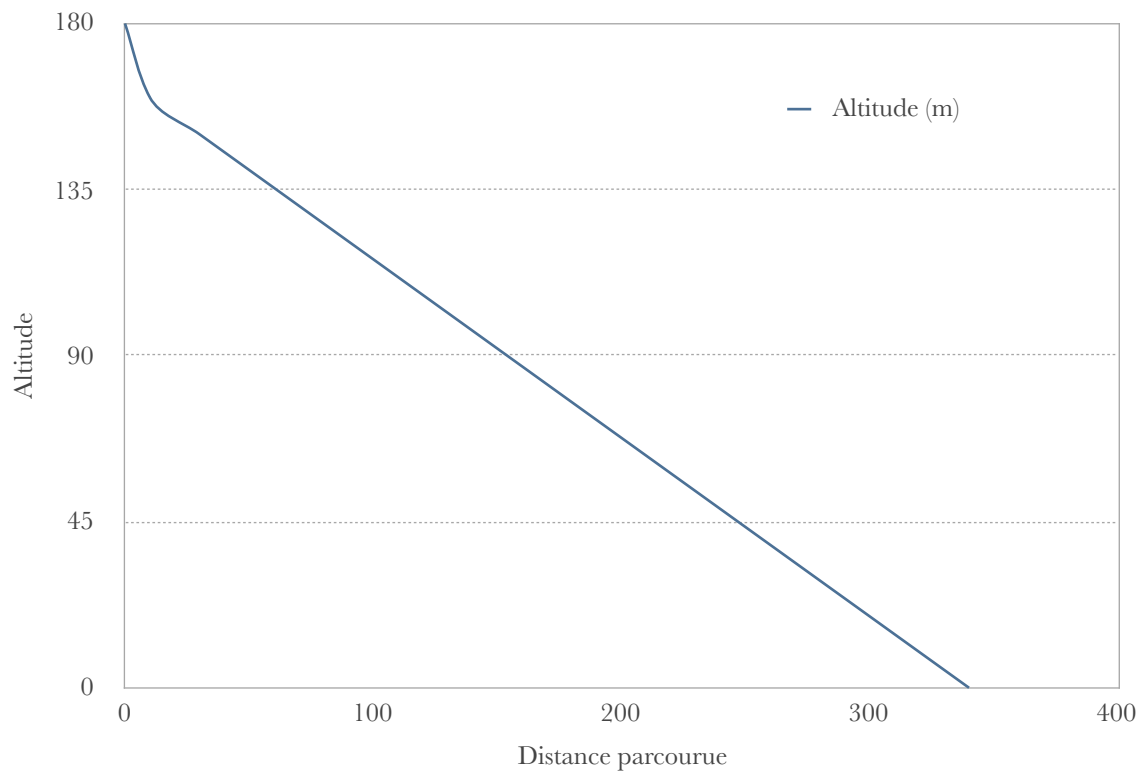
Le planeur a atteint une distance de 40m ce qui correspond donc à une pente de descente de  $22,5^\circ$ .

L'apogée de notre fusée étant calculée à 180m par le Stabtraj, la portée maximale du planeur serait de 360m.

Cependant cette valeur est à relativiser, le planeur se sera pas éjecté avec une telle vitesse initiale. Selon nos observations, en étant largué de façon plutôt verticale, il devrait perdre une vingtaine de mètres avant d'être dans les conditions du lancé précédent. De plus la descente ne sera pas si homogène, en effet le planeur perdra de la vitesse ce qui tendra à le faire descendre plus rapidement, avant de gagner de la vitesse à nouveau et se redresser.

Nous pensons donc que cette valeur correspond à une valeur seuil difficile à dépasser.

Trajectoire attendue :



# Estimation de la vitesse de vol

Nos tests de vol nous ont permis de calculer une vitesse moyenne pour chaque vol.

Reprenons le test réalisé avec une portée de 40m. Il faut rappeler que pour réaliser ce test nous avons imposé une vitesse initiale horizontale au planeur.

Le vol s'effectue en 5 secondes. La distance parcourue étant de 44.7m (en tenant compte de la hauteur) nous obtenons donc une vitesse réelle de 8.94m/s.

La vitesse verticale est de 4m/s.

Compte tenu du fait que ce vol eu la plus grande portée, on peut conclure que notre système aura une vitesse de descente supérieure à 4m/s, ce qui est juste en dessous des critères du cahier des charges. Cependant sur l'ensemble d'un vol, une vitesse plus proche des 5m/s est tout à fait réaliste.