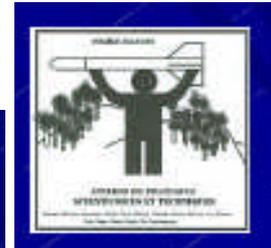


Année scolaire 2005 2006

Pegase **MEME** pas peur
Mini fusée
Expérimentale
Multi
Etablissements

Rapport du projet



Projet réalisé par les établissements :

- ENSAM de Talence
- Lycée Kastler de Talence (niveau BTS)
- Lycée Sud Médoc de Saint Aubin
- Collège Jean-Zay de Cenon

Projet suivi par AJSEP



Ce document est constitué des rapports de projets des deux équipes Ensam qui ont travaillé sur le projet :

- Partie 1 - Equipe 1 : du kick off à la revue de conception
- Partie 2 - Equipe 2 : de la revue de conception à la revue d'exploitation



Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Rapport de la première partie du projet mini-fusée

Aurélie GAYRAUD
Virginie-Anne CATTEAU
Aurélien MOREL
Pierre LENOBLE
Mathieu PREVOTEAU
Kevin THOMY

16 Janvier 2006

Version 2.0

Résumé

Dans le cadre de notre projet, dont le but était de concevoir une mini fusée à l'aide de sous-traitants, nous avons eu à travailler dans différents domaines de compétences. En effet, la gestion de projet englobe de nombreuses notions, tant organisationnelles que techniques. Ainsi, nous avons procédé entre autre à l'analyse fonctionnelle du système, à la création d'un planning cohérent, à l'établissement de Spécifications techniques du besoin pour nos sous-traitants et au suivi de ces derniers.

Mots-clés : mini fusée, client, organisation, planning, avant-projet, spécifications techniques du besoin, sous-traitance, risques, revues, trajectographie 3D.

Summary

Within the framework of our project, of which the goal was to design a mini rocket using subcontractors, we had to work in various fields of competences. Indeed, the project management includes many concepts, as well organisational as technical.

Indeed, we had to do amongst other things the functional analysis of the system, to create a coherent planning, to establish technical Specifications of the requirement for our subcontractors and to follow-up for the latter.

Keywords: mini rocket, customer, organisation, schedule, draft, technical specifications, suppliers, risks, reviews.

Table des matières

RESUME	2
1. PRESENTATION GENERALE DU PROJET	5
2. ANALYSE FONCTIONNELLE DE LA FUSEE.....	5
2.1. DECOMPOSITION FONCTIONNELLE DE LA FUSEE.....	5
2.2. DIAGRAMMES APTE	7
2.3. MATRICE DES CONTRAINTES.....	7
3. ORGANISATION DU GROUPE	7
3.1. ORGANISATION INTERNE.....	7
3.2. ORGANISATION DE LA SOUS-TRAITANCE	7
4. PLANNING	7
5. ANALYSE DES RISQUES DU PROJET.....	7
5.1. ETUDE DES RISQUES DE NON-ATTEINTE DES OBJECTIFS.....	7
5.2. FICHES DE RISQUES.....	8
6. AVANT-PROJET	9
6.1. BILAN DE MASSE DE LA FUSEE	9
6.1.1. <i>Corps de la fusée</i>	9
6.1.2. <i>Ailerons</i>	11
6.1.3. <i>Structure interne</i>	12
6.1.4. <i>Sous-système parachute</i>	12
6.1.5. <i>Sous-système télémétre</i>	13
6.2. CENTRAGE DE LA FUSEE	13
6.2.1. <i>Calcul du centre de gravité</i>	13
6.2.2. <i>Position du centre de poussée</i>	14
6.3. STRUCTURE INTERNE.....	14
6.4. SOUS-SYSTEME TELEMESURE.....	14
6.4.1. <i>Présentation du besoin client</i>	14
6.4.2. <i>Mise en situation</i>	14
6.4.3. <i>La reconstitution de la trajectoire de la fusée</i>	15
6.4.4. <i>La simulation du vol de la fusée</i>	16
6.4.5. <i>Sous-traitance avec le lycée Kastler.</i>	18
6.4.6. <i>Composition de la chaîne de mesure</i>	18
6.5. CONCEPTION DU SOUS-SYSTEME PARACHUTE.....	19
6.5.1. <i>Avant projet du sous-système éjection</i>	19
6.5.2. <i>Conception du sous-système éjection</i>	21
6.5.3. <i>Conception du parachute</i>	23
7. CAHIER DES CHARGES SOUS-TRAITANTS	28
7.1. STB JEAN ZAY	28
7.2. STB KASTLER.....	28
7.3. STB SUD MEDOC	28
8. SUIVI DES SOUS-TRAITANTS.....	28
9. RELATION AVEC NOTRE CLIENT.....	29
CONCLUSION	30
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	31
GLOSSAIRE.....	32
INDEX	34

Introduction

Notre projet réalisé dans le cadre de l'UE 0P21, a pour but de concevoir et fabriquer une mini-fusée expérimentale pour un client fictif, l'association AJSEP, antenne locale de Planète Sciences, animée par des ingénieurs bénévoles de Snecma Propulsion Solide. Dans ce projet, l'ENSAM est maître d'ouvrage, et travaille avec plusieurs sous-traitants, de niveau de compétences très variés : des élèves de BTS du lycée Kastler, un club du lycée Sud Médoc et des élèves de 3^{ème} du collège Jean Zay (les coordonnées de ces établissements dans le glossaire).

On peut définir deux parties bien distinctes dans notre travail : la gestion de projet et la partie technique proprement dite.

- La gestion de projet consiste à travailler en équipe de manière organisée, rassurer notre client (AJSEP) quant à notre capacité à tenir les délais imposés, suivre l'avancement des sous-traitants, identifier et contrôler les risques critiques tout au long du projet.
Ainsi, notre client nous a demandé de rendre compte de notre état d'avancement du projet au cours de différentes revues.
- La partie technique comprend l'analyse fonctionnelle du système, l'étude approfondie du cahier des charges, la déclinaison du besoin vers chaque sous-équipe et vers nos différents sous-traitants en fonction de leurs compétences, mais aussi la recherche de solutions techniques et l'analyse des solutions proposées par nos sous-traitants.

1. Présentation générale du projet

Tout d'abord, il est indispensable de définir clairement les objectifs du projet. Nous avons donc fait une réunion avec nos suiveurs afin de les lister.

- **Faire décoller la mini-fusée à Saintes début mai**

La campagne de lancement se déroulera du mardi 2 mai au dimanche 7 mai 2006 à Saintes.

- **Acquérir les résultats expérimentaux du vol**

L'expérience embarquée sur cette fusée consiste à mesurer tous les paramètres nécessaires à la reconstitution de la trajectoire du vol.

- **Fournir un rapport final**

Comme dans tout projet, la masse des documents produits est très importante et il est donc nécessaire de synthétiser toute cette documentation dans un rapport final. Ce document regroupe à la fois une partie exploitation des résultats de l'expérience (trajectoire de vol, déroulement du vol) et une partie qui résume le déroulement du projet depuis sa prise en main (gestion du planning, suivi de la sous-traitance, détails de conception des différentes sous-parties...).

- **Récupérer la fusée intacte**

Une fois qu'elle aura atteint l'apogée de sa trajectoire, la fusée sera ralentie à l'aide d'un parachute afin de ne pas s'endommager à l'atterrissage.

- **Travailler en équipe**

Cet objectif concerne tous les participants aux projets, maître d'œuvre et sous-traitants. Il est très important que chacun réussisse à communiquer, que ce soit en interne ou entre les groupes. Chaque participant apporte ses compétences et doit pouvoir transmettre des données compréhensibles aux autres participants.

2. Analyse fonctionnelle de la fusée

2.1. Décomposition fonctionnelle de la fusée

Le développement d'un système complexe comme la mini-fusée nécessite une décomposition en sous-systèmes plus simples qui seront développés par différentes équipes.

Nous avons donc « découpé » la fusée en plusieurs sous-systèmes afin de n'oublier aucune partie et de repérer facilement à quel niveau interviennent ces sous-systèmes. Ce document, en annexe 1, nous a également permis de faire une première répartition des tâches entre les sous-traitants ou notre équipe.

Les différents compartiments sont situés sur le schéma d'ensemble de la minifusée ci-dessous.

Hauteur totale : 1180 mm (hors dépassement antenne)

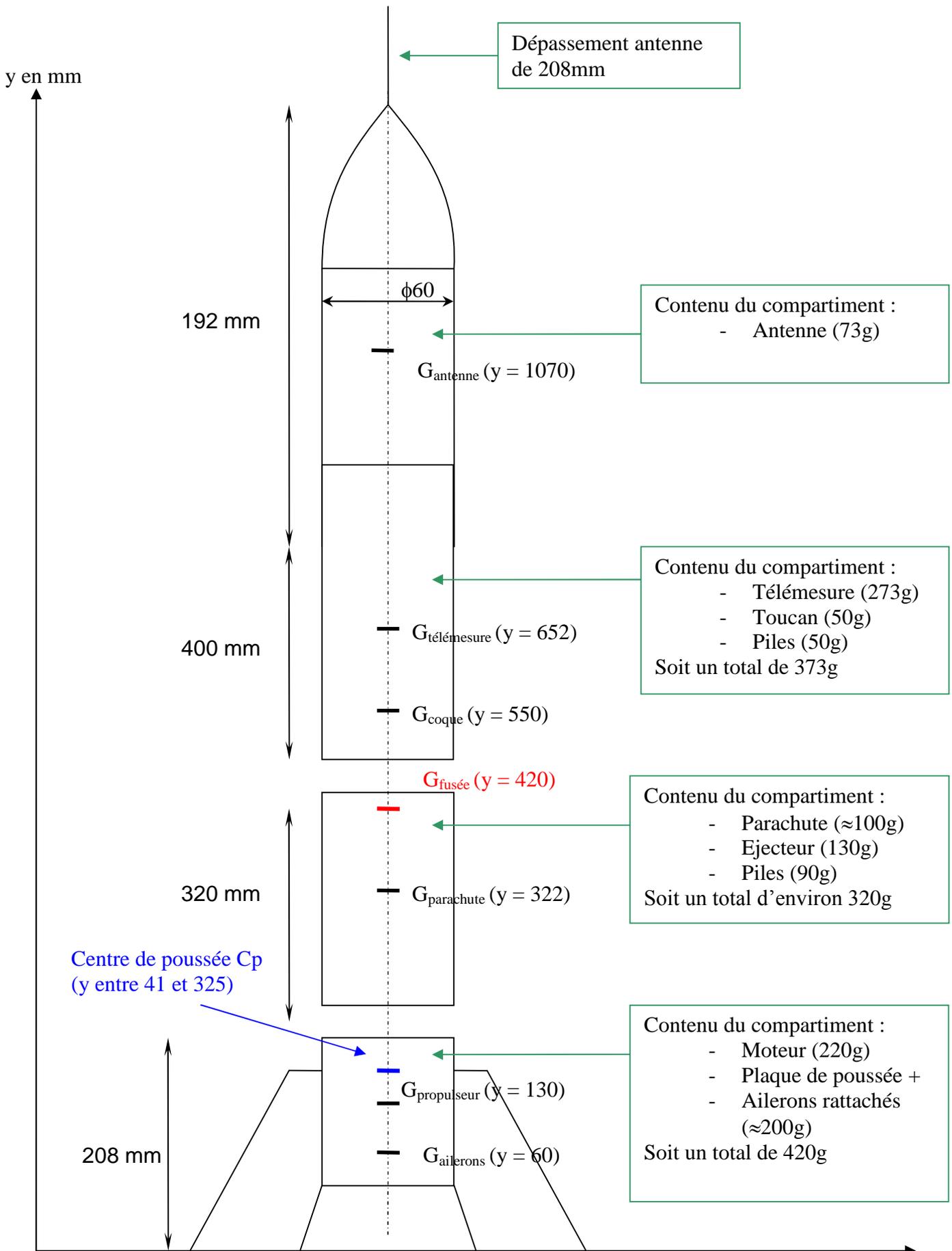


Figure 1: schéma de l'organisation interne de la minifusée

2.2. Diagrammes APTE

Nous avons analysé le système en listant, pour chaque situation de vie, les fonctions de services et de contraintes associées aux différents interacteurs.

Nous avons, à partir de ces diagrammes, vérifié que chacune des contraintes du cahier des charges était répertoriée.

Cette étude fonctionnelle est présentée en annexe 2.

2.3. Matrice des contraintes

Ce document, fourni en annexe 3, nous permet de savoir qui est responsable de chaque contrainte et donc de faciliter les échanges entre les équipes.

3. Organisation du groupe

3.1. Organisation interne

La façon dont nous nous organisons est très importante aux yeux du client. En effet, c'est le premier renseignement qui peut lui montrer si on est capable de mener à bien le projet qui nous a été confié, dans les délais imposés.

Ainsi, il est indispensable de définir les rôles de chacun au sein de l'équipe afin d'optimiser la communication, élément capital dans la bonne conduite de n'importe quel projet.

La répartition des tâches au sein de notre équipe est définie sur l'organigramme fourni en annexe 4.

3.2. Organisation de la sous-traitance

Un des intérêts majeurs de ce projet étant la gestion de la sous-traitance, il est nécessaire de définir clairement le rôle de chacun afin d'éviter d'éventuels problèmes de communication et de gestion du projet. C'est pourquoi nous avons élaboré un organigramme des sous-traitants et assigné un interlocuteur à chacun. Ce dernier assure le suivi de l'avancement du sous-traitant dont il est responsable.

Cette répartition est décrite en annexe 5.

4. Planning

Tout projet nécessite l'établissement d'un planning prévisionnel raisonnable et précis. Notre responsable planning a utilisé le logiciel PROJECT pour en simplifier le suivi et la mise à jour de celui-ci, une copie de ce planning est disponible en annexe 6.

5. Analyse des risques du projet

Cette analyse a été faite en brainstorming au cours d'une réunion de l'équipe projet. Le risque manager a ensuite récapitulé et classé les risques selon leur criticité. Cette étude étant répétitive, on n'en présente dans le rapport qu'une partie. Cette analyse consiste à répertorier les objectifs à atteindre puis déterminer les causes de non atteinte et de les évaluer.

5.1. Etude des risques de non-atteinte des objectifs

- **Exemple pour l'objectif A**

Objectif A : Faire décoller la mini-fusée à Saintes début mai

On liste tout d'abord les événements redoutés, c'est-à-dire qui sont susceptibles d'empêcher la réussite de l'objectif.

Evènements redoutés :

- A1 : Non respect des jalons

- A2 : La fusée n'est pas qualifiée
- A3 : On n'arrive pas à l'heure à Saintes
- A4 : La fusée est abîmée pendant le transport

Puis on détermine les causes de ces événements redoutés à l'aide du diagramme d'Ishikawa.

Diagramme d'Ishikawa :

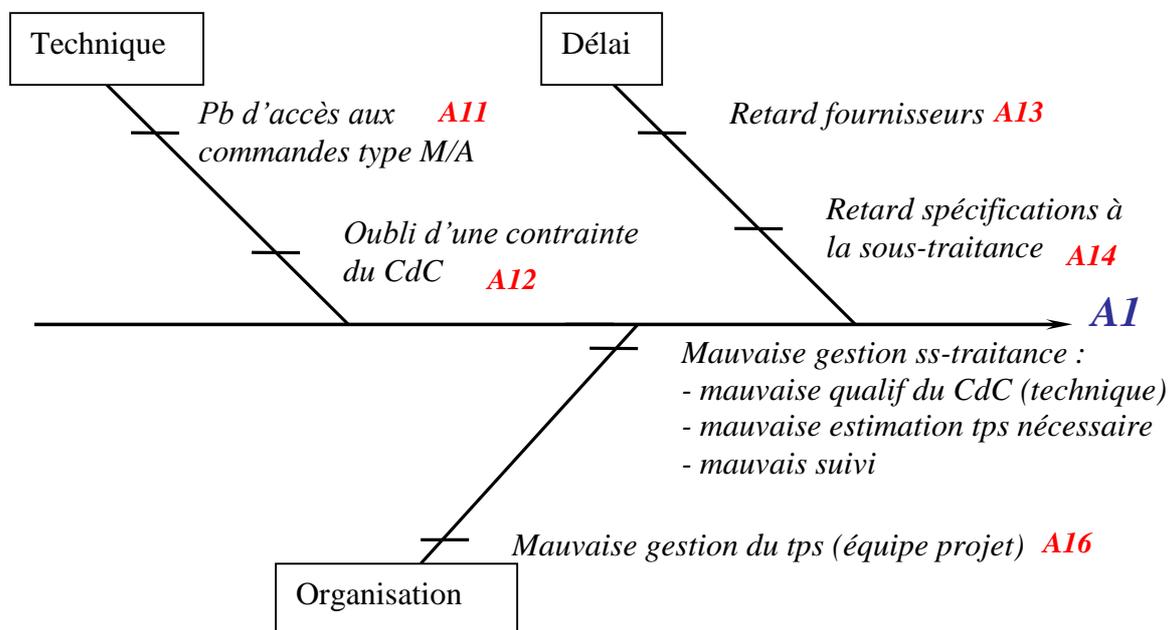


Figure 1 : diagramme d'Ishikawa

On évalue ensuite la probabilité de chaque cause ainsi que sa gravité (1 :gravité importante puis décroissance jusqu'à 3, de même pour la probabilité. On dégage ainsi deux types de risques :

- ✓ Risques à criticité forte qui devront être suivis de très près
- ✓ Risques à criticité faible qui seront suivis plus légèrement

Grille de criticité A1				
		Probabilité		
		3	2	1
Gravité	1	A11	A16	A12, A15
	2			A13, A14
	3			

Tableau 1: Grille de criticité A1

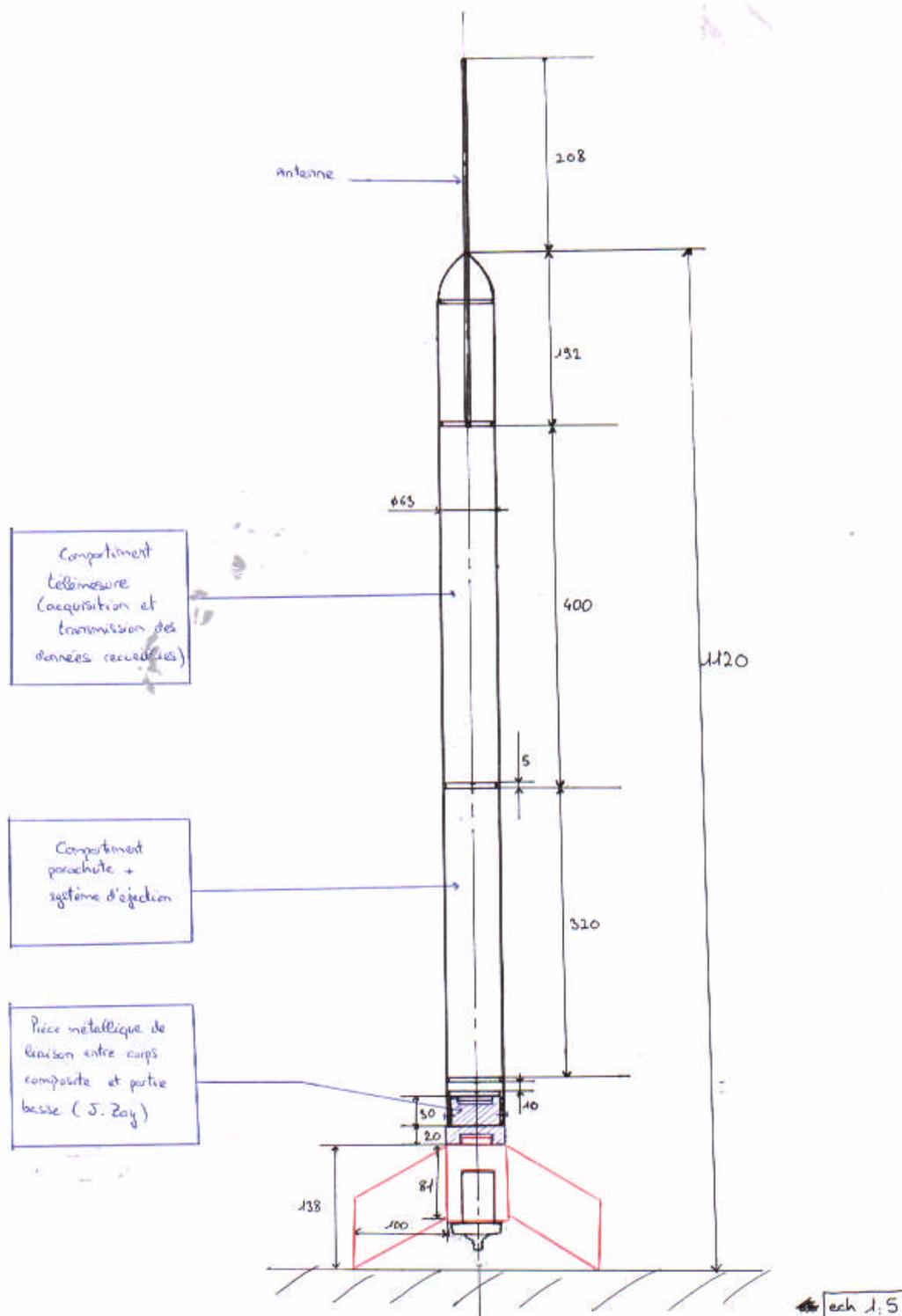
On procède ainsi pour tous les événements redoutés et on obtient une liste de tous les risques. Voir l'étude complète en annexe 7.

5.2. Fiches de risques

On établit ensuite des fiches de risques, voir les fiches en annexe 8, qui permettent le suivi des risques que l'on a répertorié tout au long du projet. Chaque risque est suivi en évaluant la situation actuelle du risque par discussion avec les responsables du sous-système concerné. Un plan de correction sera mis en œuvre si nécessaire.

Il est important de faire cette étude de risques, mais il est indispensable de les suivre par la suite...

6. Avant-projet



6.1. Bilan de masse de la fusée

6.1.1. Corps de la fusée

- **Choix du matériau :**

Le corps de la fusée est très sollicité, dans toutes les situations de vie du système :

- lors du transport, pour encaisser les chocs éventuels et protéger les systèmes embarqués,

- au décollage, pour résister aux efforts de poussée (accélération d'environ 17g),
- à l'atterrissage, pour résister au choc lors du contact avec le sol.

De plus, étant soumis à de fortes contraintes de masses (masse maxi de 1500g), il faut utiliser un matériau léger. Notre choix s'est donc tourné vers un matériau composite, qui allie à la fois la tenue mécanique et la légèreté.

- **Dimensions :**

Le corps de la fusée est un élément dimensionnant de tous les sous-systèmes, et est donc présent dans la plupart des procédures de contrôle. Dans la mesure où le corps en composite n'aura pas été moulé, on utilisera d'un tube PVC à la place.

On choisira donc pour la fusée un diamètre normalisé de tube PVC :

$$f_{\text{ext}} = 63 \text{ mm}$$

La finesse f de la fusée étant imposée dans le cahier des charges, on en déduit une plage pour la longueur de la fusée :

$$10 \leq f = \frac{L}{f} \leq 20$$

$$630 \leq L_{\text{totale}} \leq 1260 \text{ mm}$$

On décide de prendre :

$$L_{\text{totale}} = 1180 \text{ mm}$$

On a alors une finesse de 18.7, assez proche de la limite supérieure.

- **Masse :**

L'épaisseur du matériau composite est très fine. On supposera, pour les calculs de masses de l'avant-projet, que la coque a une épaisseur de 1 mm, bien supérieure à celle qui sera fabriquée. Les données relatives aux différents composants du matériau utilisé sont répertoriées dans le tableau ci-dessous.

Matériaux	Masse volumique ou surfacique	Volume ou surface calculé (e) (m ² ou m ³)	Masse (en g)
Résine époxyde SPS110	17500	3,99E-04	7
Fibre de verre (4 couches)	800	2,46E-01	197
Fibre de carbone (1 couche)	175	2,46E-01	43
Masse totale corps			247

Tableau 2: masses initiales du corps composite

A la suite d'une revue avec nos suiveurs de l'AJSEP, nous avons décidé de diminuer la masse de chaque sous-système de 5%.

Les résultats du calcul ainsi que les nouvelles masses sont notés dans les tableaux ci-dessous.

masse corps (en g)	masse recalculée (en g)
246,84	234,5
masse en trop (en g)	longueur recalculée (en m)
12,34	1,121

Tableau 3: calcul de la longueur optimisée

Matériaux	Masse volumique ou surfacique	Volume ou surface calculé (e) (m ² ou m ³)	Masse (en g)
Résine époxyde SPS110	17500	3,99E-04	7
Fibre de verre (4 couches)	800	2,34E-01	187
Fibre de carbone (1 couche)	175	2,34E-01	41
Masse totale corps			235

Tableau 4: masses recalculées du corps composite

La longueur finale de la fusée est donc :

$$L_{\text{totale}} = 1120 \text{ mm}$$

Cette nouvelle longueur nous permet en plus de diminuer la finesse qui est alors de 17.7.

6.1.2. Ailerons

- **Dimensionnement :**

L'utilisation du logiciel de simulation TRAJEC nous a permis d'ajuster les dimensions et la forme des ailerons afin de garantir une bonne stabilité de la fusée en vol. Il s'agit d'une méthode de dimensionnement expérimentale reposant uniquement sur l'itération des simulations de vol, dans le respect des contraintes imposées par le cahier des charges (marge statique).

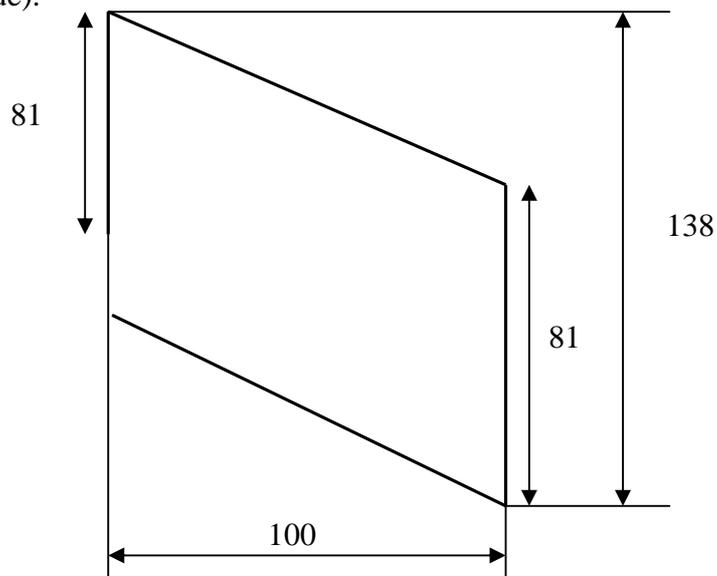


Figure 2 : Schéma d'un aileron

- **Matériau et masse:**

La partie basse de la fusée (logement moteur, ailerons et fixations ailerons) étant une partie sous-traitée, ce sont les élèves du collège Jean Zay qui détermineront le matériau.

Cependant, ils devront répondre à une contrainte de masse maxi de 200g pour tout ce sous-ensemble.

Nous avons pris en compte cette valeur dans notre bilan de masse, et avons calculé un coefficient de sécurité afin de pallier aux éventuels dépassements de notre sous-traitant.

6.1.3. Structure interne

Composants	Matériaux	Masse (en g)
Rondelles + équerres	Nid d'abeille + aluminium	50
Tiges	Composite	50
visserie	Métal	10
Masse totale compartimentation		110

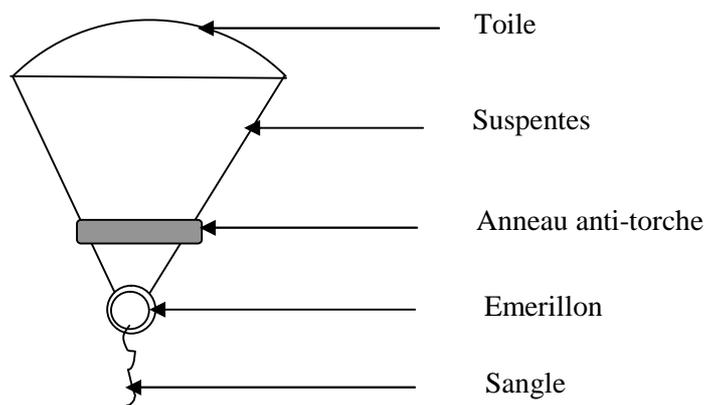
Tableau 5: masses de la structure interne

6.1.4. Sous-système parachute

La masse de ce sous-système est peu importante, en comparaison avec les autres parties. Il est composé des éléments suivants :

- la toile
- les suspentes
- l'émerillon
- l'anneau anti-torche
- la sangle

Figure 3 : éléments constitutifs du parachute



<p>Toile + œillets + suspentes : 40g Emerillon : 9g Sangle : 7g Anneau anti-torche : à déterminer avec le sous-traitant Sud Médoc</p>
--

Nous arrivons à une masse provisoire de **56 g sans compter l'anneau anti-torche** dont le sous-traitant Sud Médoc n'a pas encore donné la conception détaillée. Nous avons attribué une masse de **100g**.

6.1.5. Sous-système télémétrie

La partie mesure et transmission disposait d'une masse de 285 g estimée d'après les précédentes fusées réalisées. Ce sous-système comprend :

- **Carte capteur :**
 - Accéléromètre
 - Gyromètre
 - AOP
 - Plaque+vis+connectique
- **Carte libre (accélérateur perpendiculaire)**
 - Accéléromètre
 - AOP
 - Plaque+vis+connectique
- **Carte VCO**
 - VCO * 4
 - Plaque+vis+connectique
- **Transmission**
 - TOUCAN
 - Antenne
- **Alimentation**
 - Piles * 2

Une évaluation plus fine effectuée par les élèves du lycée Kastler a donné une valeur inférieure aux prévisions, ce qui permet d'envisager de rester dans la limite de masse même en tenant compte des aléas de réalisation prévisibles.

Composants	Matériaux	Masse (en g)
Système de prise de mesures		180
Antenne	Cuivre	73
Système de transmission toucan		50
piles		50
Fixations éventuelles (vis, etc.)		
	Masse totale sous-système télémétrie	352,69645

Tableau 6: masses des éléments du sous-système télémétrie

6.2. Centrage de la fusée

6.2.1. Calcul du centre de gravité

Le centre de gravité de la fusée est calculé au moyen d'un tableur Excel qui reprend toutes les données de masse et de géométrie de la structure et des différents sous-systèmes. Pour cela on utilise les centres de gravité partiels (calculés pour chaque sous-système) puis on inclut cela dans le calcul final faisant intervenir toutes les parties de la fusée ainsi que les éléments extérieurs (coque, ailerons, etc.).

Le tableur permet ainsi de remettre ce centre à jour de façon dynamique à chaque évolution de la fusée. Il est bien évidemment couplé au tableur de masse puisque cette donnée est nécessaire au calcul du centre de gravité.

6.2.2. Position du centre de poussée

La position précise du centre de poussée est fournie par simulation au travers du logiciel Trajec, défini dans le glossaire en fin de rapport, qui nous permet également de déterminer la marge statique reliant centre de gravité et centre de poussée. Toutefois, nous avons tout de même utilisé Excel pour approximer la position du centre de poussée et ainsi contrôler si nous sommes dans les bon ordres de grandeur avant d'affiner cette valeur par la simulation.

6.3. Structure interne

Nous avons opté pour une compartimentation de la fusée par sous-système, afin de permettre une maintenance ciblée sur chaque compartiment. En effet il est intéressant dans le cas d'une panne ciblée de ne pouvoir agir que sur la partie concernée sans avoir à totalement démonter la partie interne de la fusée pour corriger le problème.

Pour des raisons de rigidité et de tenue à la flèche, nous avons opté pour une structure interne monobloc permettant de fixer tous les éléments internes indépendamment les uns des autres et de les positionner par rapport à la structure externe (coque). Cette structure est amovible et permet d'extraire très rapidement tout l'intérieur de la fusée et d'agir directement et uniquement sur la zone concernée par une éventuelle panne. Elle permet également de réaliser une partie des essais et de la qualification d'avant lancement.

Elle se présente comme suit :

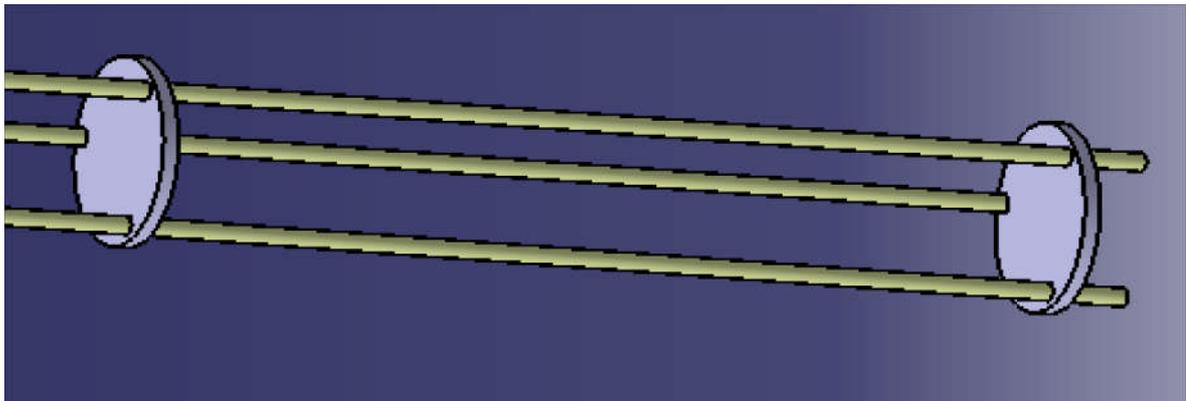


Figure 4 : Structure interne de la fusée

6.4. Sous-système télémessure

6.4.1. Présentation du besoin client

Le cahier des charges imposé par notre client l'AJSEP comporte **un volet expérience** : on doit pouvoir **reconstituer la trajectoire de la fusée à partir de mesures prises en vol**.

6.4.2. Mise en situation

Afin de reconstituer la trajectoire il faut **déterminer les paramètres physiques à acquérir** : c'est la partie **reconstitution de la trajectoire**, qui est un programme développé par nos soins. Une fois les paramètres physiques déterminés, il faut **embarquer dans la fusée un système capable d'acquérir ses paramètres** mais aussi de les **transmettre en temps réel** au camion du CNES qui contient le système de réception et d'enregistrement : c'est la partie **expérience embarquée**. Cependant nous devons aussi **prévoir les plages de**

valeurs des accélérations par exemple, que vont subir les capteurs : c'est la partie **simulation du vol de la fusée**.

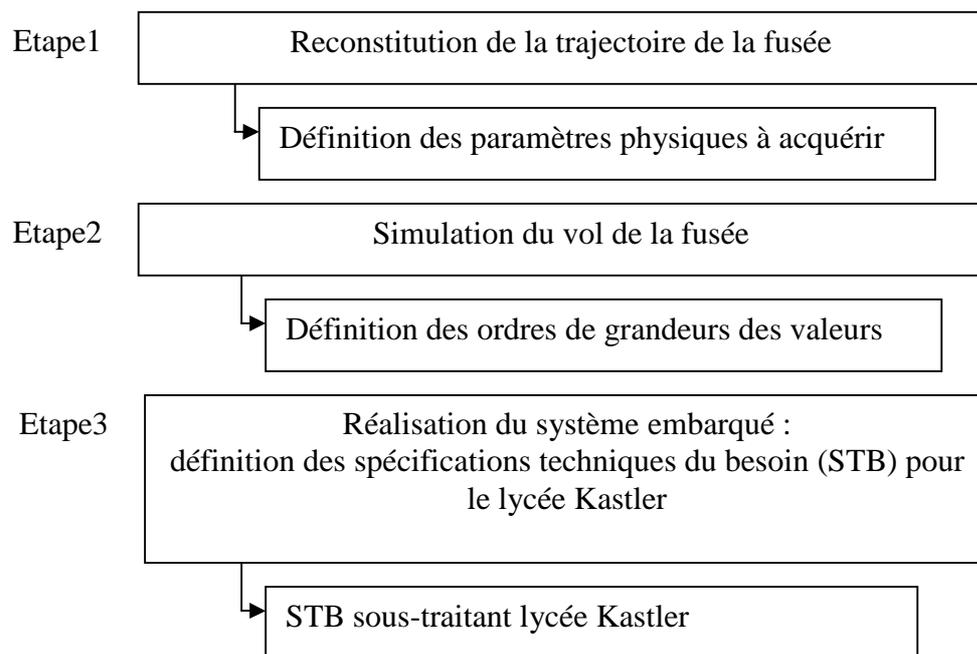


Figure 5 : Démarche de la conception du système de télémétrie

6.4.3. La reconstitution de la trajectoire de la fusée

Cette étape a pour but de déterminer les paramètres physiques (accélérations, vitesses, vitesses angulaires) à acquérir. Cependant nous avons du tenir compte d'une **contrainte forte** : le système qui permet de recevoir les signaux n'accepte que 4 voies, **nous ne pouvons donc acquérir que 4 paramètres**.

6.4.3.1. Intérêt

L'intérêt de cette étape est triple :

- Répondre à une exigence de notre client l'AJSEP, à savoir reconstituer la trajectoire de la fusée
- Déterminer ce que nous devons acquérir comme paramètres
- Avoir le programme qui servira à reconstituer la trajectoire avec les valeurs acquises durant le vol

6.4.3.2. Principe

La reconstitution repose sur le fait de **prévoir la position de la fusée à l'instant $t+\Delta t$ en faisant l'acquisition des paramètres physiques à l'instant t** . Ainsi de proche en proche nous reconstituons la trajectoire de la fusée. Voir principe de reconstitution de la trajectoire en annexe 9.

6.4.3.3. Les paramètres physiques à acquérir

Nous rappelons les hypothèses faites sur le vol de la fusée qui nous ont permis de déterminer les paramètres physiques :

- La trajectoire se fait dans un plan
 - Valide si la fusée est stable (contraintes de fabrication)
 - Valide si les vents sont faibles ou absents pendant le vol de la fusée
- La vitesse est à chaque instant portée par l'axe de la fusée
 - Valide si la trajectoire se fait dans un plan
 - Valide si les vents sont faibles ou absents

Les paramètres à acquérir sont :

- Les accélérations dans les 3 axes de la fusée
- La vitesse angulaire selon l'axe de la fusée (le roulis), qui ne permet pas de reconstituer la trajectoire mais qui est un indicateur de la stabilité de la fusée

6.4.3.4. Rapport d'exploitation

C'est le rapport que l'équipe du prochain semestre devra remettre à l'AJSEP. Ce rapport explicitera, entre autres, la reconstitution de la trajectoire, les comparatifs avec les prévisions.

6.4.4. La simulation du vol de la fusée

La simulation a un double objectif :

- Déterminer l'ordre de grandeur des valeurs des accélérations
- Permettre une comparaison avec la reconstitution du vol réel

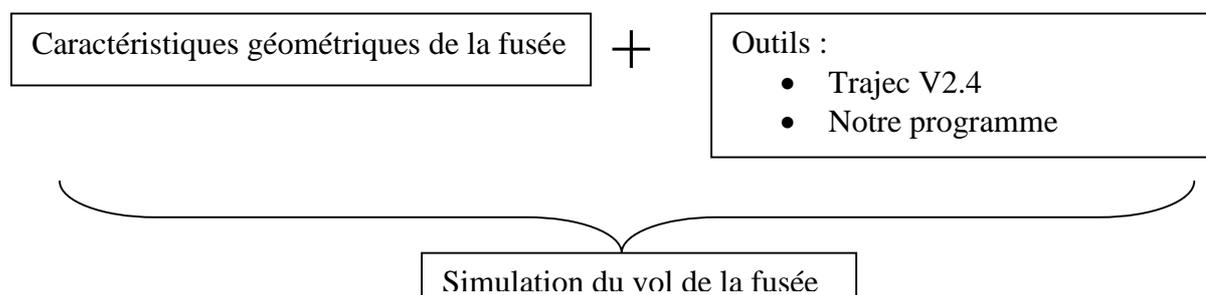


Figure 6 : Cadre de la simulation du vol de la fusée

6.4.4.1. Principe

Le principe est différent de celui qui sert à reconstituer la trajectoire. **On se sert du principe fondamental de la dynamique : pour un instant t donné, on détermine précisément les forces qui agissent sur la fusée. On en déduit alors l'accélération à l'instant t, qui nous permet de déterminer la vitesse et la position de la fusée à l'instant t.** (voir annexe 9 principe de la simulation du vol de la fusée)

Nous avons d'abord utilisé Trajec V2.4 (voir glossaire pour le site internet) qui est un logiciel de simulation de vol de la fusée. Il a été un point de départ pour élaborer notre programme. Cependant **il comporte de gros défauts** :

- Programme MS-DOS où les données ne sont pas exportables (vers EXCEL par exemple)
- Ne donne que les normes de la vitesse et de l'accélération (impossible de déduire les composantes suivant l'axe de la fusée par exemple)
- Le pas de calcul ne peut pas être inférieur à 0.01 seconde.

Nous avons donc développé notre programme sous EXCEL puis validé par comparaisons avec TRAJEC V2.4 ses calculs (voir annexe programme EXCEL de simulation du vol de la fusée).

6.4.4.2. Résultats

Les résultats dépendent bien entendu des caractéristiques géométriques de la fusée : taille, envergure, masse, coefficient aérodynamique. Les résultats sont donnés pour la fusée décrite précédemment, calculés avec EXCEL :

Accélération suivant l'axe de la fusée (m/s ²)	Accélération orthogonale à l'axe de la fusée	Vitesse selon l'axe de la fusée (m/s)	Altitude atteinte à la culmination (m)	Distance parcourue (m)
--	--	---------------------------------------	--	------------------------

	(m/s ²)			
Min : -20	Min : 0	Min : 0		
Max : 220	Max : 9,81 (g)	Max : 93 soit 336 km/h !	343	143

Tableau 7 : Résultats des prévisions de vol de la fusée

6.4.4.3. Le filtrage du signal

Comme dans toutes chaînes de mesure il est nécessaire de filtrer le signal issu du capteur avant de pouvoir l'exploiter. Il a donc fallu déterminer pour chaque capteur **quelle partie du signal contenait de l'information**, « le contenu informationnel », afin d'éliminer en filtrant « le bruit ».

Grâce aux résultats de la simulation, nous avons élaboré une **procédure sous Mathematica qui réalise la transformée de Fourier des « signaux numériques »** : pour chaque accélération (selon l'axe de la fusée, dans le plan orthogonal à l'axe) nous avons réalisé la transformée. Voici une illustration de ce qu'on a obtenu :

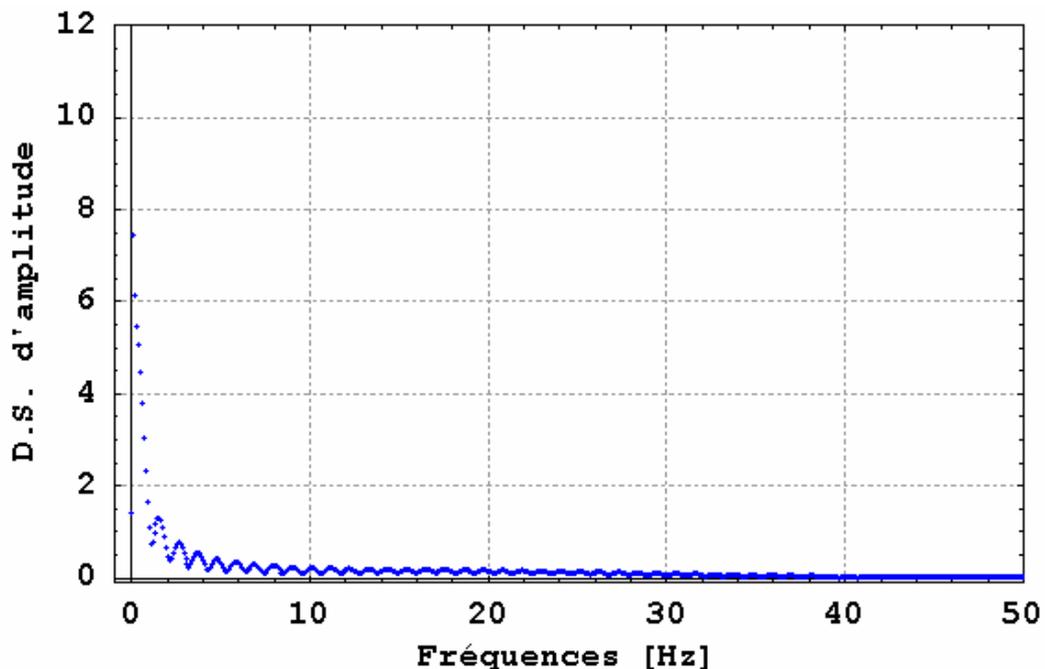


Figure 7 : Spectre en fréquence de l'accélération selon l'axe de la fusée

On en déduit les caractéristiques de filtrage pour chaque capteur :

	Fréquence du signal min	Fréquence du signal max
Accélération suivant l'axe de la fusée		30 Hz
Accélération suivant les axes perpendiculaires à l'axe		30 Hz
Roulis	0,1 Hz	10 Hz

Tableau 8 : Caractéristiques de filtrage des capteurs

Le gyromètre nécessite un filtrage à très basse fréquence car il a tendance à prendre une composante continue au cours de la mesure, un « offset ».

6.4.5. Sous-traitance avec le lycée Kastler.

6.4.5.1. Intérêts

Cette collaboration est avant tout une nécessité : **le lycée Kastler a les compétences pour réaliser le système embarqué.** Pour nous les intérêts sont :

- Avoir une première expérience dans une relation avec un sous-traitant
- Evaluer les compétences du sous-traitant afin d'adapter notre demande
- Définir un cahier des charges compréhensible par le sous-traitant
- Mettre en place des procédures de suivi d'avancement

Après avoir parfaitement défini les capteurs, il fallait rédiger les spécifications techniques du besoin pour le lycée Kastler en y intégrant les règles auxquelles était soumis le système embarqué définies dans:

- le cahier des charges pour minifusées Cariatou (voire glossaire et bibliographie)
- le cahier des charges pour fusée expérimentale
- notre cahier des charges issues de nos études préliminaires, tel que l'emplacement disponible dans la fusée, les spécifications des capteurs

Ce document devait être compréhensible sans ambiguïté, concis et suffisamment détaillé. Ce document est fourni en annexe 12.

6.4.6. Composition de la chaîne de mesure

Le principe de la chaîne de mesure est le suivant :

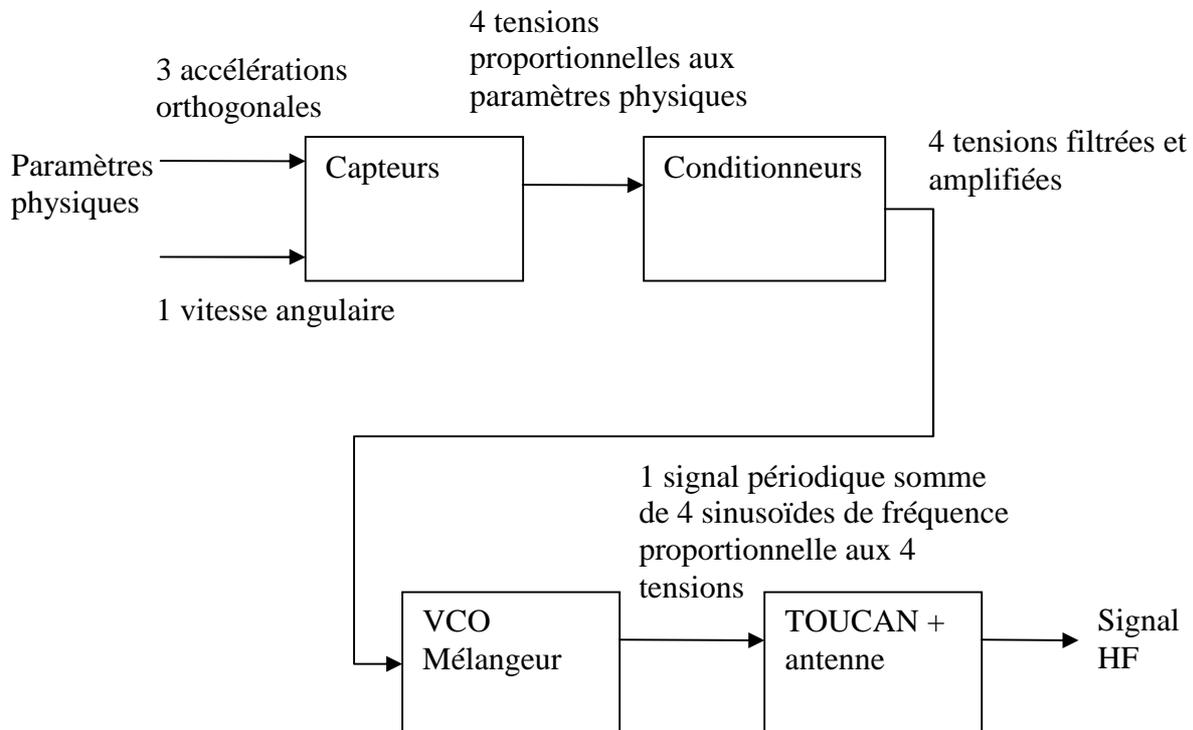


Figure 8 : principe de la chaîne de mesure

L'implantation au sein de la fusée devrait suivre le schéma suivant :



Figure 9 : implantation de la télémétrie dans la fusée

6.5. Conception du sous-système parachute

6.5.1. Avant projet du sous-système éjection

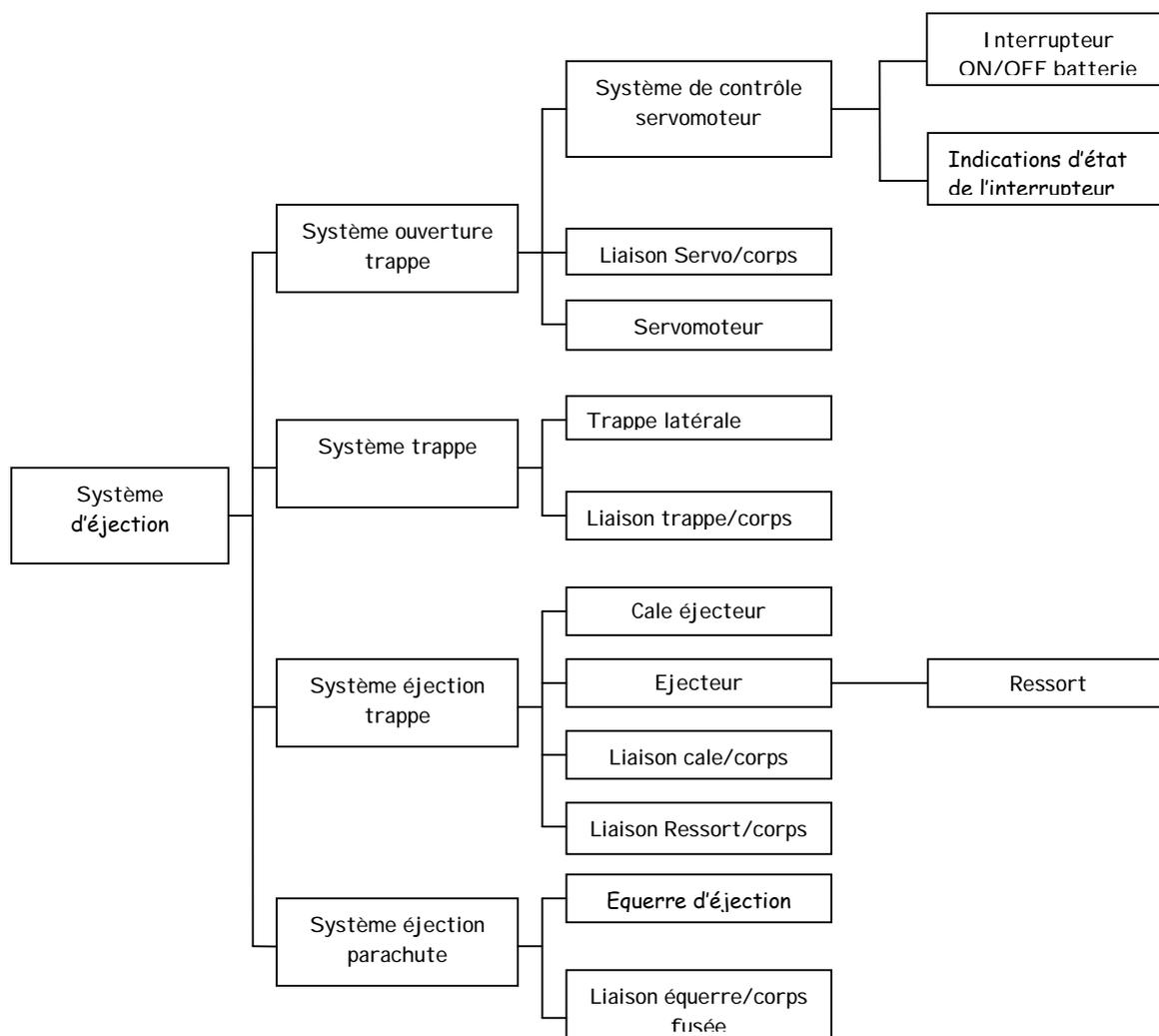
Le déploiement du parachute est commandé par une minuterie. Au bout du temps t_c (temps de culmination calculé par Trajec), l'ouverture d'une trappe latérale, située dans la partie inférieure du corps de la fusée, permettra le déploiement du parachute et son ouverture pour freiner la fusée lors de son atterrissage.

Le sous-système d'éjection se compose :

- * d'une partie électronique : la carte qui gère la minuterie et la commande du système d'ouverture de la porte
- * d'une partie mécanique d'éjection proprement dite qui comprend l'ouverture de la trappe et la sortie du parachute

Les deux organigrammes techniques suivants détaillent ce qui compose ces deux parties :

PARTIE MECANIQUE :

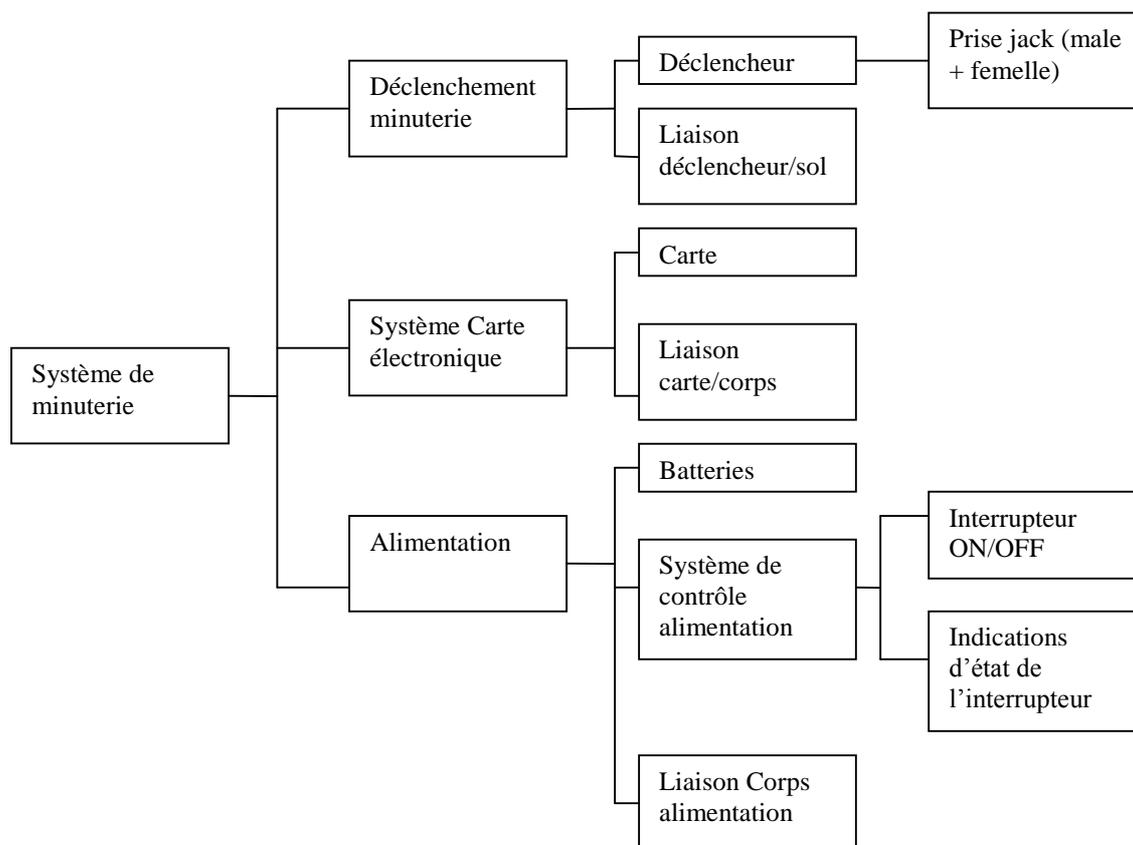


Les différentes cales de fixation entre les composants de la partie mécanique ne sont pas explicitées ou certaines liaisons de composants avec le corps se feront par l'intermédiaire d'autres pièces (voir conception de la partie mécanique).

Si on récapitule grossièrement les composants de la partie mécanique, il apparaît :

- la trappe latérale
- le servomoteur
- le ressort d'éjection et sa cale de mise en position
- l'interrupteur de commande du servomoteur
- l'équerre d'éjection

PARTIE ELECTRONIQUE :



Si on récapitule grossièrement les composants de la partie électronique, il apparaît :

- la carte électronique
- la prise jack
- les batteries
- l'interrupteur de commande de l'alimentation

Par rapport au sous-système d'éjection, le cahier des charges nous impose certaines règles. Elles sont récapitulées dans une matrice des contraintes propre à chaque partie, d'autres contraintes que nous devons satisfaire mais qui ne sont pas explicitées dans le cahier des charges y sont également présentes.

Voir annexe 9

Le cahier des charges impose également des tests qui seront réalisés sur le sous-système d'éjection. La réussite de ces tests est indispensable au décollage de la fusée. Le sous-système devra donc subir un protocole d'essai.

Voir annexe 9

6.5.2. Conception du sous-système éjection

➤ Partie électronique

Le déploiement du parachute doit être effectué à la culmination de la fusée (point le plus haut de la trajectoire). Pour cela, nous avons décidé de commander cette éjection à

l'aide d'une minuterie au bout du temps t_c (temps de culmination calculé par Trajec). Au bout de t_c , la rotation du servomoteur permet la libération de la porte et ainsi le déploiement du parachute. Cette rotation doit également être commandée par la carte. Il nous reste à déclencher la minuterie, ce qui sera réalisé par l'arrachage d'une prise jack (une extrémité du jack fixé au sol, l'autre à la carte).

Tout ceci est déjà traduit dans l'organigramme technique précédent.

Rentrons maintenant dans le détail.

La carte devra donc **gérer les commandes** suivantes :

- Identifier l'état de l'interrupteur de position du servomoteur et exécuter la commande décrite par l'interrupteur
- Identifier l'état de la prise jack (décrochée ou non)
- Déclencher la minuterie
- Attendre le temps t_c
- Commander la rotation du servomoteur à t_c pour libérer la trappe

Pour cela, un microprocesseur PIC est intégré sur la carte pour gérer ces commandes. Cette gestion nécessite la programmation de ce microprocesseur (évoqué plus loin).

La carte aura ainsi :

- **En entrée** : la prise jack et l'interrupteur de commande de la position du servomoteur
- **En sortie** : le servomoteur

Un interrupteur d'alimentation permettra de couper l'alimentation de la carte.

On reprendra la carte (physique) de l'année précédente et pour satisfaire à nos exigences, il faudra refaire la programmation du microprocesseur.

Avant de parler de la programmation, il est tout d'abord nécessaire de **dimensionner l'alimentation**. On choisit d'alimenter la carte par des piles car plus léger et moins encombrant qu'une batterie et entièrement suffisant pour les contraintes imposées. Pour cela, on détermine les éléments qui consomment le plus (élément dimensionnant), ce qui se réduit au servomoteur (que nous possédons déjà car récupéré du projet précédent).

Voir annexe 9

L'étape suivante consiste maintenant à définir la programmation de la carte.

Voir annexe 9

➤ **Partie mécanique :**

LA TRAPPE : La trappe couvrira 1/3 du périmètre du corps de la fusée (soit un angle de 120° , le même qu'entre deux barres du système tiroir de l'intérieur du corps de la fusée) et mesurera en hauteur 200mm.

Cette hauteur est calculée comme la somme suivante :

Case parachute de 130mm+ ressort d'éjection avec sa cale 20mm+ servomoteur 50mm

En effet, la came du servomoteur doit être reliée à la porte pour permettre son maintien direct.

La trappe est logiquement face à la came du servomoteur.

LA PRISE JACK : La prise jack et son fil seront placés le long du corps de la fusée à l'extérieur. Le passage de l'intérieur à l'extérieur de la fusée se fera à l'aide d'un perçage. Dans un souci d'encombrement, la prise jack (mono) sera pris de diamètre faible : la fiche de diamètre 2,5mm et l'extérieur de la prise de diamètre 10mm.

Par contrainte de démontabilité, le perçage réalisé dans le corps de la fusée pour le passage du jack sera de diamètre le diamètre extérieur du jack.

Il faut prendre en compte ces contraintes :

- Ne pas mettre dans le même périmètre de la trappe pour ne pas fragiliser outre mesure ce périmètre
- Le place du même côté que les composants de la carte minuterie pour éviter la circulation du fil peu aisée du à la place réduite disponible
- Le fil du jack ne devra pas gêner le servomoteur et le ressort
- Limiter la longueur du fil à l'extérieur pour ne pas interférer avec la trappe

Le perçage sera donc placé en face de la carte minuterie, côté composants, décalé par rapport à la trappe.

Un morceau de scotch viendra recouvrir le trou et fixer le fil du jack au corps.

LE RESSORT : Le ressort permet l'éjection de la trappe à culmination (lorsque la trappe est fermée, il est en compression).

Nous considérerons les hypothèses suivantes :

- L'éjection de la trappe se fait à culmination, lorsque la fusée est en position horizontale : la vitesse de la fusée n'a qu'une composante axiale
- La répartition de la vitesse autour de la fusée provoque une baisse de pression au niveau de la trappe
- On négligera les forces aérodynamiques (difficiles à quantifier, et ces forces vont dans le sens du décollement de la porte)
- Les forces considérées sont le poids de la trappe, de l'équerre d'éjection et du parachute (soit environ 200g)

Par géométrie de la fusée et par calcul, on obtient :

- $F = 2N$
- $L_{\text{libre}} > 45\text{mm}$ (le ressort doit dépasser du corps de la fusée !)
- $L_{\text{mini}} < 25\text{mm}$

On choisit ainsi un ressort de compression standard dont les caractéristiques sont :

Dext= 6,8mm, Llibre= 65mm, Lmini= 17,4mm, F= 6,57N, k= 0,14

FIXATION DES COMPOSANTS : Tous les composants seront fixés sur une carte support à l'aide de vis et par l'intermédiaire de cales (*voir définition des cales à l'annexe 9*). Cette carte support sera elle-même fixée aux deux rondelles de nid d'abeille par l'intermédiaire de 2*2 petites équerres. Les plans de définition sont fournis *en annexe 9*.

6.5.3. Conception du parachute

A partir de la matrice des contraintes du sous-système parachute, nous avons listé les fonctions auxquelles doit répondre chaque élément constitutif du parachute. Nous en avons déduit les matériaux et dimensions de chacun de ces éléments.

6.5.3.1. Toile du parachute

- **Matériau de la toile**

Contraintes : Avoir une masse minimale, Se mettre en place facilement dans le corps de la fusée, Résister aux forces exercées lors du déploiement, Ralentir efficacement en fonction de la vitesse de la fusée, Ne pas dégrader l'environnement.

Analyse : le matériau choisi doit être assez souple pour assurer une bonne découpe, se plier puis se déplier facilement et assez résistant.

Choix final : toile de parachute du type toile de spi

- **Dimensionnement de la toile**

Contraintes : Adapter les dimensions au corps de la fusée, Résister aux forces exercées lors du déploiement, Se déployer correctement à culmination.

Calcul des dimensions : les dimensions de la toile dépendent de la vitesse de descente souhaitée pour le parachute. Cette vitesse est donnée par le cahier des charges :

$$V_d = \sqrt{\frac{2Mg}{\rho_0 C_x S}}$$

ou $S = \frac{2Mg}{\rho_0 C_x V_d^2}$

M (kg) : masse de la fusée avec le propulseur vide = 1,7 kg
 S (m²) : surface du parachute déployée (ou surface projetée)
 g = 9,81 m/s² : accélération de la pesanteur
 ρ₀ = 1,23 kg/m³ : masse volumique de l'air
 C_x = 1 : coefficient de résistance du parachute dans l'air (cahier des charges)
 V_d doit être compris entre 5 et 15 m/s ; on choisit une vitesse moyenne de 10 m/s

Le parachute est cruciforme : moins efficace mais plus résistant qu'un parachute hémisphérique, il tolère des ouvertures à grande vitesse et offre une grande simplicité de réalisation. La toile est donc composée de 5 carrés de côté a.



Remarques : 1 - Pour renforcer la toile à ses extrémités et éviter qu'elle ne s'effile, nous avons décidé de coudre un ourlet de 10mm sur les bords de la toile. La découpe tient compte de cette largeur nécessaire à l'ourlet.

2 - Les trous nécessaires à l'accrochage des 8 suspentes à la toile sont renforcés à l'aide d'œillets métalliques. Ils sont posés à une distance suffisamment importante du bord pour ne pas provoquer un arrachement de la toile au niveau des coins lors du déploiement du parachute.

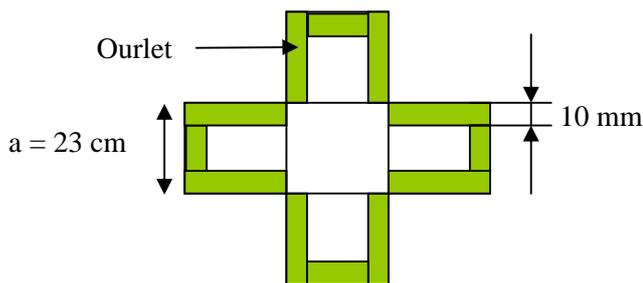


Figure 11 : Dimensions du parachute

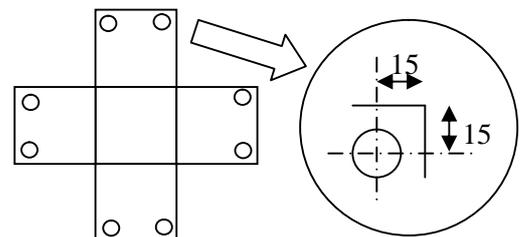


Figure 10 : Implantation des œillets

6.5.3.2. Suspentes du parachute

- **Matériau des suspentes**

Contraintes : Avoir une masse minimale, Se mettre en place facilement dans le corps de la fusée, Résister aux forces exercées lors du déploiement, Ne pas dégrader l'environnement.

Analyse : les suspentes doivent être assez souples pour assurer le bon déploiement du parachute mais doivent aussi être très résistantes pour encaisser la force lors du déploiement.

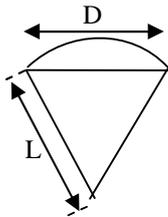
Choix final : fil de nylon du type fil de pêche

- **Dimensionnement des suspentes**

Contraintes : Adapter les dimensions au corps de la fusée, Ne pas s'emmêler

Calcul des dimensions :

1 – Longueur des suspentes



Pour fixer la longueur des suspentes, nous nous sommes basés sur d'autres projets. Nous avons ainsi fixé $L = 1,5 \times D$. Nous avons aussi considéré : $L = a$.

L = 35 cm

Figure 12 : longueur des suspentes

2 – Résistance du fil

Force à l'ouverture du parachute :

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot C_x \cdot V_{\text{ouverture}}^2 \cdot S_{\text{projetée}}$$

F_{ouverture} = 16 N

- $C_x = 1$ (maximum pour une surface concave)
- $\rho_0 = 1,23 \text{ kg/m}^3$
- $V_{\text{ouverture}} = 10 \text{ m/s}$ (le cahier des charges impose entre 5 et 15 m/s)
- $S_{\text{projetée}} = 5 \cdot 0,23^2 = 0,26 \text{ m}^2$ (surface projetée du parachute ouvert)
- s : coefficient sécurité de 4 (d'après le cahier des charges)

Force dans chaque suspente :

$$F_{\text{suspente}} = \frac{2 \times 2 \times F_{\text{ouverture}}}{\text{Nombre de suspentes}}$$

F_{suspente} = 8 N

avec un coefficient sécurité de 2, et en considérant que seulement la moitié des suspentes travaillent à l'ouverture.

Conclusion : Le fil choisi doit avoir une résistance minimale de 0,8 kg.

6.5.3.3. L'émerillon

- **Matériau de l'émerillon**

Contraintes : Avoir une masse minimale, Se mettre en place facilement dans le corps de la fusée, Résister aux forces exercées lors du déploiement, Ne pas dégrader l'environnement.

Conclusions : l'émerillon est une pièce très simple prenant la forme d'un cercle et qui doit être légère et résistante. L'émerillon doit résister à une force de $2 \times F_{\text{ouverture}}$ d'après le cahier des charges. Un anneau en acier suffit largement pour encaisser cet effort.

Choix final : anneau en acier de diamètre de fil assez fin

- **Dimensionnement de l'émerillon**

Contraintes : Adapter les dimensions au corps de la fusée, Résister aux forces exercées lors du déploiement.

Diamètre de l'émerillon : le diamètre de l'émerillon n'est pas dimensionné par des formules. Nous avons donc choisi un diamètre de 30 mm, validé lors des essais sur un prototype. Ce diamètre assure un encombrement réduit et une masse peu importante.

6.5.3.4. L'anneau anti-torche

- **Matériau de l'anneau anti-torche**

Contraintes : Avoir une masse minimale, Se mettre en place facilement dans le corps de la fusée, Résister aux forces exercées lors du déploiement, Ne pas dégrader l'environnement.

Conclusions : l'anneau anti-torche est une pièce très importante qui assure le bon déploiement des suspentes en empêchant leur emmêlement. Les réalisations passées montrent que ses dimensions dépassent celles du corps de la fusée. Il faut donc choisir un matériau très souple pour pouvoir insérer l'anneau dans le corps et assurer une sortie correcte.

Choix final : le choix du matériau est laissé à l'appréciation du lycée Sud-Médoc. Les contraintes à respecter ont été communiquées dans le document *Spécifications du sous-système parachute confié au lycée Sud Médoc*.

- **Dimensionnement de l'anneau anti-torche**

Contraintes : Adapter les dimensions au corps de la fusée, Résister aux forces exercées lors du déploiement.

Contraintes imposées : - diamètre de l'anneau : 70 mm
 - diamètre de perçage : 2 mm
 - masse anneau < 5 g

6.5.3.5. La sangle

- **Matériau de la sangle**

Contraintes : Avoir une masse minimale, Se mettre en place facilement dans le corps de la fusée, Résister aux forces exercées lors du déploiement, Ne pas dégrader l'environnement.

Conclusion : la sangle va « transmettre » l'effort de déploiement du parachute au corps de la fusée. La sangle doit résister à une force de $2 \times F_{ouverture}$ d'après le cahier des charges, soit 3,2kg.

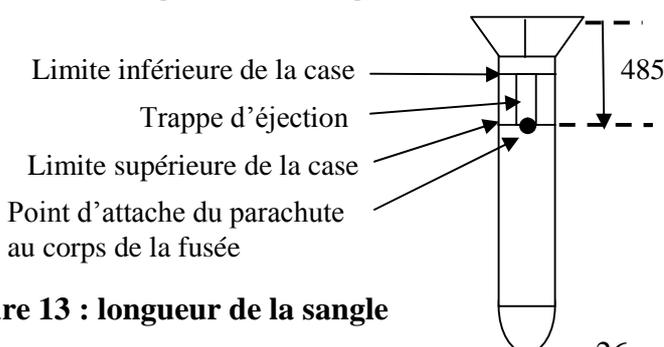
Choix final : sangle en tissu tressé

- **Dimensionnement de la sangle**

Contraintes : Adapter les dimensions au corps de la fusée, Résister aux forces exercées lors du déploiement.

Résistance de la sangle : Chaque suspente doit supporter une force égale à $2 \times F_{ouverture}$

Longueur de la sangle :



Pour éviter que les suspentes ne s'abîment au contact des ailerons, la longueur de la sangle doit être supérieure ou égale à 485mm.

L = 520 mm

Figure 13 : longueur de la sangle

6.5.3.6. Plaque d'aide à l'éjection du parachute

Afin de faciliter l'éjection du parachute, nous plaçons une équerre métallique en bas de la porte : lors de l'ouverture de la porte, le parachute sera entraîné par l'équerre.

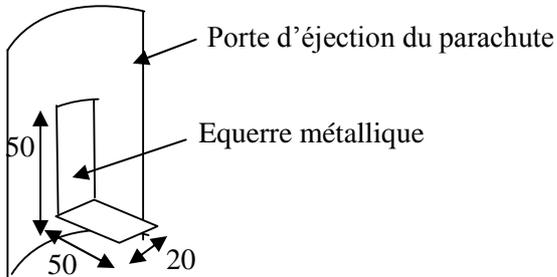


Figure 14: plaque d'aide à l'éjection du parachute

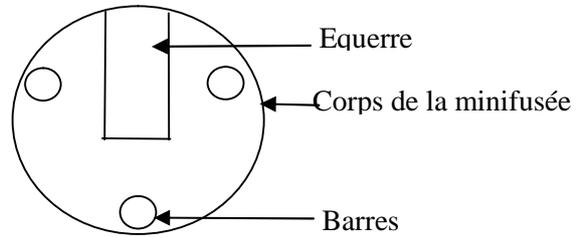


Figure 15 : Implantation dans la fusée

Réalisation de l'équerre : plier une plaque métallique de dimension 100x20mm, pliée en son milieu.

Fixation : L'équerre est simplement collée au corps de la minifusée.

6.5.3.7. Fixation de la sangle

Rôle : la fixation de la sangle a pour but de relier l'ensemble du parachute au corps de la minifusée.

Résistance : D'après le cahier des charges fuseex 1.2, le système d'attache doit résister à une force de $2 \times F_{\text{ouverture}}$, soit 32 N.

Lors des tests réalisés par nos soins, nous avons relié la sangle du parachute au corps de la minifusée par un système de vis présentant un anneau à la place de la tête. Cependant, le cahier des charges minifusex 1.2 déconseille d'utiliser des systèmes filetés à cet endroit.

Conception : Nous décidons de remplacer l'anneau vissé par un anneau Rilsan en plastique. Il suffit alors de percer 2 trous dans la plaque d'attache de la sangle. Pour disposer d'une plaque plus solide, nous remplaçons le nid d'abeille par une plaque en bois, plus résistante.

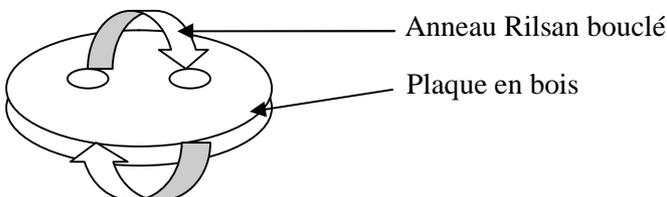


Figure 16 : fixation de la sangle

Pliage du parachute

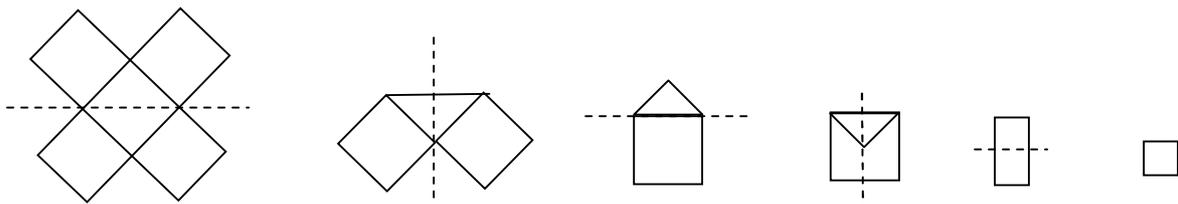


Figure 17 : pliage du parachute

6.5.3.8. Essais du parachute

Afin de valider nos choix, nous avons fabriqué un compartiment aux dimensions de l'espace réservé au parachute dans notre future minifusée. Ce compartiment a été réalisé dans un tube PVC de diamètre 63 mm. Nous avons ainsi pu tester l'encombrement du parachute plié et des éléments liés. Puis nous avons testé le parachute en accrochant une masse de 1,7 kg à la sangle, puis en lançant le tout du haut de la tour ENSAM. Nous avons pu ainsi vérifier l'efficacité du parachute et la résistance de la toile, des suspentes, de l'émerillon, de l'anneau anti-torche et de la sangle.

7. Cahier des charges sous-traitants

Nous avons élaboré les Spécifications Techniques du Besoin (STB) pour chaque sous-traitant. Un important travail préliminaire est demandé afin d'imposer des objectifs réalisables en fonction des compétences de chaque sous-traitant.

Ces documents doivent être fournis assez tôt, dès l'avant-projet, avec un planning cohérent qui impose des dates de revues (voir planning sous-système en annexe 6) et permet un suivi régulier du travail effectué par les sous-traitants.

7.1. STB Jean Zay

Les sous-traitants de Cenon sont un groupe de 15 élèves de 3^{ème} qui ont 2 heures par semaine allouées au travail sur la mini-fusée. Ils mènent en parallèle 2 projets de mini-fusée dont celui de l'ENSAM.

Voir les STB en annexe 11.

7.2. STB Kastler

La réalisation du sous-système télémétrie est confiée à des élèves de BTS Electrotechnique du Lycée Kastler à Talence. L'équipe est composée de 6 élèves qui travaillent sur le projet dans le cadre de leur cours sur la télémétrie.

Voir les STB en annexe 12.

7.3. STB Sud Médoc

Au lycée Sud-Médoc, le projet de minifusée se présente sous la forme d'un club d'élèves encadrés par des intervenants de l'AJSEP et se réunissant tous les jeudis soir. Cette année, l'équipe de motivés n'est composée que d'une seule élève de Première scientifique : Morgane Besançon. Son objectif est de réaliser sa propre minifusée, et de réaliser, en parallèle, le parachute de notre minifusée. Le fait qu'elle soit toute seule nous contraint à lui imposer la conception du parachute, afin de ne pas exiger une masse de travail excessive. Nous fixons donc les matériaux et les types de produits choisis pour chaque élément constitutif du parachute. Seuls quelques détails de conception sont laissés à l'appréciation du sous-traitant.

Pour la revue d'avant-projet, Morgane doit fournir un planning de réalisation du parachute, qui servira de repère pour mettre à jour notre propre planning.

Voir les STB en annexe 13.

8. Suivi des sous-traitants

Le travail avec sous-traitance étant une des caractéristiques principales de ce projet, il est indispensable de suivre l'avancement du travail de chacun des sous-traitants, de les relancer, de leur fournir des informations complémentaires, de discuter des solutions techniques envisagées.

Ainsi, nous avons effectué plusieurs revues avec eux, au cours desquelles on leur demandait de nous fournir des documents bien précis, les justifications de leurs choix,

d'évaluer le temps nécessaire à la réalisation de leur travail. Trois revues avec chacun de nos sous-traitants sont prévues durant le projet : une revue d'avant-projet, une revue de qualification et une revue d'exploitation. Ces revues sont complétées par un suivi régulier de l'avancement du travail du sous-traitant.

Les comptes-rendus des visites du collège J. Zay, du lycée Kastler et du lycée Sud Médoc sont répertoriés dans un document classé dans nos archives.

9. Relation avec notre client

Nous sommes bien entendu soumis à un cahier des charges de l'AJSEP. De plus, la partie télémétrie possède des contraintes supplémentaires liées au cahier des charges des fusées expérimentales. Ces deux documents sont référencés dans la bibliographie à la fin du rapport.

Nous avons également des contraintes de délai à respecter envers notre client. Ainsi, nous devons dès le début pouvoir rendre compte de notre organisation interne, de notre gestion de la sous-traitance, et de notre aptitude à tenir les délais imposés, puis, par la suite, observer l'état d'avancement du projet.

Un système de jalonnement a donc été mis en place par notre « client » afin :

- de nous conseiller quant à la gestion d'un projet
- de suivre l'évolution du projet
- de nous apporter un soutien sur certaines questions techniques
- d'observer notre gestion de la sous-traitance
- et enfin, de lister les points à améliorer dans la mise en place d'un projet éducatif.

Les comptes-rendus des revues d'objectifs et conception font l'objet d'un document.

Conclusion

Ayant très peu d'expérience en management de projet, la prise en main a été assez difficile par manque d'organisation, mais la présence de nos suiveurs de l'AJSEP nous a beaucoup aidé à aborder le projet avec une démarche industrielle.

Cette expérience a donc été très enrichissante. En effet, outre la partie technique à proprement dite, nous avons été confronté à divers problèmes tels que la répartition des tâches au sein de notre équipe, l'analyse des risques, l'établissement de cahiers des charges cohérents avec les aptitudes de nos sous-traitants, le suivi de l'avancement des différents sous-systèmes, et enfin, la communication avec nos « clients ».

Cependant, le projet ne s'arrête pas là. La conception de la fusée doit bientôt être évaluée par nos suiveurs/clients lors de la revue de conception système, en présence de ceux qui auront à en poursuivre la construction. A cette occasion, nous pourrions aborder un autre aspect de la gestion de projet, à savoir la transmission de compétence, afin que le projet, et surtout les délais, ne souffrent pas trop de cette période de transition.

Nous espérons pouvoir assister au décollage de cette fusée qui sera le meilleur critère pour évaluer la réussite ou non de notre travail.

Ce projet nous a apporté de précieuses notions en matière de management et de communication, outils indispensables à notre future profession.

Références bibliographiques

MAIER Etienne et MARTEAU Frédérique. Cahier des charges pour minifusées Cariatou [en ligne]. Version 2.1. France. CNES, Planète science. Disponible sur http://www.anstj.org/espace/publications/fichiers/cahier_des_charges_minif_cariacou.pdf

Olivier BOIREAU, Alain DARTIGALONGUE, Philippe DECAUDIN, Jean LAMOURE, Pierre LEBRUN, Francis LESEL, Olivier LIMAUX. Cahier des charges pour fusées expérimentales mono étage [en ligne]. Version 2.1. France. CNES, Planète science. Disponible sur http://www.anstj.org/espace/publications/fichiers/cahier_des_charges_fusex.pdf

DENIS Gil. Le vol de la fusée. Edition d'Octobre 1999. France. CNES, Planète science.

Emetteur de télémétrie à modulation de fréquence « TOUCAN. Edition de Janvier 1998. France. CNES, Planète science.

Rapport de projet fuséex THUNDER 202. Version 1.1. France. ENSAM Bordeaux-Talence

Rapport de projet fuséex WASABI 199. Non daté. France. ENSAM Bordeaux-Talence

Rapport de projet fuséex APOLLO 200. Non daté. France. ENSAM Bordeaux-Talence

DARTIGALONGUE Alain. Les propulseurs des clubs scientifiques spatiaux. Version 5. France. CNES, ANSTJ.

Mode d'emploi du programme calculant la trajectoire et la stabilité Trajec 2.22. Edition d'Octobre 1999. France. CNES, ANSTJ.

GUIDE D'AIDE A L'UTILISATION DU LOGICIEL TRAJEC. Version 2.0. France. CNES, ANSTJ

Glossaire

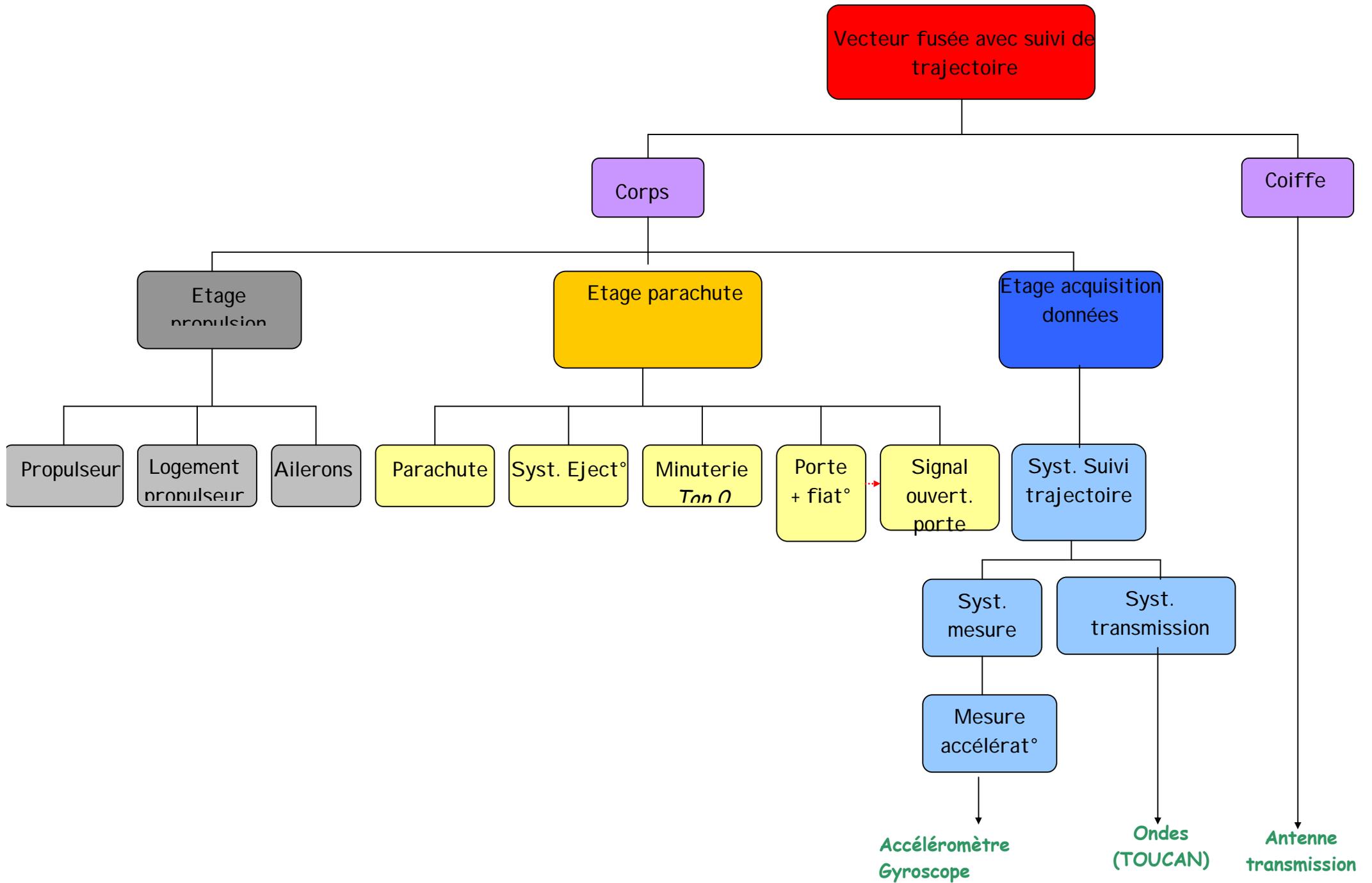
AJSEP	Association Jeunesse Sciences Espace Passion, c'est une association de bénévoles travaillant tous à la SNECMA et qui encadre des ateliers sur le thème de l'espace (fusée et ballons) avec Planète Sciences Site Internet : www.ajsep.com
Anneau anti-torche	Anneau percé de trous dans lesquels passent les suspentes. Il empêche l'emmêlement des suspentes lors de l'ouverture du parachute
Centre de poussée	Point matériel où, en théorie, tous les efforts extérieurs s'appliquent sur la fusée
Compartiment Culmination	Partie de la fusée dédiée à un sous-système unique et isolé La fusée est à culmination lorsqu'elle atteint son altitude maximale
Emerillon Marge statique Modulation	Anneau permettant l'accroche des suspentes du parachute Distance entre le centre de gravité et le centre de poussée La modulation peut être définie comme le processus par lequel un message est transformé de sa forme originale en une forme adaptée à la transmission
Microprocesseur PIC	Le PIC (Programmable Interface Controller) est en fait un microordinateur complet puisque son boîtier contient un CPU, une mémoire RAM, une mémoire EEPROM et des entrées-sorties
Minifusée	On appelle minifusées les objets propulsés avec des moteurs d'impulsion comprise entre 10 et 160 Newton-secondes pour lesquels l'objectif principal est la réalisation d'un système de récupération lui permettant de revenir au sol sans être endommagé par le choc lors de l'impact. Certains projets minifusées embarquent des expériences. On parle alors de Minifex (minifusée expérimentale).
Prise jack	Un jack est normalement une prise (ou embase : l'élément femelle d'un ensemble fiche/prise). Dans certains cas, <i>jack</i> désigne alternativement l'un ou l'autre des éléments : <i>fiche male</i> ou <i>prise femelle</i> , dans un ensemble de connecteurs apairés
Servomoteur	Un servomoteur est un ensemble complet de mécanique et d'électronique, qui contient : un moteur à courant continu (CC), une carte électronique, un réducteur de vitesse, un potentiomètre, un axe dépassant hors du boîtier avec différents bras ou roues de fixation. Les servomoteurs permettent de déplacer un bras, sur lequel est fixé un objet, jusqu'à une certaine position (ou angle de rotation), puis à maintenir solidement cette position
TRAJEC	C'est un programme qui dispose de deux fonctions principales : - Il calcule la trajectoire d'une fusée. - Il permet de vérifier la stabilité d'une fusée. http://www.planete-sciences.org/cgi-bin/compteur_telechargement_publications_espace.cgi?trajec.zip
VCO	Voltage Control led Oscillator Les V.C.O. encore appelés "traducteurs tension fréquence" sont des oscillateurs généralement sinusoïdaux dont la fréquence de

fonctionnement peut être modifiée, dans une certaine gamme, par une tension variable appliquée à leur entrée.

Index

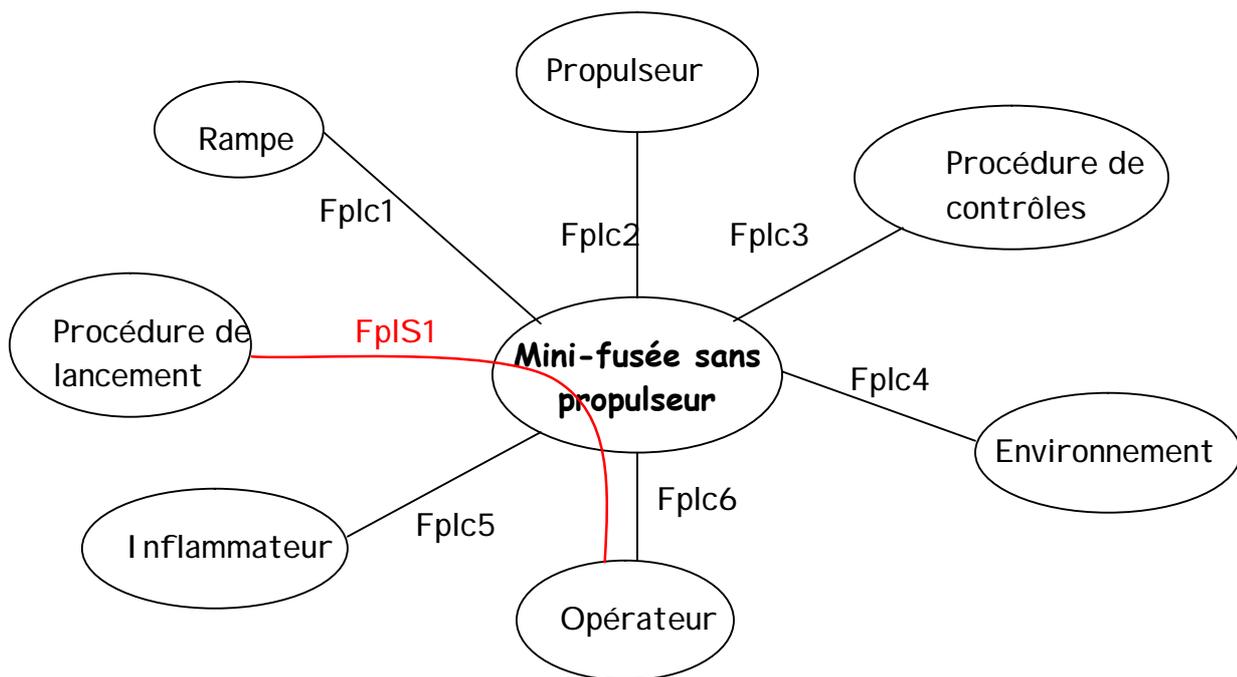
ailerons, 10, 12
AJSEP, 4, 9, 13, 24
anneau anti-torche, 11
antenne, 14
capteurs, 13, 14, 15
carte électronique, 27
centre de gravité, 12
centre de poussée, 12
compartimentation, 11, 13
conditionneurs, 13
coque, 9, 12, 13
corps de la fusée, 9
éjection, 15, 17, 22
émerillon, 11
émetteur, 14
finesse, 9
flèche, 13
maintenance, 13
marge statique, 10, 12
masses, 9
matériau, 9
modulation, 14
parachute, 5, 11, 15, 24
sangle, 11
toile, 11
Traitement, 14

ANNEXE 1



ANNEXE 2

- Phase de préparation au lancement :



FplS1 : Rendre compte de l'état de la procédure

Fplc1 : S'adapter à la rampe (géométriquement)

Fplc2 : Permettre l'installation facile et sûre du propulseur

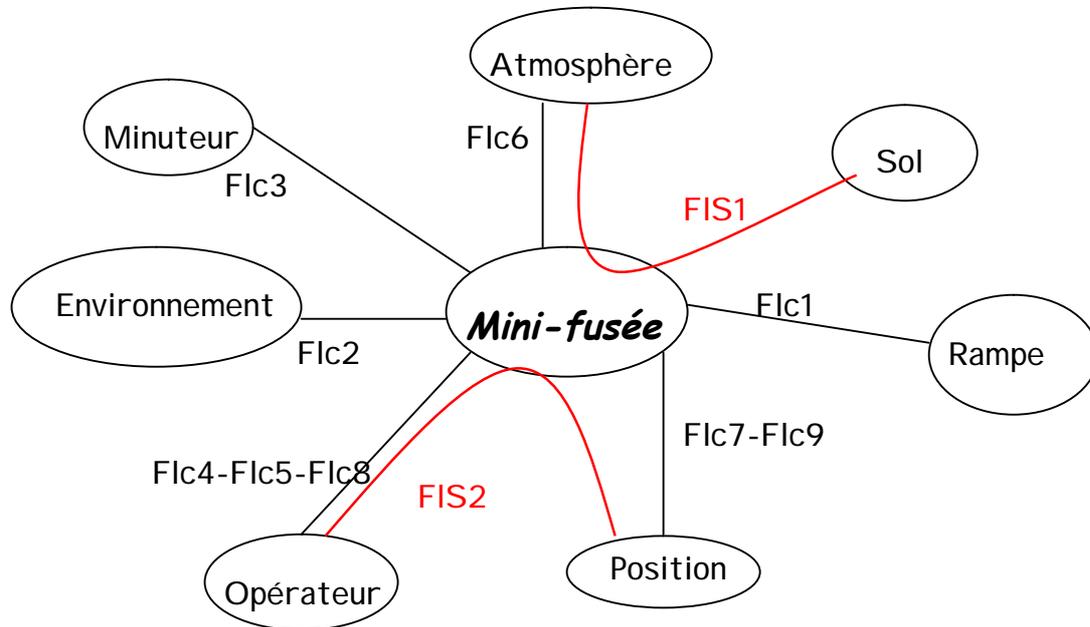
Fplc3 : Satisfaire aux contrôles

Fplc4 : Résister à son environnement et ne pas polluer le site

Fplc5 : Permettre le court-circuit de l'inflamateur

Fplc6 : Visualiser l'état de la fusée à tout moment (voyants, étiquettes...)

- Lancement, de l'allumage à la sortie de rampe :



FIS1 : Envoyer la fusée jusqu'à une certaine altitude

FIS2 : Permettre à l'opérateur de visualiser la trajectoire au lancement

Flc1 : S'adapter à toute la rampe (translation au décollage)

Flc2 : Assurer la sécurité du public

Flc3 : Déclencher le minuteur au décollage

Flc4 : Déclencher la mise à feu du propulseur

Flc5 : Assurer la sécurité de l'opérateur à l'allumage

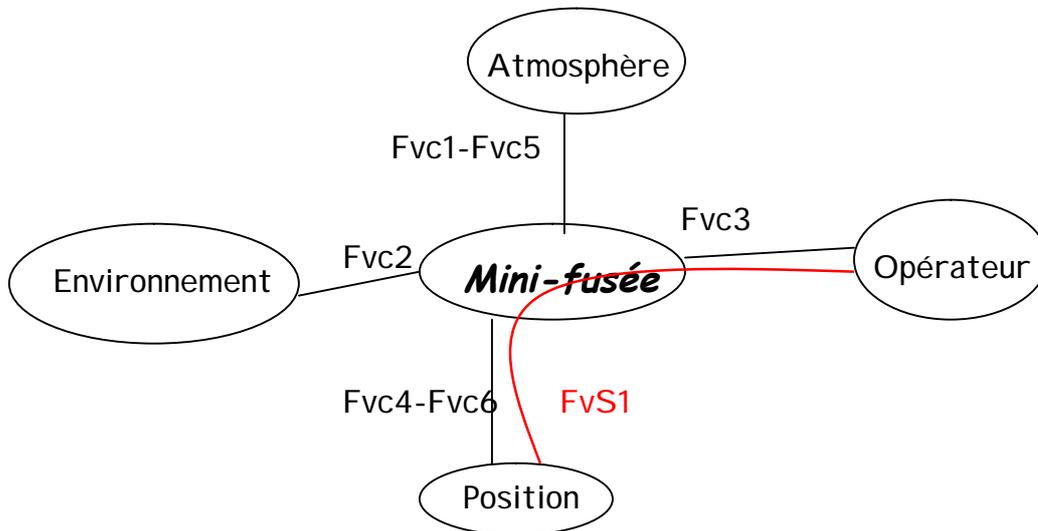
Flc6 : Minimiser les frottements avec l'air

Flc7 : Acquérir des données nécessaires au suivi trajectoire

Flc8 : Transmettre les données mesurées

Flc9 : Enregistrer les données

- Phase de vol :



FvS1: Permettre à l'opérateur de visualiser la trajectoire tout au long du vol

Fvc1 : Minimiser les frottements

Fvc2 : Assurer la sécurité du public (rien ne se détache)

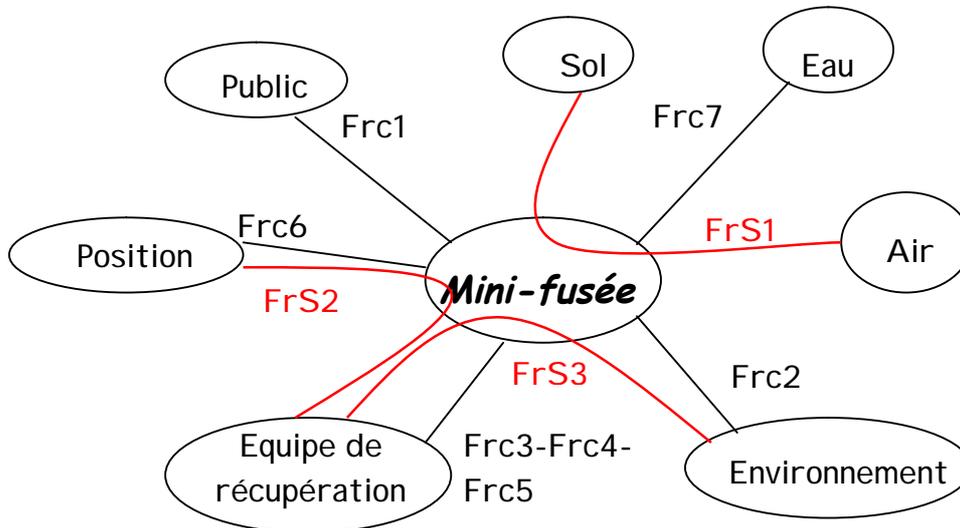
Fvc3 : Transmettre les données mesurées

Fvc4 : Acquérir les données nécessaires

Fvc5 : Résister aux intempéries

Fvc6 : Enregistrer les données

- **Phase de récupération:**



FrS1 : Diminuer la vitesse de la fusée entre 5 et 15 m/s pour l'atterrissage

FrS2 : Permettre le suivi de trajectoire même après ouverture parachute

FrS3 : Permettre à l'équipe de repérer la fusée dans la nature

Frc1 : Garantir la protection du public

Frc2 : Protéger l'environnement

Frc3 : Transmettre les données acquises

Frc4 : Emettre signal pour repérage (balise embarquée)

Frc5 : Récupérer les données enregistrées non endommagées (résistance au choc de l'atterrissage)

Frc6 : Acquérir et enregistrer les données

Frc7 : Assurer l'étanchéité du compartiment mesure

ANNEXE 3

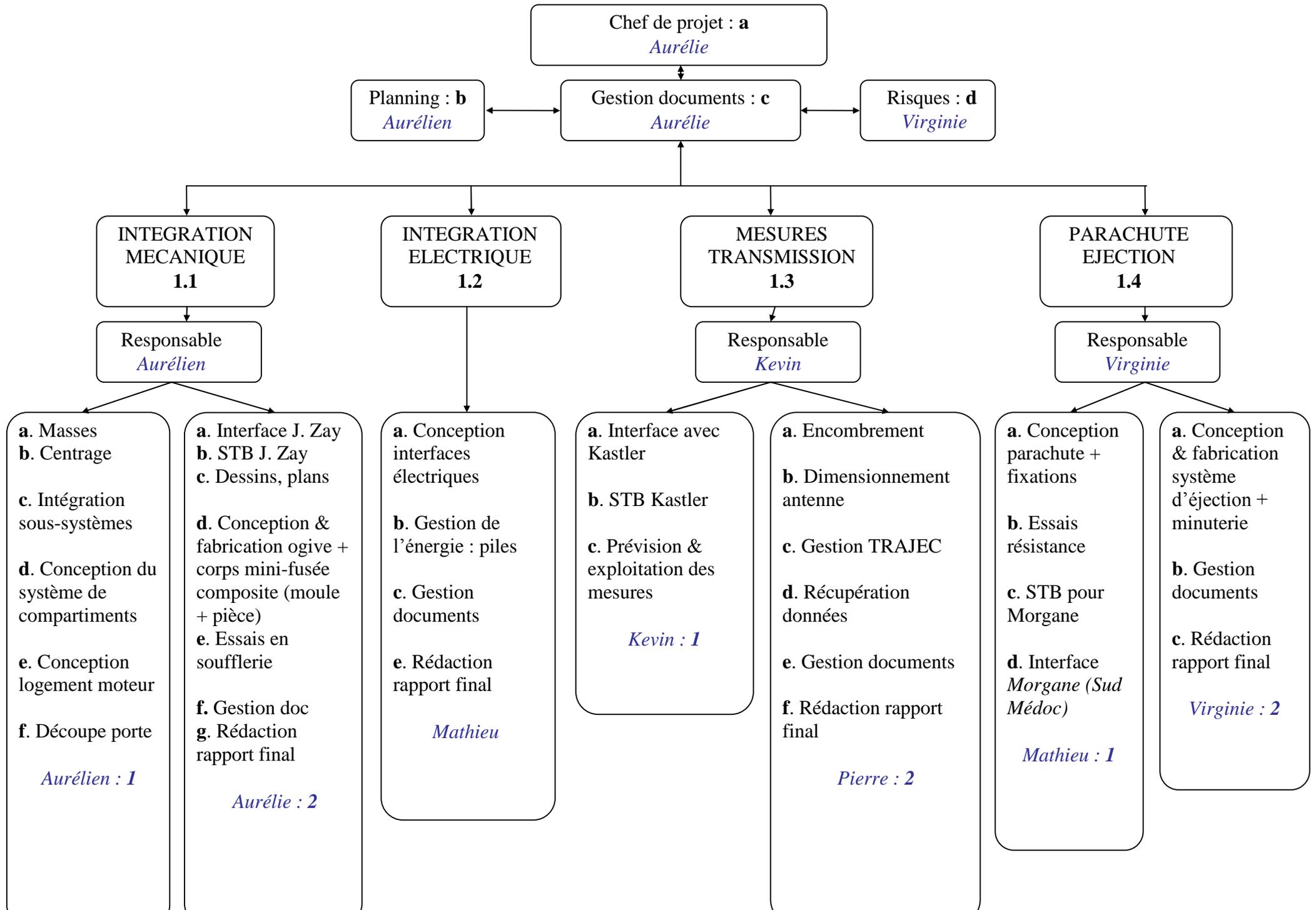
Code fonction (CdC planète sciences)	Description fonction	Critère d'appréciation	Valeur	Gestion de la fonction			
				ENSAM	Kastler	Jean Zay	Sud Médoc
GN1	Ne présenter aucun danger pour les personnes ou l'environnement			Aurélie			
GN2	Prévoir interrupteur de mise à la masse pour chaque inflammateur			Aurélien			
GN3	Etre compatible avec la rampe Idéfix		Rampe Idéfix 4 patins uniquement	Aurélie			
GN3	Permettre l'accès aux commandes une fois en place		Position adéquate des commandes	Aurélie			
GN4	Prévoir une autonomie suffisante	Voltage + Courant délivré par piles	Télémessure: > 45 min (CdC fusée expérimentale, MES2), Minuterie: t = 15min U max = 5V I max = 250mA	Virginie			
GN4	Présence d'un interrupteur marche-arrêt	possibilité pour l'utilisateur d'agir sur l'alimentation du système	position de l'interrupteur (ouvert / fermé)	Virginie			
GN5	Connaître l'état de la fusée à tout moment	présence d'un indicateur pour les différents états de la fusée	Etiquettes de position des interrupteurs	Virginie			

VL1	Fournir une chronologie au responsable de lancement	Savoir qui fait quoi et quand le jour du lancement	Calquée sur la fiche technique N°5	Aurélien			
VL2	Prévoir l'installation du propulseur	Permettre une mise et un maintien en position rapide et simple du propulseur	Centrage, maintien et plaque de poussée suffisante				
VL3	Assurer un bon dimensionnement et une bonne fixation des ailerons	Alignement, répartition et résistance	Angle maxi entre axe fusée et axe aileron = 5 °, test de résistance des fixations, test de résistances ailerons				
VL4	Assurer la stabilité de la fusée en vol	Vérifications sur TRAJEC	voir CdC p 8	Pierre			
VL5	Respecter la flèche maximum	Test décrit dans le CdC p 11	flèche < 1%	Aurélien			
VL6	Ne perdre aucun élément de la fusée en vol	Fixation de tous les éléments au corps de la fusée, conception parachute	Pouvoir secouer la fusée sans endommagements internes et externes, test attache parachute	Aurélien			

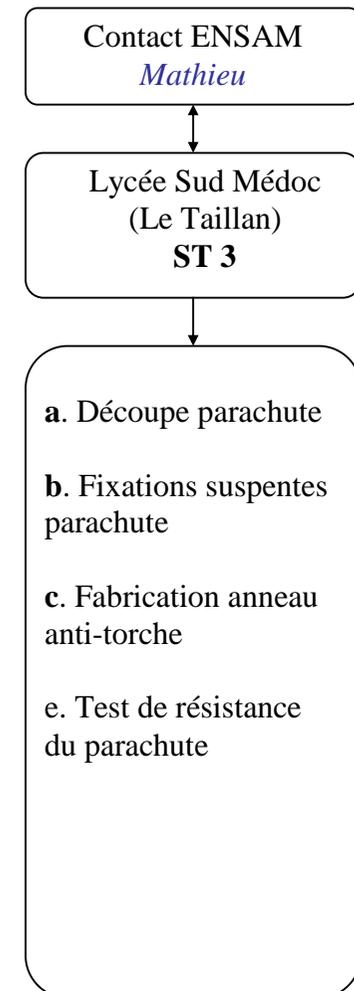
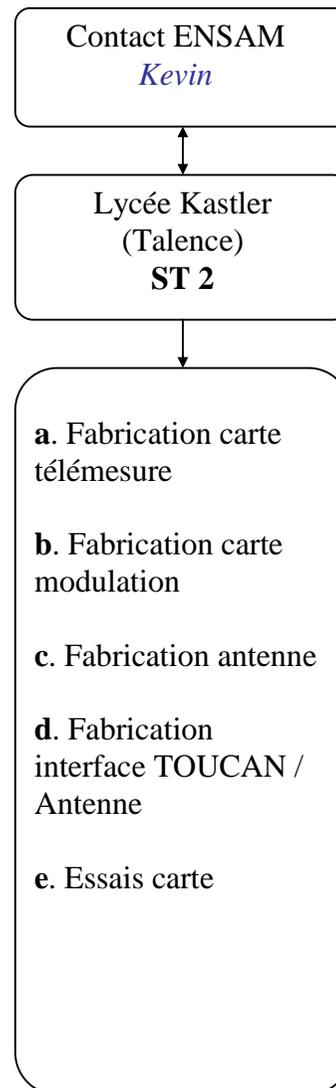
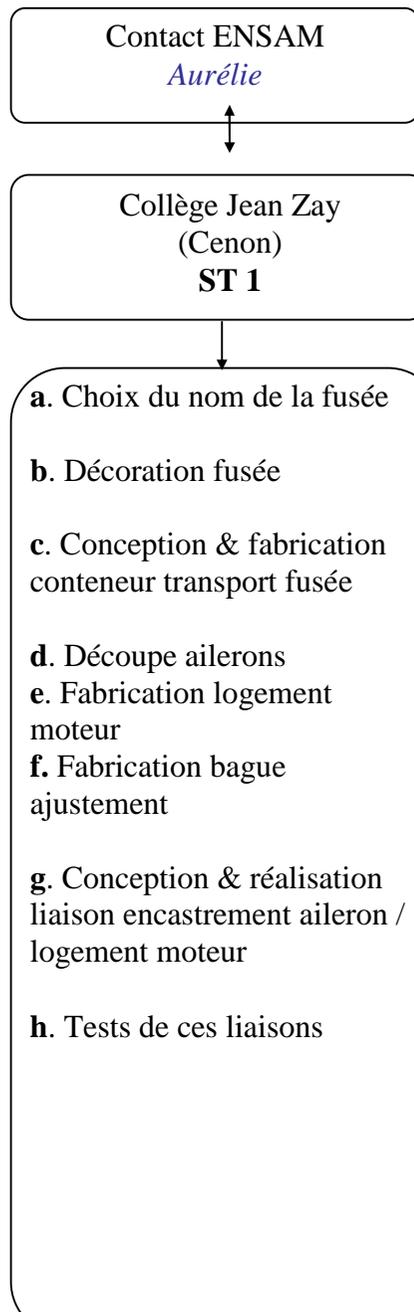
RC1	Ralentir efficacement la fusée pour retour au sol	Conception du parachute	Vitesse atterrissage entre 5 et 15 m/s				
RC2	Déclencher l'ouverture du parachute à culmination	Réglage minuterie	Temps minuterie déterminé avec TRAJEC	Virginie			
RC3	Résistance du système de récupération	Choc de l'ouverture	test: résistance à une masse de 6,6 kg				
RC4	Permettre ouverture trappe au bon moment	Ne pas s'ouvrir sans être commandée, s'ouvrir malgré les contraintes de vol	Renfort structure, tests décrits dans CdC p 13	Aurélié			
RC5	Retour de la fusée dans le gabarit de lancements défini	Respect d'une masse minimale, compatibilité terrain / fusée	M mini = 1,4kg (propulseur compris)	Aurélien			

TEL5	Respecter les normes	Réglementation internationale des télécommunications, normes en vigueur pour la télémessure, normes électroniques	Norme IRIG 20%				
OBJ2 METH1	Effectuer des mesures répondant aux objectifs de l'expérience	Grandeurs physiques mesurées	Accélération suivant 3 axes orthogonaux dont un selon l'axe de la fusée et vitesse angulaire suivant l'axe de la fusée	Kevin (intégration capteurs) Aurélien (axe de la fusée)			
OBJ2 METH2,3,4	Donner des résultats exploitables	Gamme de mesure, précision, erreurs de mesure	Rotation max de 1 tr/s pour le gyromètre	Kevin			
IRIG1 TEL8	Etre contrôlable facilement	Présence de cavaliers, présence d'une interface contrôle TOS	Cela entre chaque élément de la chaîne de mesure, prise BNC sans modifier la structure système				
DEF1,2 REA1,2,3	Fournir des informations sur le vol de la fusée	Données enregistrées	Suffisantes	Kevin			
IRIG2,3,4 MES2 TEL5,6,8	Emettre un signal pouvant être reçu dans de bonnes conditions	Excursion en fréquence sur chaque voie IRIG Fréquences centrales des bandes IRIG Amplitude de tous les canaux IRIG utilisés Tension d'alim émetteur Tension de modulation Puissance HF émise Tension de TOS	Respectant la norme La même à ± 10 % Entre 8 et 15 V Entre 0 et 5 V > 150 mW < 2				

ANNEXE 4

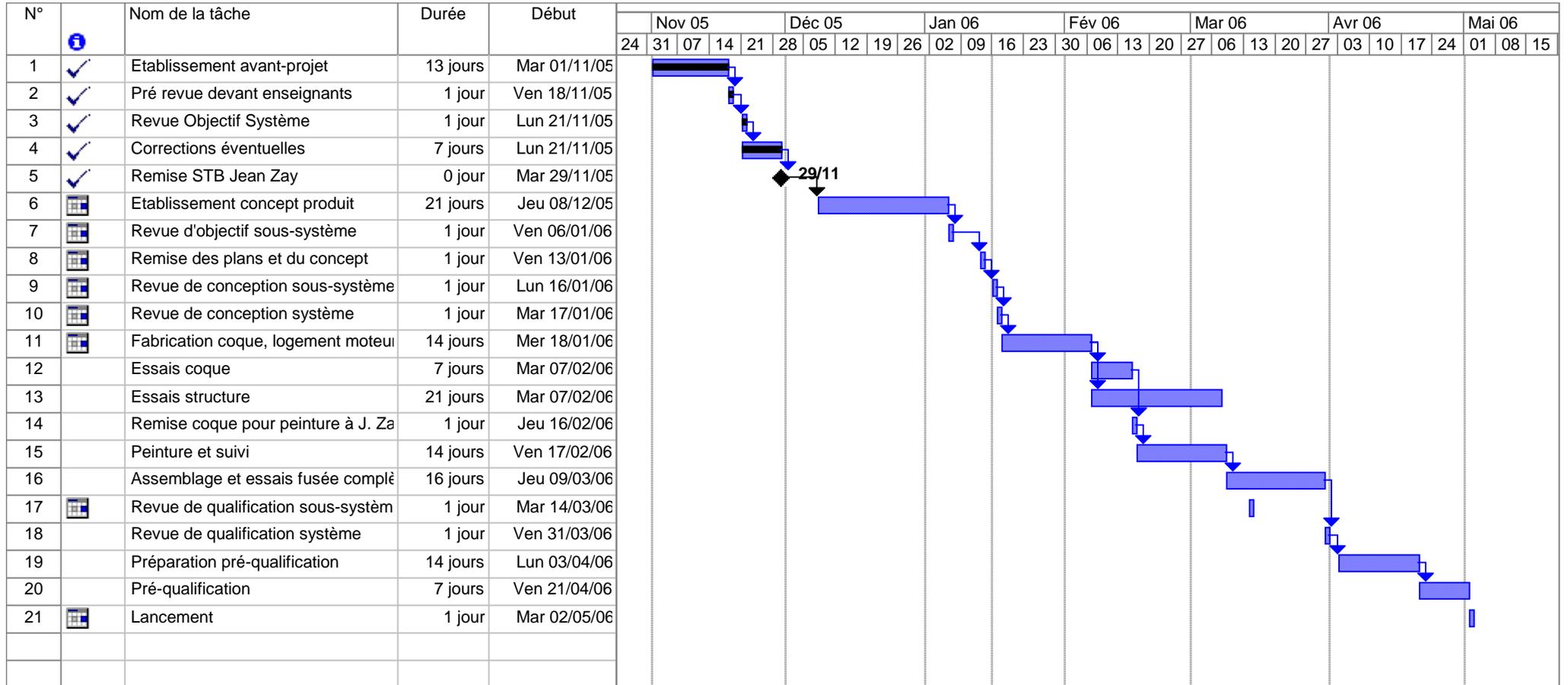


ANNEXE 5

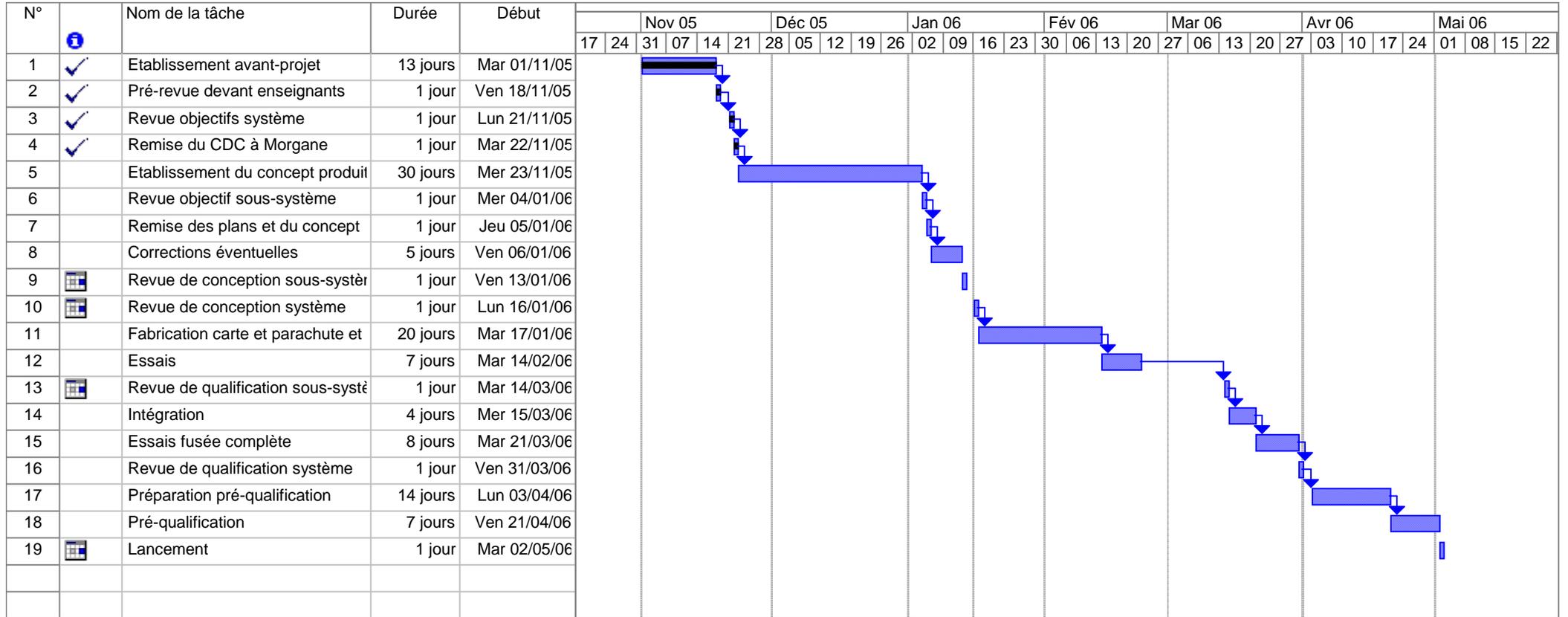


ANNEXE 6

Assemblage



Parachute



ANNEXE 7

Objectifs du projet :

- A. *Faire décoller la fusée début mai à Saintes*
- B. *Acquérir les résultats expérimentaux du vol*
- C. *Fournir un rapport d'exploitation*
- D. *Récupérer la fusée intacte après atterrissage*
- E. *Travail en équipe et multi établissement*

Etude des risques de non-atteinte des objectifs :

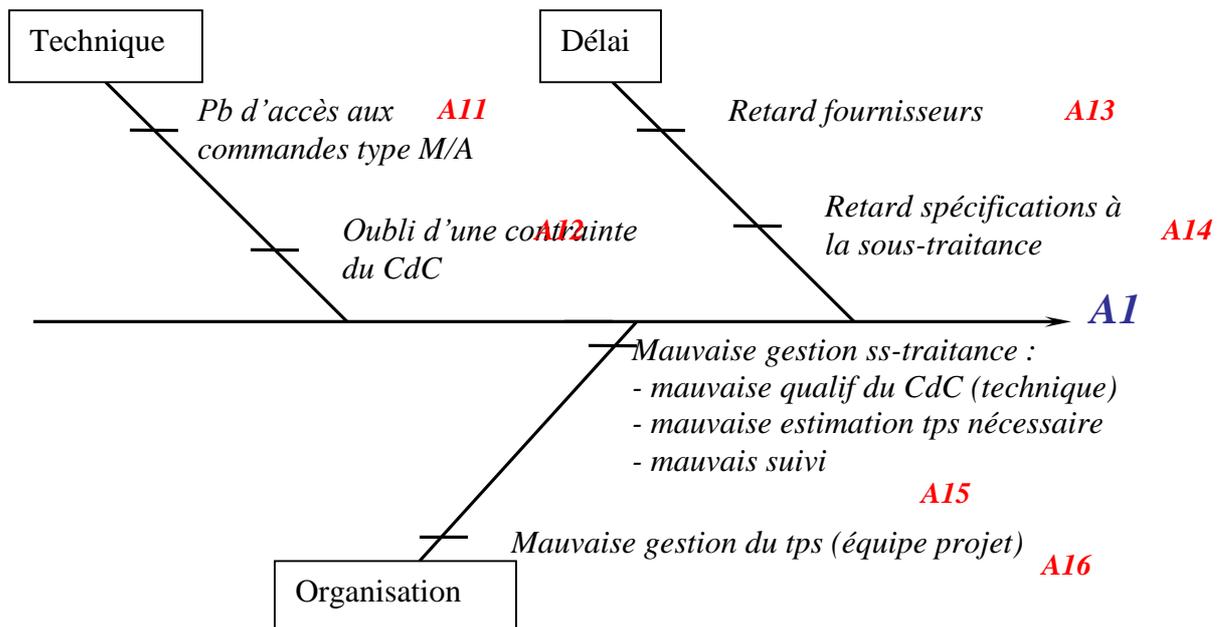
1. Objectif A :

Evénements redoutés :

- A1 : Non respect des jalons
- A2 : On rate la qualification finale
- A3 : On n'arrive pas à l'heure à Saintes
- A4 : La fusée est abimée pendant le transport

Diagrammes d'Ishikawa :

↳ A1 : Non respect des jalons

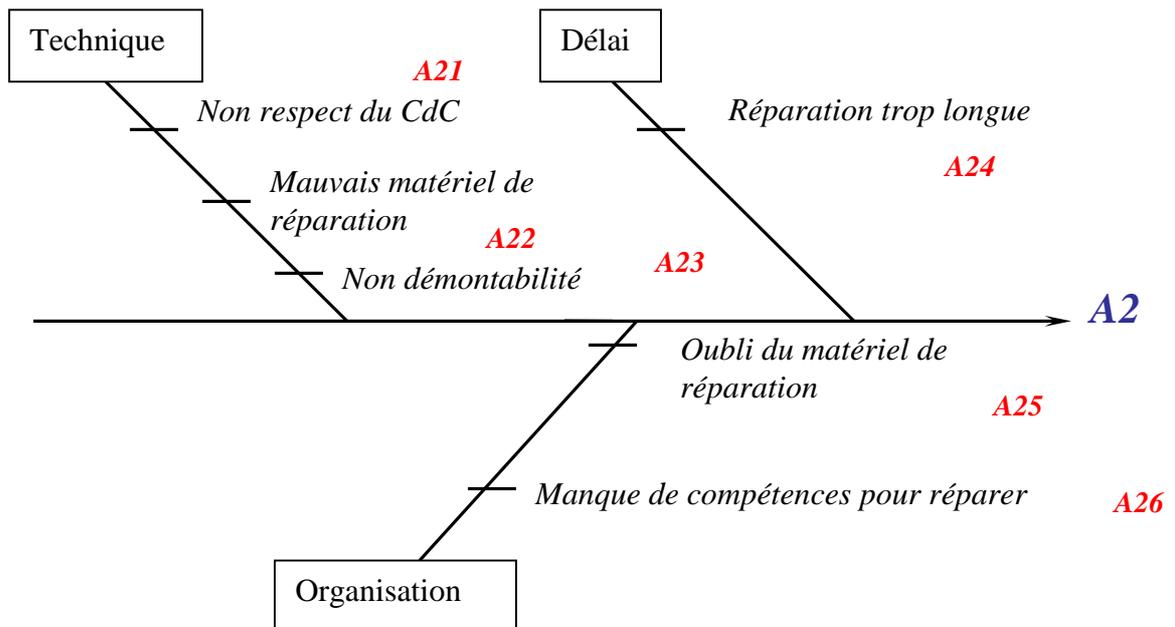


Grille de criticité

	Probabilité		
	3	2	1

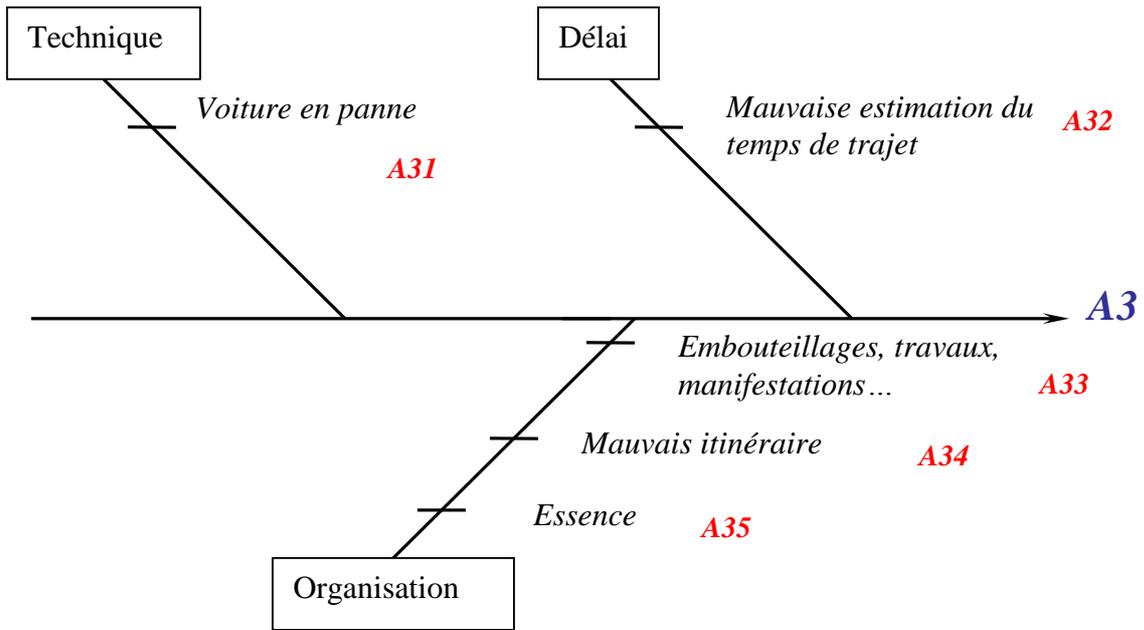
Gravité	1	A11	A16	A12, A15
	2			A13, A14
	3			

↪ A2 : On rate la qualification finale :



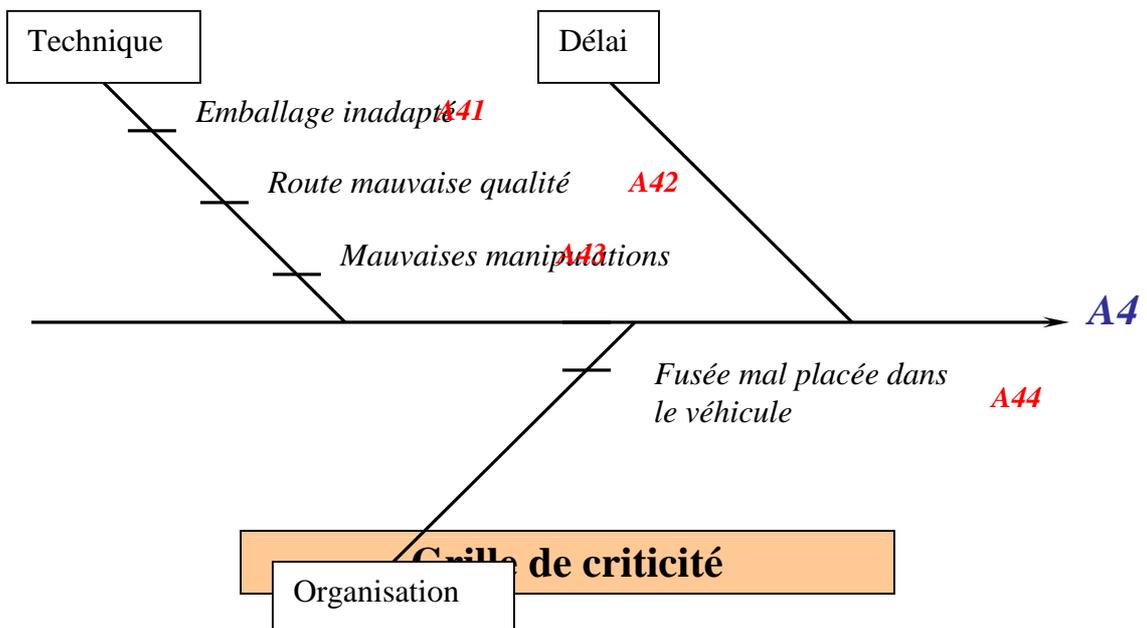
Grille de criticité				
		Probabilité		
		3	2	1
Gravité	1		A21, A24	
	2	A26	A23	
	3		A22, A25	

↪ A3 : On n'arrive pas à l'heure à Saintes :



Grille de criticité				
		Probabilité		
		3	2	1
Gravité	1	A31, A32, A35		
	2	A34	A33	
	3			

↳ A4 : La fusée est abîmée pendant le transport



		Probabilité		
		3	2	1
Gravité	1		A41, A44	
	2		A43	
	3	A42		

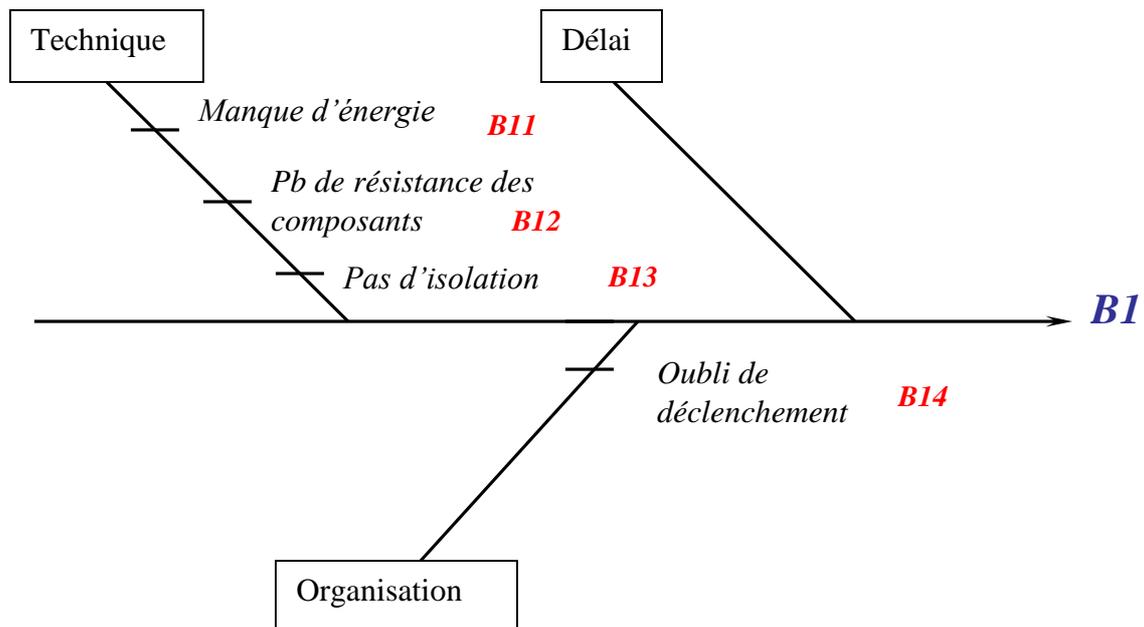
2. Objectif B :

Événements redoutés :

- B1 : Panne du système d'acquisition
- B2 : Problème du système d'enregistrement
- B3 : Problèmes de transmission (émission/réception)

Diagrammes d'Ishikawa :

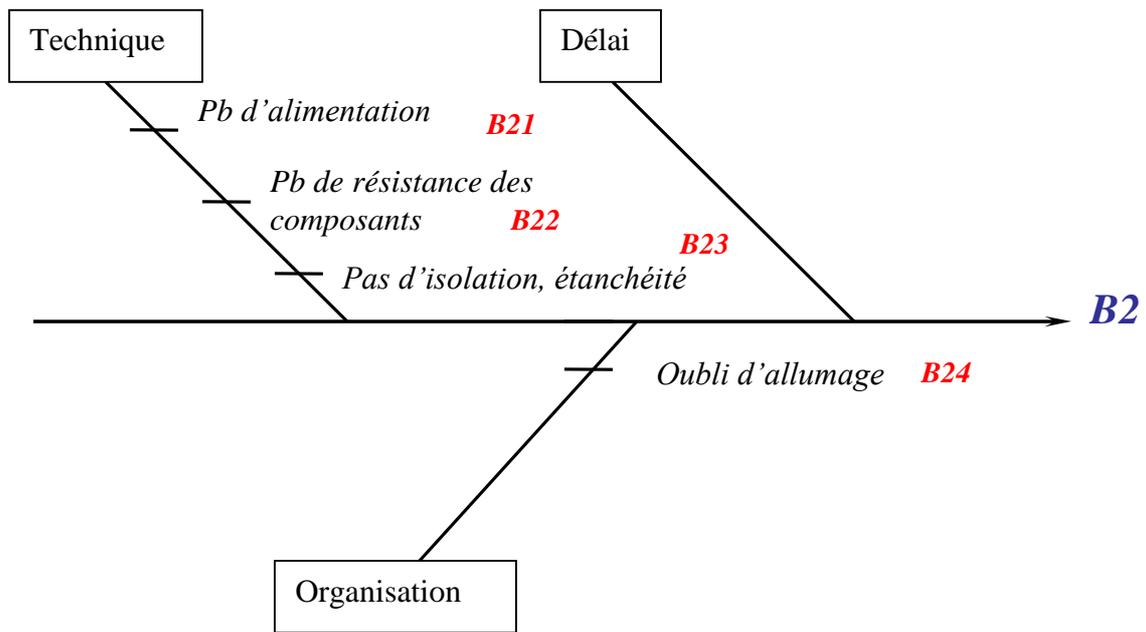
↳ B1 : Panne du système d'acquisition



Grille de criticité				
		Probabilité		
		3	2	1

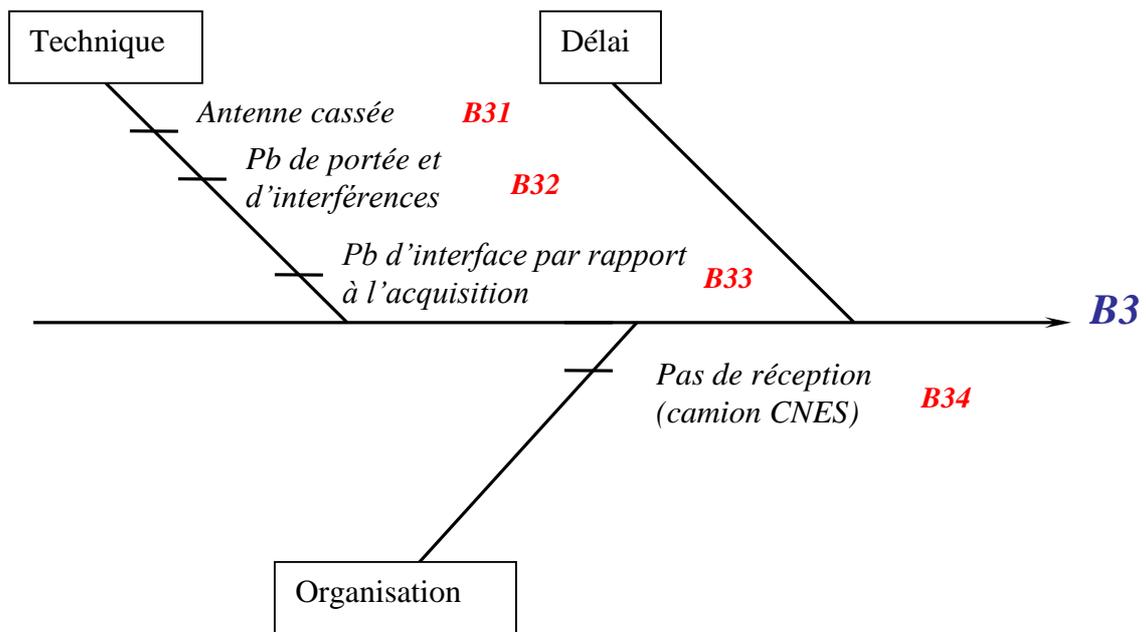
Gravité	1		B11, B12, B14	
	2		B13	
	3			

↳ B2 : Problème du système d'enregistrement :



Grille de criticité				
	Probabilité			
		3	2	1
Gravité	1		B21, B22, B24	
	2		B23	
	3			

↳ B3 : Problèmes de transmission :



Grille de criticité				
		Probabilité		
		3	2	1
Gravité	1	B32	B31, B33, B34	
	2			
	3			

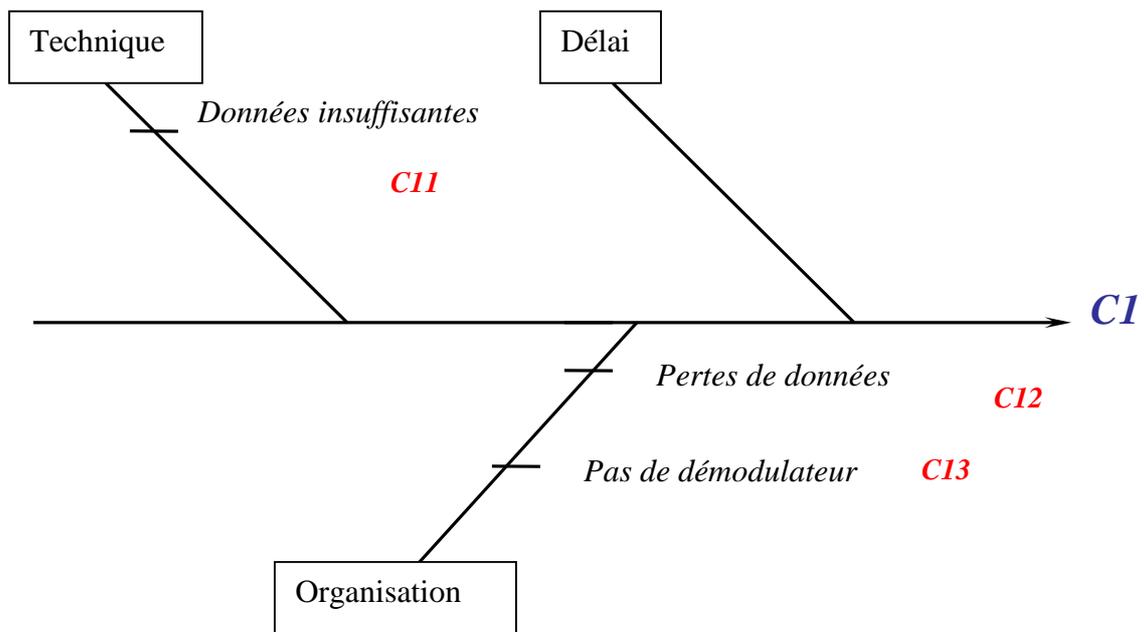
3. Objectif C :

Evénements redoutés :

- C1 : Pas d'exploitation possible
- C2 : Ne pas fournir le rapport à temps

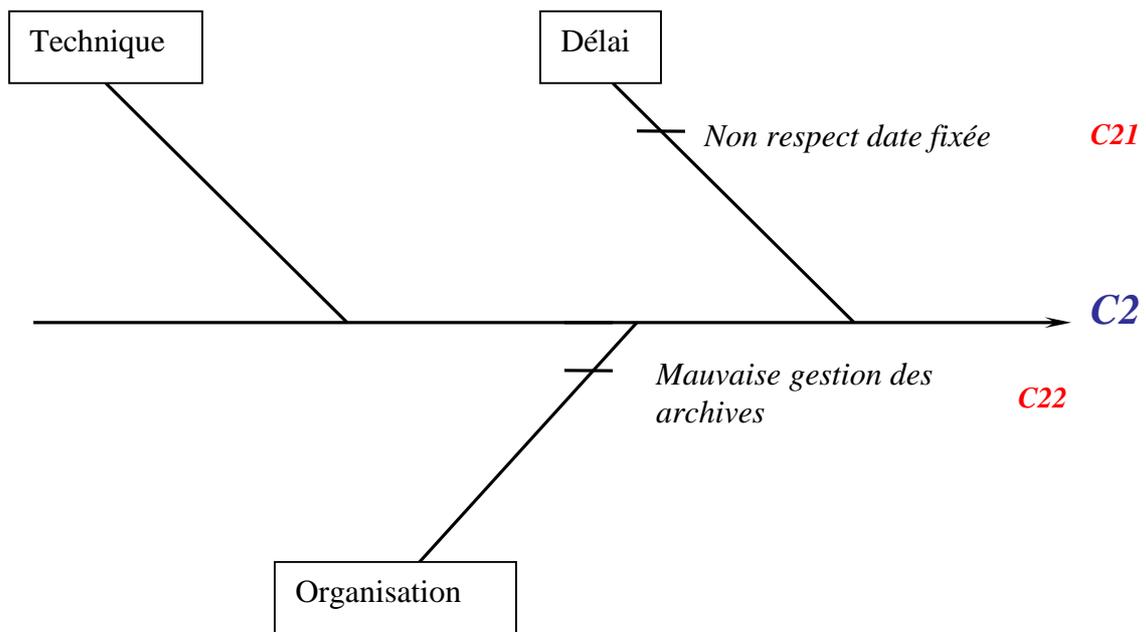
Diagrammes d'Ishikawa :

↪ C1 : Pas d'exploitation possible :



Grille de criticité				
		Probabilité		
		3	2	1
Gravité	1	C12	C11, C13	
	2			
	3			

↪ C2 : Ne pas fournir le rapport à temps :



Grille de criticité				
		Probabilité		
		3	2	1
Gravité	1		C21	
	2	C22		
	3			

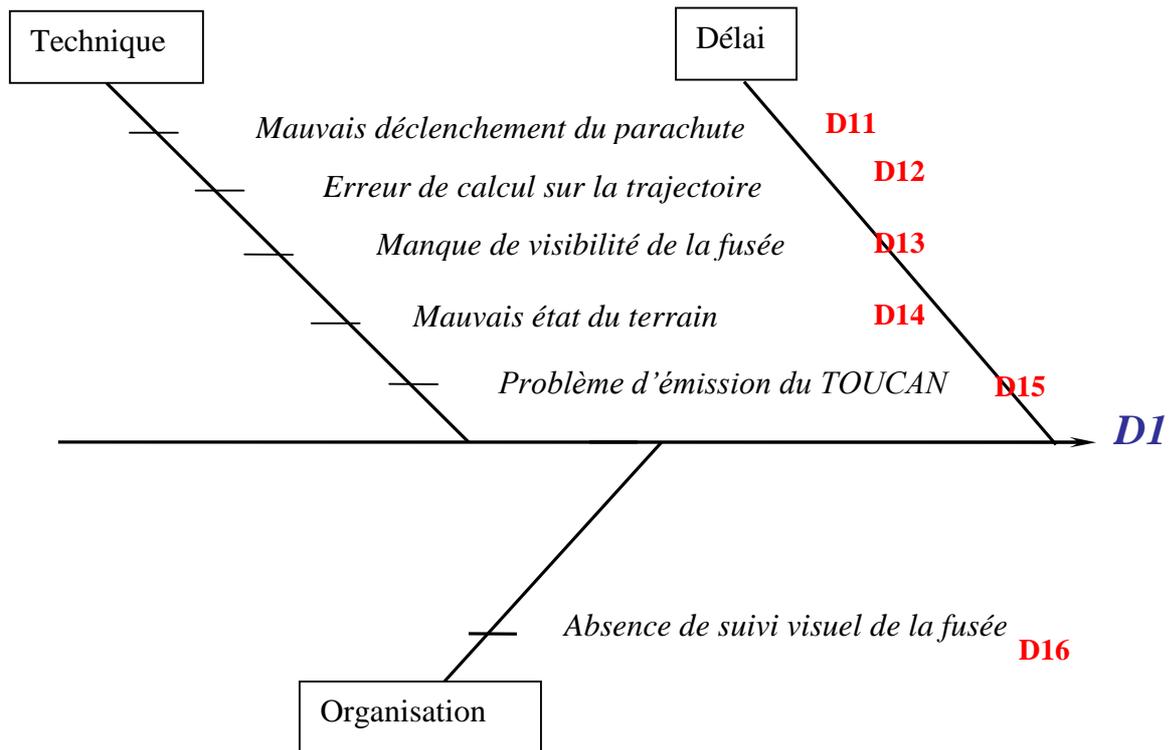
4. Objectif D :

Evènements redoutés :

- D1 : Perte de la fusée dans l'environnement
- D2 : Fusée endommagée pendant le vol ou l'atterrissage

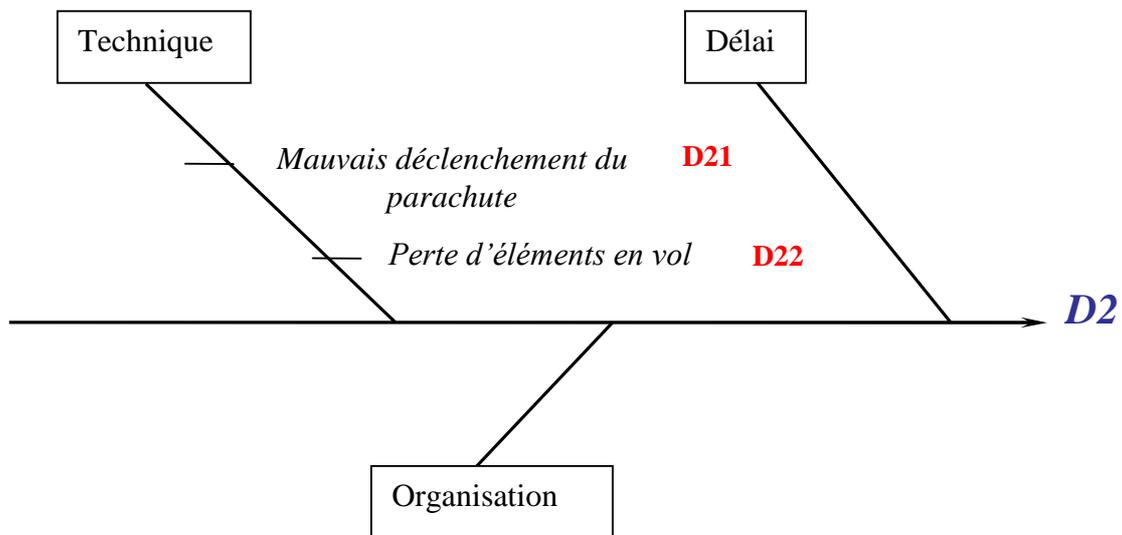
Diagrammes d'Ishikawa :

↳ D1 : Perte de la fusée dans l'environnement



Grille de criticité				
		Probabilité		
		3	2	1
Gravité	1	D12, D15	D11	
	2	D13, D16	D14	
	3			

↪ D2 : Fusée endommagée pendant le vol ou l'atterrissage



Grille de criticité				
		Probabilité		
		3	2	1
Gravité	1	D22	D 21	
	2			
	3			

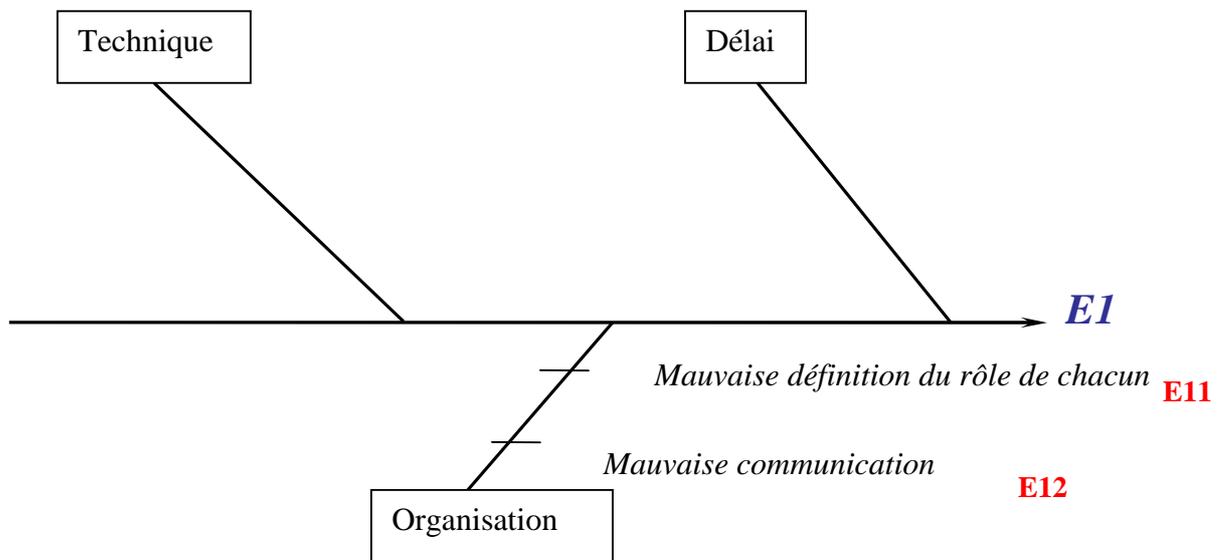
5. Objectif E :

Evènements redoutés :

- E1 : Mauvais travail en équipe
- E2 : Mauvais travail avec les établissements sous-traitants

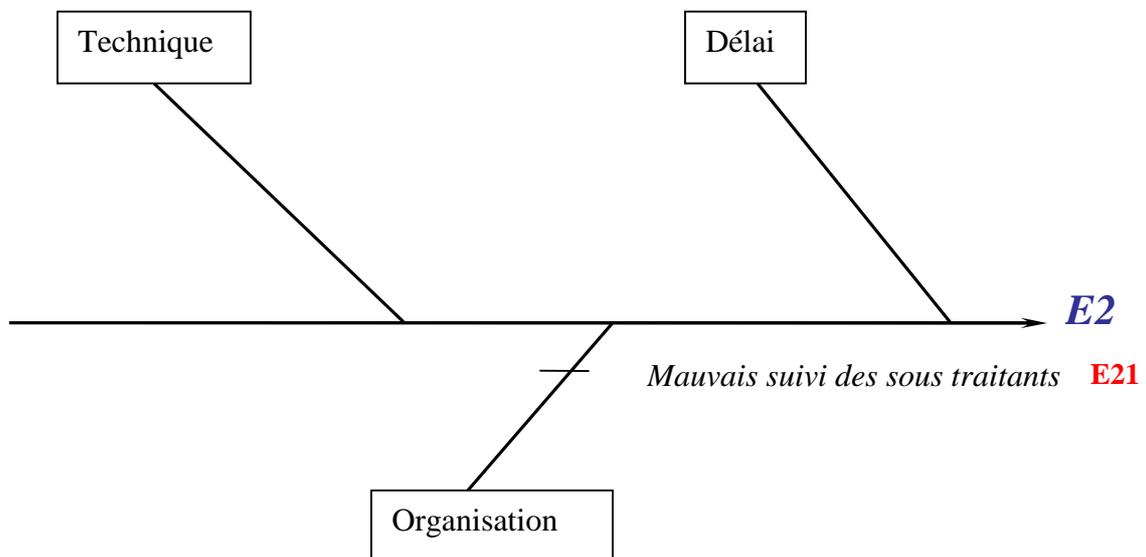
Diagrammes d'Ishikawa :

↳ E1 : Mauvais travail en équipe



On considérera ces risques à criticité faible, un plan d'action sera défini.

↳ **E2** : Mauvais travail avec les établissements sous-traitants



Pour le risque E 21, se reporter au risque A15.

ANNEXE 8

Les risques A12 et A 14 pourront être atténués après la validation de la 1ere revue et ainsi devenir à criticité faible.

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **A 12**
- Intitulé de la cause : oubli d'une contrainte du cahier des charges
- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 1
 - ✓ Probabilité : 1
 - ✓ Criticité : Forte

- Pilote : Chef de projet A. *Gayraud*
- Période active : sur toute la longueur du projet
- Etat actuel : Potentiel
- Plan d'action pour maîtriser le risque :
 - Programmer des réunions hebdomadaires pour récapituler les contraintes prises en compte ou oubliées par les différentes équipes.

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

A atténuer si matrice des contraintes bonnes après première revue validée.

Après première revue non-validée :

- Pb de prise en compte de la flèche du corps par la partie assemblage
- Pb de prise en compte d'interrupteur + led d'alimentation de la minuterie au niveau récupération

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **A13**
- Intitulé de la cause : retard des fournisseurs de pièces de la fusée (sous-traitance)
- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 2
 - ✓ Probabilité : 1
 - ✓ Criticité : forte

- Pilote : Chef de projet *A. Gayraud*
- Période active : phase de définition préliminaire et phase de définition détaillée
- Etat actuel : Potentiel
- Plan d'action pour maîtriser le risque :
 - Relancer le plus souvent possible les fournisseurs (au moins 1 fois par semaine) pour connaître l'état du sous-système : chaque équipe gère ses sous-traitants

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

Ne relancer les sous traitants que toutes les deux ou trois semaines afin de ne pas les mettre sous pression.

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **A14**
- Intitulé de la cause : retard spécification des pièces pour la sous-traitance
- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 2
 - ✓ Probabilité : 1
 - ✓ Criticité : Forte

- Pilote : Chef de projet *A. Gayraud*
- Période active : phase de définition préliminaire et détaillée
- Etat actuel : Potentiel
- Plan d'action pour maîtriser le risque :
 - Etablir une date limite pour la remise des cahiers des charges aux sous-traitants (voir avec planning)
 - Fixer des dates pour les revues objectifs sous-systèmes de suite après la revue objectif système

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

Atténuation après la validation de la première revue.

Retard du à la non validation de la première revue à prendre en compte dans le planning.

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **A15**
- Intitulé de la cause : mauvaise gestion de la sous-traitance
 - Mauvaise qualification du cahier des charges
 - Mauvaise estimation des temps nécessaires à l'élaboration des pièces
 - Mauvais suivi de l'activité des sous-traitants

- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 1
 - ✓ Probabilité : 1
 - ✓ Criticité : Forte

- Pilote : Chef de projet
- Période active : Chef de projet A. *Gayraud*
- Etat actuel : Potentiel
- Plan d'action pour maîtriser le risque :
 - Prendre contact avec les sous-traitants le plus tôt possible pour évaluer leurs moyens
 - Prendre en compte leur aptitude en rédigeant les spécifications
 - Suivre régulièrement l'avancement de leur sous-système par simple mail, ou réunion

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

Mauvaise évaluation des possibilités de Sud Médoc au niveau de la fabrication de la carte électronique pour la minuterie.

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **A16**
- Intitulé de la cause : mauvaise gestion du temps de travail de groupe
- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 1
 - ✓ Probabilité : 2
 - ✓ Criticité : Forte

- Pilote : Responsable du planning *A. Morel*
- Période active : Tout au long du projet
- Etat actuel : Potentiel
- Plan d'action pour maîtriser le risque :
 - Mettre en place un suivi du travail de chaque équipe par des réunions à chaque début de séance
 - Effectuer un suivi du planning et des délais engendrés par chaque tâche

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

Prise de retard par rapport à la non validation de la première revue.

Enoncé des points à reprendre ou à travailler à chaque revue (en se basant sur le compte rendu des suiveurs)

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **A21**
- Intitulé de la cause : non respect du cahier des charges de qualification
- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 1
 - ✓ Probabilité : 2
 - ✓ Criticité : Forte

- Pilote : *Chef de projet + responsable des 3 équipes*
- Période active : phase de qualification
- Etat actuel : Potentiel
- Plan d'action pour maîtriser le risque :
 - Vérifier que les contraintes (valeurs exactes) sont respectées, à chaque réunion d'équipe
 - Planifier une vérification finale avant la qualification

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **A23**
- Intitulé de la cause : non-démontabilité des pièces de la fusée
- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 2
 - ✓ Probabilité : 2
 - ✓ Criticité : Forte

- Pilote : *Responsable équipe d'assemblage*
- Période active : phase de définition préliminaire et détaillée
- Etat actuel : Potentiel
- Plan d'action pour maîtriser le risque :
 - Conception avec démontabilité dès le départ
 - Affectation d'un élément fusée propre à chaque sous-ensemble
 - Recherche de solutions de liaison simples entre les éléments fusée

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

Attention à la contrainte au niveau de la flèche de la fusée. (au niveau de la parcellisation du corps de la fusée)

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **B11**
- Intitulé de la cause : énergie insuffisante pour alimenter le système électrique
- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 1
 - ✓ Probabilité : 2
 - ✓ Criticité : Forte

- Pilote : *Responsable équipe partie électrique*
- Période active : phase de qualification et de lancement
- Etat actuel : potentiel
- Plan d'action pour maîtriser le risque :
 - Avant le lancement :
 - Définir une contrainte (critère + valeur + tolérance) en terme d'autonomie pour les sous-traitant (le lycée Kastler et le lycée Sud-Médoc).
 - Réaliser un essai d'autonomie en condition réelle. Le cas échéant une solution devra être apportée par le sous-traitant. Cette solution sera testée comme précédemment.

 - Pendant le lancement :
 - Un jeu de piles sera prévu pour remplacer celui qui aura subi le test.
 - Quelque soit le motif, la fusée devra décoller avec un jeu de piles chargé à sa pleine capacité.

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

Définir l'alimentation pour la case parachute (non sous-traité)

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **B33**
- Intitulé de la cause : problème interface acquisition /toucan
- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 1
 - ✓ Probabilité : 2
 - ✓ Criticité : Forte

- Pilote : *responsable équipe partie électrique*
- Période active : phase de lancement
- Etat actuel : potentiel
- Plan d'action pour maîtriser le risque :

Le sous-système devra répondre strictement au cahier des charges imposé par l'ENSAM et aux différentes normes en vigueur auxquelles le sous-système est assujéti. Des essais seront réalisés afin de valider la compatibilité entre le sous-système « interface » et le Toucan.

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

Le risque devra rester en état potentiel jusqu'au lancement de la fusée, et ce malgré les tests passés avec succès.

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **C11**
- Intitulé de la cause : données captées insuffisantes
- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 1
 - ✓ Probabilité : 2
 - ✓ Criticité : Forte

- Pilote : Responsable équipe partie électrique
- Période active : phase de conception préliminaire et détaillée
- Etat actuel : potentiel
- Plan d'action pour maîtriser le risque :
 - Faire une étude de faisabilité au niveau des mesures puis qualification à partir des données de Trajec : nombre de voies d'acquisition
 - Faire une étude de la précision de la chaîne de mesure et l'adapter à la précision nécessaire évaluée
 - Assurer de bonnes conditions de transmission, tant en qualité qu'en puissance
 - Assurer un temps de transmission sur toute la durée du vol

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **C21**
- Intitulé de la cause : non respect de la date fixée de retour du rapport
- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 1
 - ✓ Probabilité : 2
 - ✓ Criticité : Forte

- Pilote : *Chef de projet*
- Période active : phase d'exploitation
- Etat actuel : non avéré
- Plan d'action pour maîtriser le risque :
 - Collecter tous les documents au fur et à mesure, à chaque séance
 - Estimer le temps nécessaire à l'exploitation des résultats de l'expérience (Kevin et Pierre)

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

FICHE DE RISQUE

Date évaluation du risque : 18/10/05

Actions engagées précédemment : aucune

- Dénomination du risque : **D11/D21**
- Intitulé de la cause : mauvais déclenchement du parachute
- Hiérarchisation :
 - ✓ Gravité : 1
 - ✓ Probabilité : 1
 - ✓ Criticité : Forte

- Pilote : *Responsable partie éjection*
- Période active : lancement
- Etat actuel : Potentiel
- Plan d'action pour maîtriser le risque :
 - Vérifier la bonne marche du déclenchement de la minuterie (prise jack)
 - Vérifier lors de la phase de qualification le fonctionnement de la minuterie, du servomoteur et du ressort d'éjection de la trappe par des essais
 - Plier et disposer soigneusement le parachute dans son logement (au préalable dimensionné pour une éjection correcte du parachute)
 - Suivre consciencieusement le cahier des charges et vérifier la prise en compte des contraintes du système d'éjection (valable également pour la sous-traitance, effectuer un suivi précis)

- Evolution du risque, remarques, changement plan d'action :

ANNEXE 9

Cette annexe est relative à la partie sous-système télémétrie de la fusée.

1. Sous-système télémétrie a. Principe de reconstitution de la trajectoire

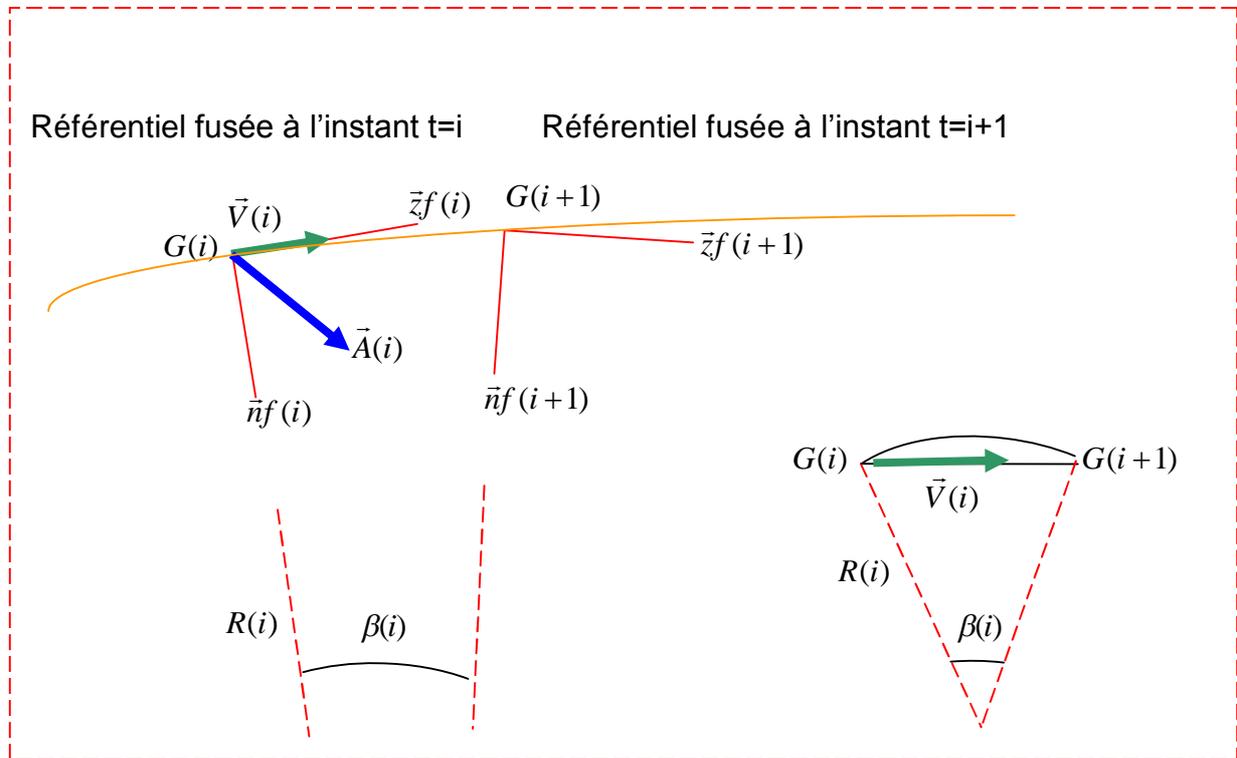


Figure 1: Principe de reconstitution de la trajectoire

On résonne par récurrence.

A l'instant (i-1) je connais :

- La position de G(i) (centre de gravité) dans le référentiel fusée Rf(i-1) (référentiel fusée à l'instant (i-1), $Rf(i-1) = (G(i-1), \bar{x}_f(i-1), \bar{y}_f(i-1), \bar{z}_f(i-1))$)
- Le vecteur vitesse $\vec{V}(i-1)$
- L'intervalle de temps entre deux instants qui est Δt

A l'instant t=i on a l'accélération dans le référentiel fusée Rf(i) :

$$\vec{A}(i) = A_x(i) \cdot \bar{x}_f(i) + A_y(i) \cdot \bar{y}_f(i) + A_z(i) \cdot \bar{z}_f(i)$$

qui s'écrit aussi : $\vec{A}(i) = A_n(i) \cdot \bar{n}_f(i) + A_z(i) \cdot \bar{z}_f(i)$

$$\text{Or : } \vec{A}(i) = \frac{V(i) - V(i-1)}{\Delta t} \cdot \bar{z}_f(i) + \frac{V(i)^2}{R(i)} \bar{n}_f(i) \quad (\text{accélération de Frenét discrétisé})$$

D'où : $A_z(i) \cdot \Delta t = V(i) - V(i-1)$ et donc $V(i) = A_z(i) \cdot \Delta t + V(i-1)$

On a aussi : $An(i) = \frac{V(i)^2}{R(i)}$ d'où $R(i) = \frac{V(i)^2}{\sqrt{Ax(i)^2 + Ay(i)^2}}$

Si Δt très faible, on a $\|\overrightarrow{G(i)G(i+1)}\| = V(i).\Delta t = R(i).\beta(i)$ d'où $\beta(i) = \frac{V(i).\Delta t}{R(i)}$

Conclusion :

$\overrightarrow{G(i)G(i+1)} = \overrightarrow{V(i).\Delta t} = V(i).\Delta t.\vec{z}f(i)$

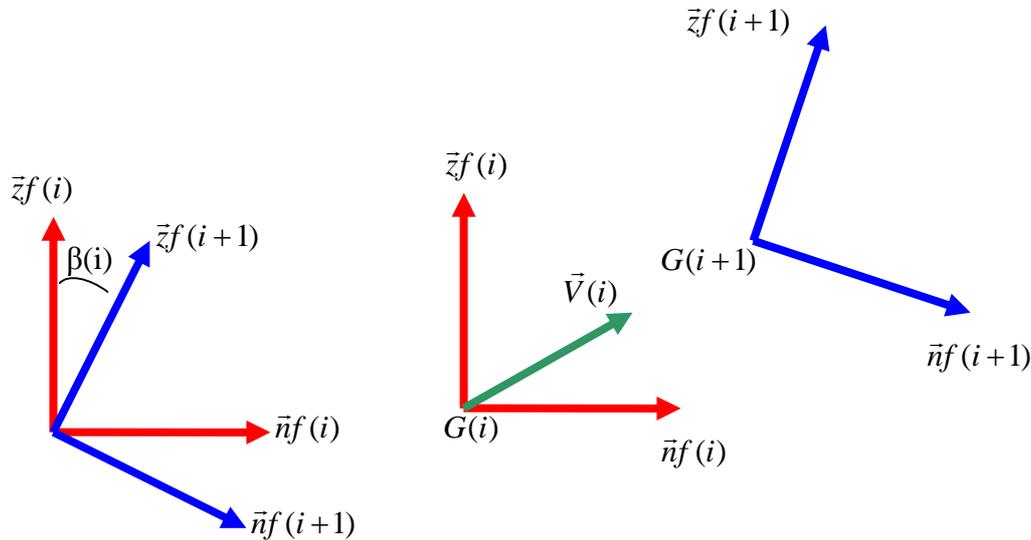


Figure 2 : Schéma récapitulatif de la reconstitution de la trajectoire

On est donc capable dans le référentiel fusée $Rf(i)$ de :

- Positionner l'origine du repère fusée à l'instant $t=i+1$, $Rf(i+1)$
- Positionner l'orientation de $Rf(i+1)$ dans $Rf(i)$, donné par $\beta(i)$

Les conditions initiales sont :

- L'angle de la rampe $\theta(0)$

La vitesse à $t=0$ obtenue par intégration $V(0) = A(0).\Delta t$.

b. Principe de simulation du vol

On applique le principe fondamental de la dynamique à la fusée :

- **Pendant la poussée :** $M\vec{\gamma} = \vec{R} + M\vec{g} + \overrightarrow{Poussée}$ avec M : masse de la fusée, R : résistance de l'air, g : accélération de pesanteur, Poussée : force de poussée due au propulseur
- **Après la poussée :** $M\vec{\gamma} = \vec{R} + M\vec{g}$

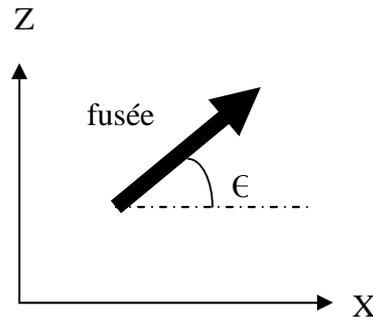


Figure 3 : Définition du repère d'étude

Lorsqu'on projet le PFD selon les axes définis figure 3, on obtient :

$$\gamma_x = \frac{(P) - R}{M} \cos\theta$$

$$\gamma_y = \frac{(P) - R}{M} \sin\theta - g$$

La poussée P est donnée par le constructeur du propulseur :

Temps (s)	0	0,02	0,04	0,06	0,94	0,95
Poussée (N)	0	320	170	217	85	0

Tableau 1 : Données constructeur de la poussée du propulseur

La résistance de l'air : $\frac{1}{2} \rho S v^2$

- ρ est la masse volumique (kg/m³) de l'air, elle peut être approximée par la formule suivante (altitude inférieure à 11 000 m, ce qui est valide pour nous) :

$$\rho = \rho_0 \frac{20000 - h}{20000 + h} \text{ avec } h : \text{ altitude en m, } \rho_0 : \text{ masse volumique au sol soit } 1,225 \text{ kg/m}^3.$$

- S est le maître couple, c'est en fait la surface projetée de la fusée selon son axe, y compris avec les ailerons. Il dépend donc du diamètre de la fusée, l'envergure des ailerons, leur épaisseur.
- v est la vitesse de la fusée à l'instant considéré.

La masse. La poussée du propulseur induit une diminution de la masse, un débit de masse. On a supposé ce débit de masse proportionnel à la poussée, avec la contrainte qu'à la fin toute la poudre devait avoir été consommée (70 g). On en déduit le tableau du débit de masse :

Temps (s)	0	0,02	0,04	0,06	0,94	0,95
Débit de masse (kg/s)	0	0,15	0,082	0,11	0,04	0

Tableau 2 : Données du débit de masse du propulseur

De plus en faisant une **approximation tangentielle** on a les formules suivantes :

$$V(i) = V(i - 1) + \Delta t \cdot \gamma(i - 1)$$

$$\text{Déplacement}(i) = \text{Déplacement}(i - 1) + \Delta t \cdot (V(i) - \Delta t \cdot \gamma(i - 1))$$

Supposons maintenant que je connaisse : v_0, θ_0, Z_0, M_0

Je déduis ρ fonction de Z_0 , d'où je déduis R car je connais aussi v_0 . P et M ne dépendent que du temps, donc je les déduis aussi (t=0 ici).

Je déduis $\gamma_x, \gamma_y, v_x, v_y$, déplacement x , déplacement y .

Comment déduire θ_1 ?

La procédure est identique que pour la reconstitution de la trajectoire.

$\gamma_{normale \text{ à l'axe de la fusée } 0} = \frac{v_0^2}{R_0}$ et on sait que $R_0 \cdot \beta_1 = \text{déplacement}_0$ où β est identifié figure 1, et

indiqué 1 parce qu'il permet de déterminer θ_1 : on en déduit $\theta_1 = \theta_0 - \beta_1$

De v_0, θ_0, Z_0, M_0 , on déduit v_1, θ_1, Z_1, M_1 . Nous pouvons donc réitérer le calcul.

Voici quelques graphes obtenus avec notre simulateur :

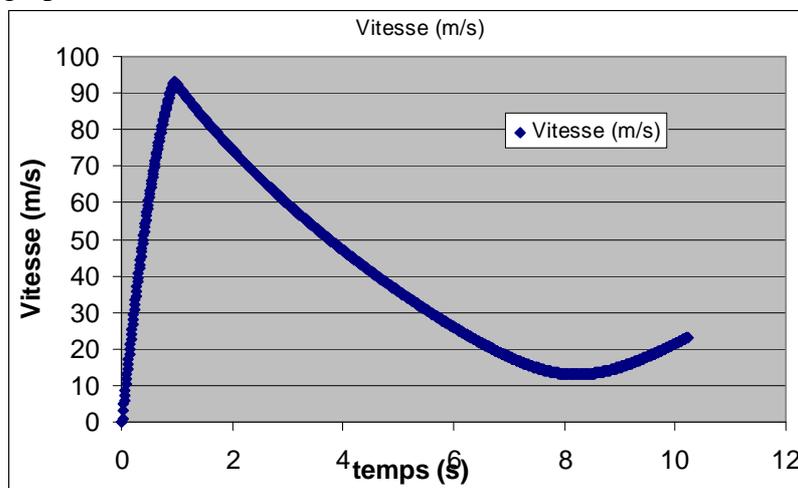


Figure 4 : Graphe de la norme de la vitesse de la fusée

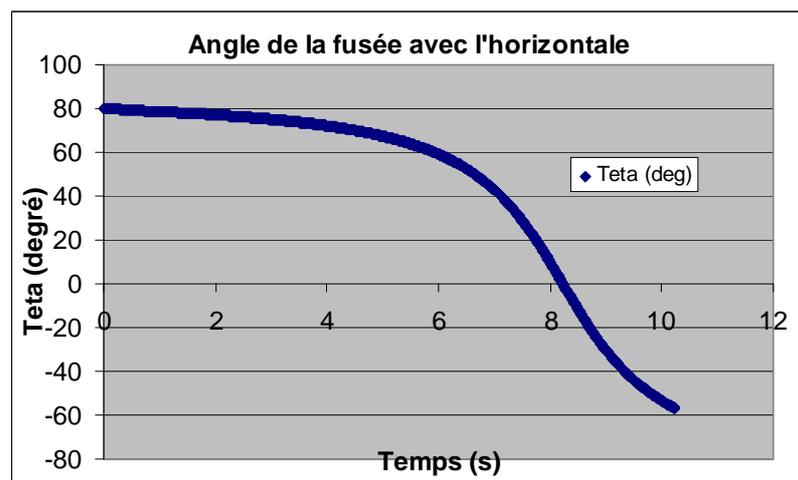


Figure 5 : Graphe de l'angle de la fusée fait avec l'horizontal

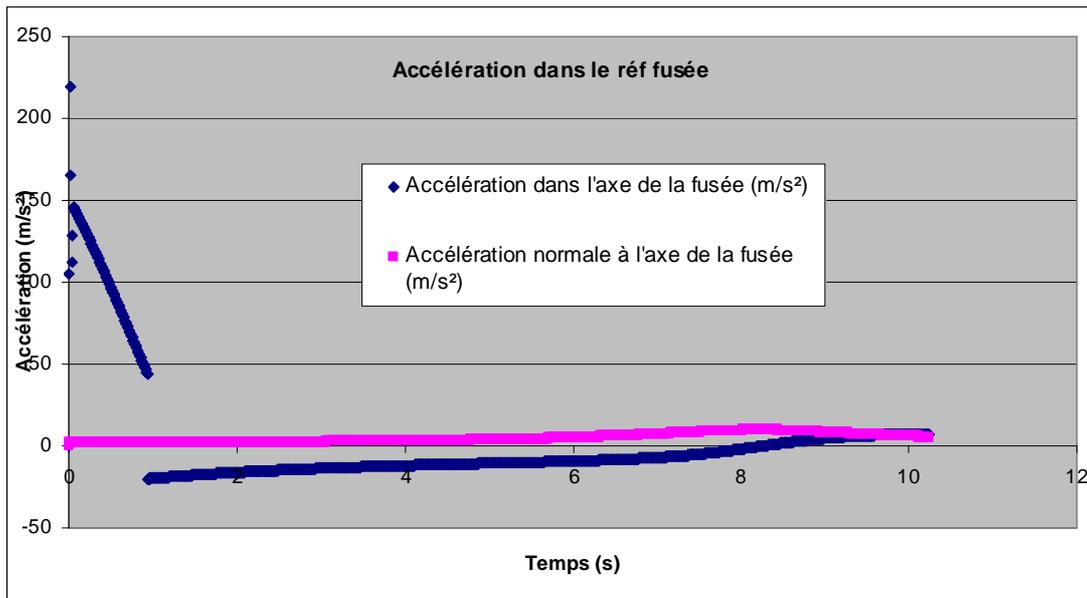


Figure 6 : Graphe des composantes de l'accélération dans le référentiel de la fusée

c. Filtrage du signal

Le filtrage du signal permet d'éliminer le bruit qui nuit à la reconstitution de la trajectoire de la fusée.

La première étape consiste à récupérer les valeurs sous EXCEL et à les copier sous Mathematica. Le problème est que le copier coller d'EXCEL à Mathematica ne peut pas se faire directement. Il faut enregistrer un fichier intermédiaire au format csv, puis le retravailler un peu pour que Mathematica puisse le lire.

Ensuite lorsque la liste de points est rentrée sous Mathematica (il faut nécessairement que la liste contienne une puissance de 2 en nombre d'éléments), on travaille sur cette liste numérique. Voici les graphes que nous pouvons obtenir :

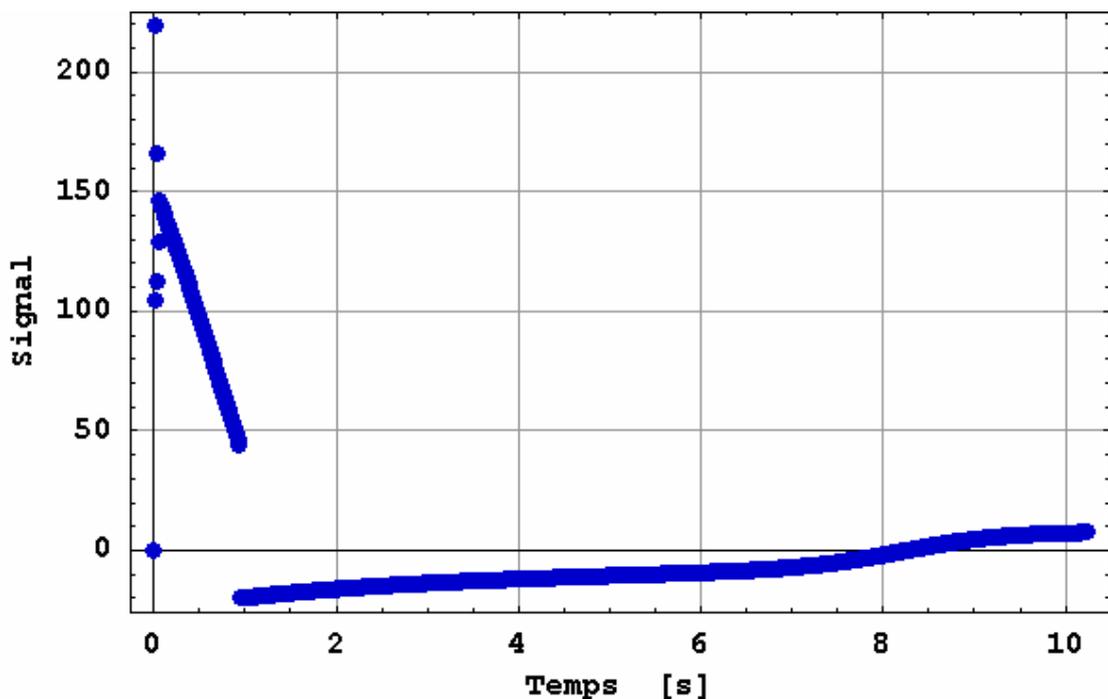


Figure 7 : Tracé du signal numérique de l'accélération selon l'axe de la fusée

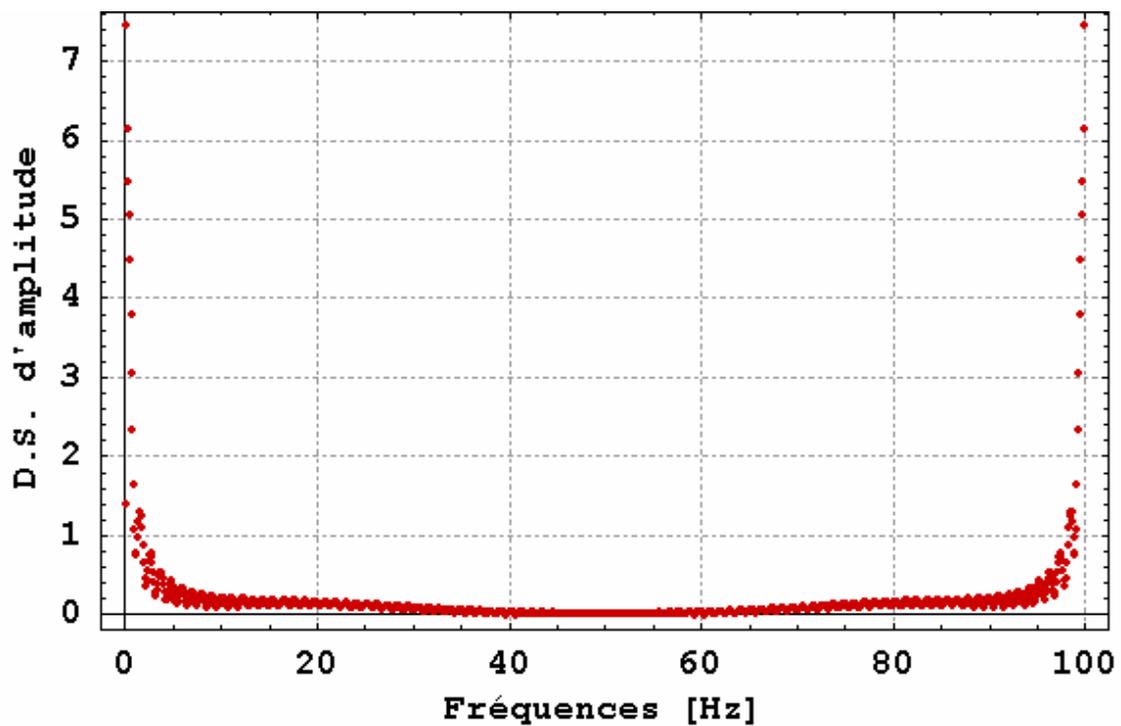


Figure 8 : Tracé de la densité spectrale de fréquences du signal numérique de l'accélération selon l'axe

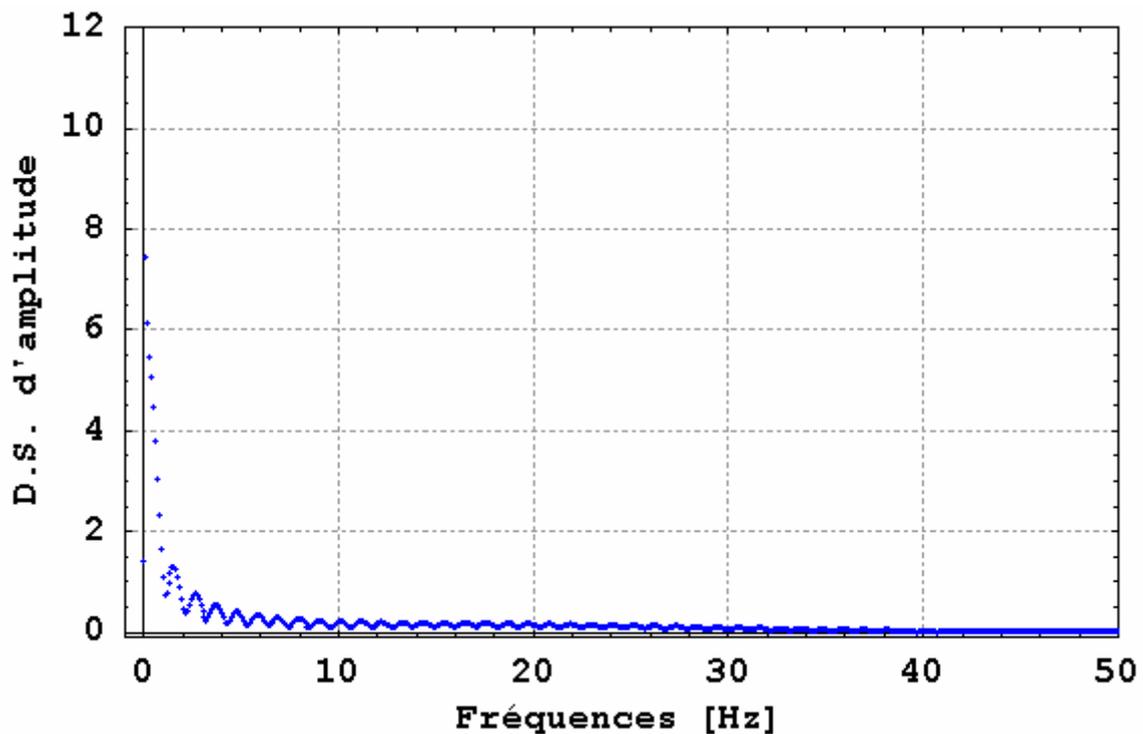


Figure 9 : Amélioration de l'affichage de la figure 5

Remarque : du fait du calcul avec un pas de 0.01 seconde sous EXCEL, on ne peut pas tenir compte d'une analyse du signal au-delà de la fréquence $f = \frac{1}{2 * 0.01} = 50Hz$ (sinon on étudie le repliement de spectre ce qui n'a aucun intérêt).

ANNEXE 9

MATRICE DES CONTRAINTES DE LA PARTIE MECANIQUE :

Code Fonction	Fonctions	Critère d'appréciation	Valeur	Gestion de la fonction	Code Cdc
CE1	Ne pas fragiliser le corps de la fusée (trappe)	Dimensions de la trappe	Si $S > 1/3$ Section corps, penser à renforcer la structure	Equipe éjection	RC4
CE2	S'adapter aux contraintes de la fusée	Masse, Volume	$M < 80g$ Dint corps = 61mm	Equipe éjection	
CE3	Etre facilement accessible	Logement dans le corps de la fusée		Equipe assemblage	
CE4	Etre facilement verrouillable et déverrouillable (trappe)	Commande du servomoteur par interrupteur		Equipe éjection	
CE5	Visibilité de l'état du servomoteur (ouvert /fermé)	Indication claire sur les positions de l'interrupteur		Equipe éjection	GN5
CE6	Ne pas endommager le parachute lors de son éjection (équerre d'éjection)	Arrêtes et coins de l'équerre	Arrondis nécessaires	Equipe éjection	
VE1	Ne pas s'ouvrir lors du lancement avant culmination (trappe)	Tenue de la liaison servomoteur/trappe Dimension de la trappe	Si $S > 1/3$ Section corps, penser à renforcer la structure	Equipe éjection	RC4
VE2	S'ouvrir malgré les contraintes du vol (trappe)	Force à exercer sur la trappe pour l'éjecter		Equipe éjection	RC4
VE3	Pas d'éjection des composants (trappe + ressort)	Liaison à effectuer entre tous les composants et le corps		Equipe éjection	VL6
VE4	Ne pas se prendre dans le parachute (trappe + ressort)	Longueur de la ficelle liant les composants au corps	$L(\text{ficelle} + \text{composant}) < L_{\text{sangle}}$	Equipe éjection	

MATRICE DES CONTRAINTES DE LA PARTIE ELECTRONIQUE :

Code Fonction	Fonctions	Critère d'appréciation	Valeur	Gestion de la fonction	Code Cdc
CM1	Etre fixable par rapport au corps de la fusée (carte)	Espace libre pour fixation sur carte		Equipe éjection	
CM2	Etre alimenté pendant la durée du vol	Voltage + Courant délivré par piles	t=15min U max = 6V I _{max} = 250mA	Equipe éjection	GN4
CM3	Pouvoir couper l'alimentation (interrupteur)	Etat ouvert/Fermé de l'interrupteur		Equipe éjection	GN4
CM4	Visibilité de l'état de l'alimentation de la minuterie	Indication claire sur les positions de l'interrupteur		Equipe éjection	GN5
CM5	S'adapter aux contraintes de la fusée	Masse, Volume	M<30g D _{int corps} = 61mm	Equipe éjection	
VM1	Déclencher l'ouverture à culmination (rotation du servo)	Commande du servomoteur (voir programmation)	Envoi d'un créneau de largeur variable	Equipe éjection	RC2
VM2	Ne pas s'altérer lors du décollage	Force exercé sur la carte et les composants		Equipe éjection	

PROTOCOLE D'ESSAI DU SYSTEME D'EJECTION

(les paragraphes en gras sont extraits du cahier des charges de Planète Sciences)

Partie électronique:

GN4 : Lors du lancement, les procédures peuvent prendre du temps. Pour cette raison, l'autonomie de l'alimentation électrique doit être d'au moins quinze minutes. La présence d'un interrupteur marche arrêt est obligatoire.

GN4 : Une évaluation de la consommation est calculée en fonction des éléments actifs (s'il n'y a que des diodes en position d'attente, l'autonomie avec une pile de 9V est de plusieurs heures !). En cas de doute, il est demandé au club de prouver l'autonomie minimale de 15 minutes avec au moins un test réel.

L'interrupteur marche arrêt permet de stopper le système si la fusée est bloquée sur rampe pendant plusieurs minutes. Pour cet interrupteur, un indicateur d'état est demandé.

L'alimentation de la minuterie doit tenir 15 minutes. L'élément dimensionnement de l'alimentation est le servomoteur. Le test réalisé pour vérifier la bonne alimentation de la minuterie et du servomoteur est le suivant :

- La minuterie est alimentée à t_0 (interrupteur sur MARCHE)
- On attend $t_0 + 15\text{min}$
- On déclenche le décompte de la minuterie à $t_0 + 15\text{min}$ par arrachement du Jack
- Au bout de $t_0 + 15\text{ min} + t$ culmination, le servomoteur se met en position ouverture de la trappe

L'alimentation doit être choisie pour qu'à $t_0 + 15\text{ min} + t$ culmination, la rotation du servomoteur puisse être commandée.

GN5 : La fusée doit disposer d'indicateurs clairs pour permettre de savoir à tout moment dans quel état elle se trouve (marche/ arrêt ; position sécurité ; position vol ; ...).

GN5 : Il est demandé de prévoir des indicateurs clairs pour permettre de savoir à tout moment dans quel état la fusée se trouve (marche/arrêt ; position sécurité ; position vol ; ...). Ces indicateurs peuvent être des LEDs (attention cependant à leur visibilité en plein jour), ou simplement des indications claires sur la position des interrupteurs.

La mise sous tension de l'alimentation de la minuterie sera précisée par des indicateurs clairs sur la position des interrupteurs.

De la même manière pour la position du servomoteur.

VL6 : Tous les éléments de la fusée doivent rester fixés durant toute la durée du vol. Toute fois, le largage ou l'éjection d'éléments peut être envisagé dans le cadre d'une expérience argumentée.

Dans ce cas, on se conformera à la règle GN1.

VL6 : Tous les éléments de la fusée doivent rester fixés durant toute la durée du vol (jusqu'à l'impact au sol), et ce malgré les contraintes liées à l'accélération et à la décélération du propulseur ainsi qu'aux efforts aérodynamiques subits.

Tous les éléments internes et externes de la fusée doivent être fixés avec la plus grande attention.

La fusée devra pouvoir être secouée vivement (manuellement) dans tous les sens lors des contrôles.

Les « grosses masses » (moteur électrique, piles, ...) devront résister à 1,5 fois (coefficient de sécurité) le poids d'un objet d'une masse égale à leur propre masse multipliée par la poussée maximale de la fusée donnée par le logiciel Trajec.

Dans notre sous-système, les grosses masses sont constituées par les piles et le servomoteur. Chaque boîtier de deux piles (chacun de masse $m=44g$) devra résister à une force de 10,56 N (en prenant une poussée de $160m/s^2$).

De même, le servomoteur (de masse $m_s=50g$) devra résister à une force de 12N.

De manière générale, la fusée sera secouée vivement dans tous les sens, et il sera vérifier la bonne fixation des composants (notamment ceux de la carte) : bonne fixation des vis, collage suffisant, maintien en position suffisant.

Il sera également vérifié la bonne accroche au corps de la fusée des composants du système d'éjection (ressort, trappe).

Partie mécanique:

RC4 : En cas de trappe latérale : la trappe ne doit pas s'ouvrir sans être commandée mais doit s'ouvrir malgré les contraintes du vol.

RC4 : En cas de trappe latérale : La trappe rend le tube moins rigide et elle risque de s'ouvrir sous les contraintes du vol. Un couple sera exercé sous l'ogive en maintenant le bas du tube. Ce couple de torsion sera équivalent au poids de la fusée à 10 cm de l'axe de la fusée. La trappe ne doit alors pas s'ouvrir. Ce test est complété par un essai d'ouverture sous contraintes en plaçant à la base de l'ogive, sur le corps, une masse égale à celle de la fusée lors d'un des vols simulés (la fusée étant verticale, ogive vers le haut lors de ce test).

Pour éviter tout problème, ne faites pas d'ouverture supérieure à 1/3 de la section du tube. Renforcez si nécessaire la structure avec des profilés (en aluminium par exemple).

1. Couple exercé sur l'ogive :

Il sera exercé sur sous l'ogive en maintenant le bas du tube un couple de 0.18N.m. Ce couple sera exercé à 10 cm de l'axe de la fusée. La trappe ne devra pas s'ouvrir lors de l'exercice de ce couple de torsion.

2. Compression du corps

Il sera exercé une force de 272 N sur le corps, à la base de l'ogive (fusée verticale avec ogive vers le haut). Lors de cette compression, la trappe d'éjection du parachute ne devra pas s'ouvrir.

Il apparaît que la surface de la trappe sera supérieure à 1/3 de la section de la fusée. Le corps étant en matériau composite, un dépôt de couche de carbone sera effectué autour de la trappe pour satisfaire aux tests précédents. Cependant l'utilisation d'un matériau composite est une excellente garantie de tenue à ces efforts.

PROTOCOLE DE DIMENSIONNEMENT DE L'ALIMENTATION DU SYSTEME D'EJECTION

L'objectif ici est de mesurer la consommation du circuit lorsque le servomoteur change de position.

Grâce à une pince ampérométrique, on évalue grossièrement la valeur du pic du courant lorsque le servomoteur est en mouvement : entre 200 et 300 mA. Cette valeur n'est qu'une estimation et ne peut servir de référence car le temps d'acquisition du pic est trop faible et la mesure instable.

On place donc en série de l'alimentation de la carte une résistance de 1Ω (supporte 700mA pour une puissance de 0,5W), puis on mesure à l'oscilloscope la valeur du pic. On obtient 250 mV soit avec une résistance de 1Ω , un courant de 250 mA. On vérifie également que lorsque le servomoteur ne travaille pas, la consommation du circuit est négligeable (10 mA).

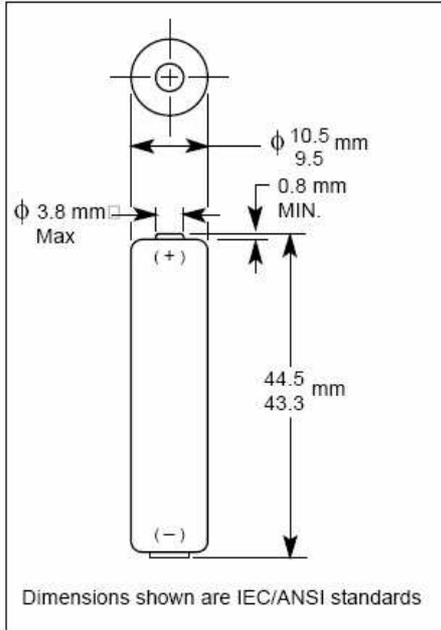
On dimensionnera les piles selon le critère énoncé dans le protocole précédent, avec comme contrainte une tension de 5V minimum (et 6 maximum que peut supporter le servomoteur). Les abaques de fonctionnement des piles LR6 et LR03 nous amènent à sélectionner 4 piles LR03 de 1,5V.

Pour des raisons de facilité, ces piles seront couplée à l'aide de boîtiers et pour répondre à une contrainte d'encombrement, on choisira deux boîtiers de deux piles qui seront couplés entre eux.

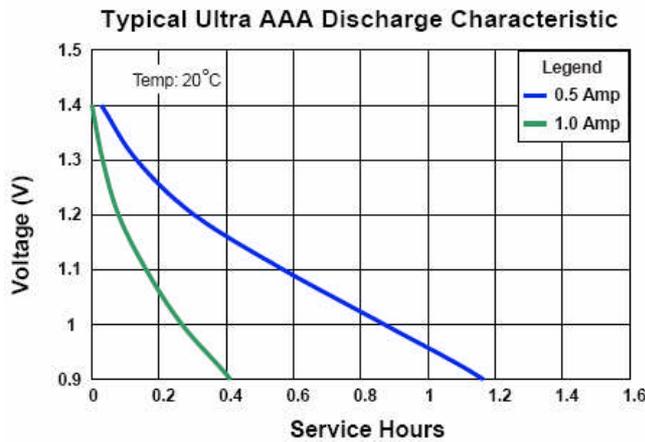
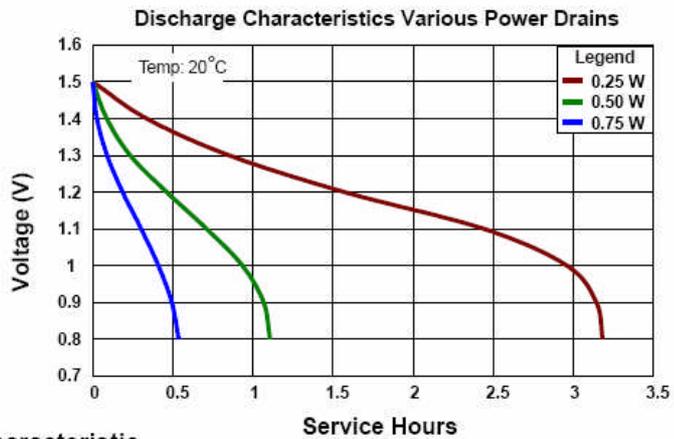


MX2400
Size: AAA (LR03)
Alkaline-Manganese Dioxide Battery

Zn/MnO₂



Nominal Voltage:	1.5 V
Nominal Internal Impedance:	114 m-ohm @ 1kHz
Average Weight:	11.2 gm (0.395 oz.)
Volume:	3.5 cm ³ (0.21 in. ³)
Terminals:	Flat
Operating Temperature Range:	-20°C to 54°C (-4°F to 130°F)
NEDA/ANSI:	24A
IEC:	LR03

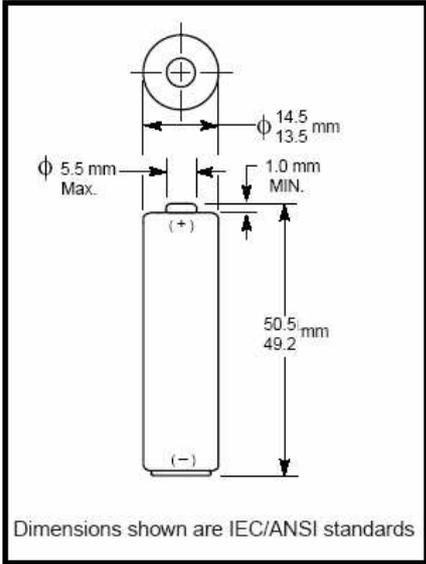


* Delivered capacity is dependent on the applied load, operating temperature and cut-off voltage. Please refer to the charts and discharge data shown for examples of the energy / service life that the battery will provide for various load conditions.



MX1500
Size: AA (LR6)
Alkaline-Manganese Dioxide Battery

Zn/MnO₂

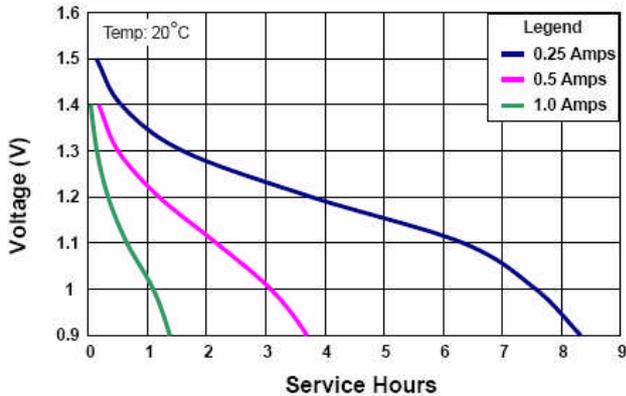


Nominal Voltage:	1.5 V
Nominal Internal Impedance:	81 m-ohm @ 1kHz
Average Weight:	24.4 gm (0.86 oz.)
Volume:	8.4 cm ³ (0.51 in. ³)
Terminals:	Flat
Operating Temperature Range:	-20°C to 54°C (-4°F to 130°F)
NEDA/ANSI:	15A
IEC:	LR6

Discharge Characteristics at Various Power Drains



Typical Ultra AA Discharge Characteristic

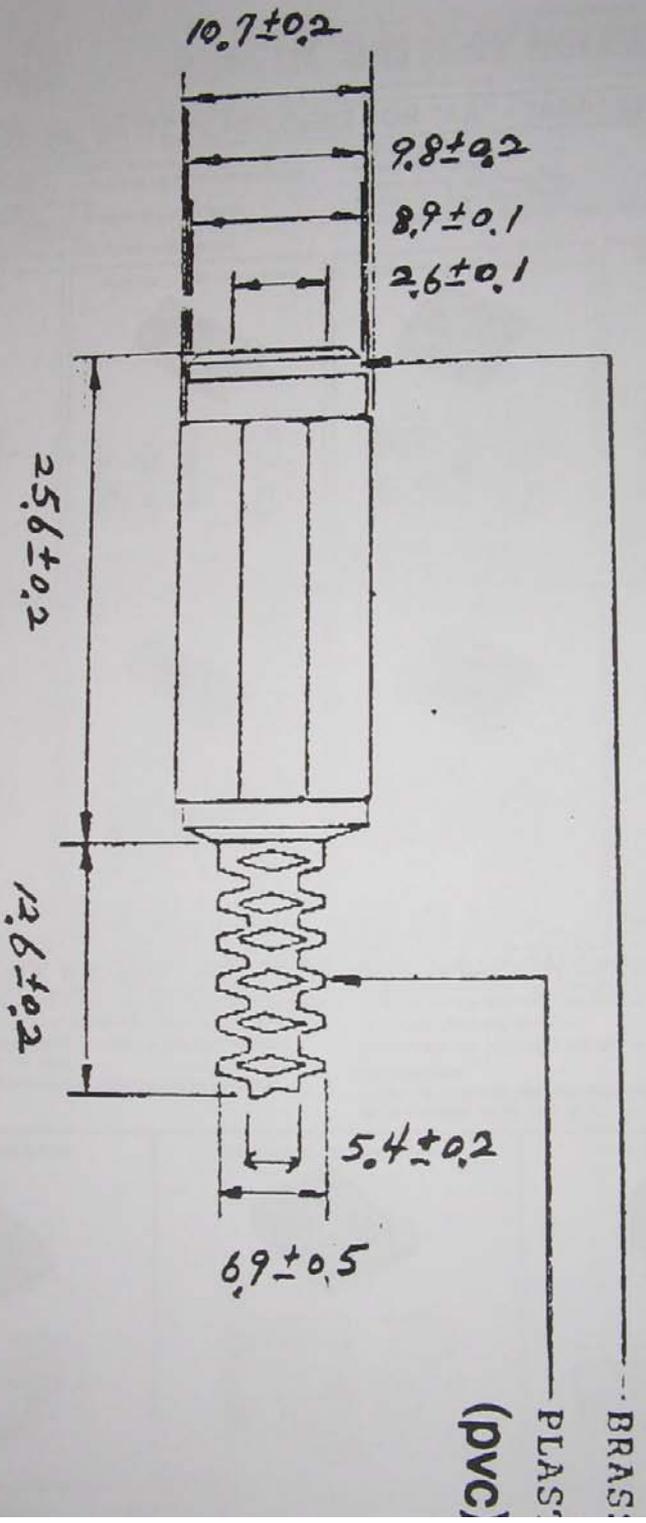


* Delivered capacity is dependent on the applied load, operating temperature and cut-off voltage. Please refer to the charts and discharge data shown for examples of the energy / service life that the battery will provide for various load conditions.



Technical Library

2.5 MONO JACK



RS Components shall not be liable for any liability or loss of any nature (howsoever caused and whether or not due to RS components' negligence) which may result from the use of any information provided in RS literature

RS Components Ltd, PO Box 99, Corby, Northants, NN17 9RS
An Electrocomponents Company

Telephone: 01536 201234



Designers' Choice

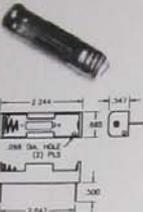
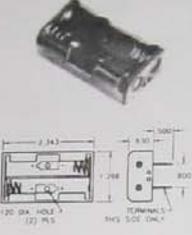
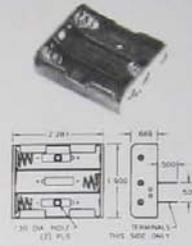
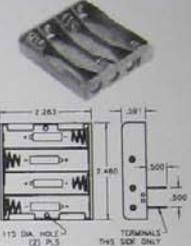
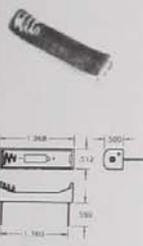
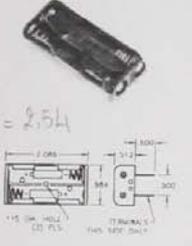
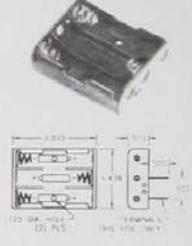
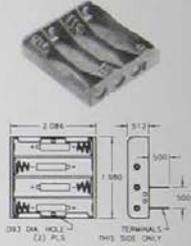
PLASTIC BATTERY HOLDERS

PLASTIC BATTERY HOLDERS FOR "AA" • "AAA" SIZES

- Economical design, available with PC terminals or wire leads
- Batteries securely held in place to assure a positive connection and maintain a low contact resistance
- Contact springs self-adjust to variations in battery length
- Withstands shock and vibration
- Available with solder lugs or male/female snap fasteners

SPECIFICATIONS

- **Holder:** Polypropylene
- **Springs:** Spring Steel, Nickel Plate
- **PC Pins:** 031 Brass, Nickel Plate
- **Wires (Red & Black):** #26AWG, Tinned, 187 end strip UL/CSA1007

<p> Holds One (1) "AA" Cell</p>  <p>CAT. NO. 2460 - PC Mount CAT. NO. 2461 - 6" Wire Leads</p>	<p> Holds Two (2) "AA" Cells in Series</p>  <p>CAT. NO. 2462 - PC Mount CAT. NO. 2463 - 6" Wire Leads</p>	<p> Holds Three (3) "AA" Cells in Series</p>  <p>CAT. NO. 2464 - PC Mount CAT. NO. 2465 - 6" Wire Leads</p>	<p> Holds Four (4) "AA" Cells in Series</p>  <p>CAT. NO. 2477 - PC Mount CAT. NO. 2478 - 6" Wire Leads</p>
<p> Holds One (1) "AAA" Cell</p>  <p>CAT. NO. 2466 - PC Mount CAT. NO. 2467 - 6" Wire Leads</p>	<p> Holds Two (2) "AAA" Cells in Series</p> <p>1" = 25.4</p>  <p>CAT. NO. 2468 - PC Mount CAT. NO. 2469 - 6" Wire Leads</p>	<p> Holds Three (3) "AAA" Cells in Series</p>  <p>CAT. NO. 2479 - PC Mount CAT. NO. 2480 - 6" Wire Leads</p>	<p> Holds Four (4) "AAA" Cells in Series</p>  <p>CAT. NO. 2481 - PC Mount CAT. NO. 2482 - 6" Wire Leads</p>

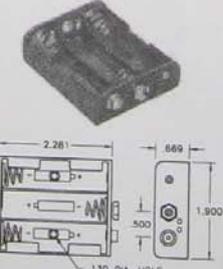
"AA" SIZE BATTERY HOLDERS WITH SNAP-ON CONNECTOR

- Features separable "snap-on/snap-off" battery connector (9 Volt type) to assure reliable connections to battery powered equipment, controls and systems
- Economical design, holders available for two, three or four cells. Wired in series to accept connector (9 Volt type)
- Batteries securely held in place to maintain a positive contact and a low contact resistance

- Battery contact springs self adjust to variations in battery length
- Withstands shock and vibration
- Ideally mates with Keystone 9 Volt battery straps and connectors

SPECIFICATIONS

- **Holder:** Polypropylene; **Male/Female Contacts:** Brass, Nickel Plate
- **Battery Springs:** Spring Steel, Nickel Plate

<p> Holds Two (2) "AA" Cells in Series</p>  <p>CAT. NO. 2474</p>	<p> Holds Three (3) "AA" Cells in Series</p>  <p>CAT. NO. 2475</p>	<p> Holds Four (4) "AA" Cells in Series</p>  <p>CAT. NO. 2476</p>
---	---	--

PROGRAMMATION DE LA CARTE ELECTRONIQUE DU SYSTEME D'EJECTION

Définissons tout d'abord le fonctionnement de certains composants :

- La **prise jack** se décompose en deux parties : partie mâle et partie femelle. Ces deux parties peuvent être soit accrochées, soit décrochées (2 états possibles). Lorsque les deux parties sont accrochées, la prise est assimilable à un fil relié à la masse, dès que les deux parties se décrochent, une tension apparaît aux bornes de la prise. C'est ce changement de valeur de tension que détecte le PIC. Suivant la tension aux bornes de la prise, on connaît l'état du jack.
- Même principe pour l'**interrupteur de position du servomoteur**
- Le **servomoteur** possède 3 états : position ouverte, position fermée, position molle. La position molle est la position que prend le servomoteur lorsqu'il n'est plus commandé par un signal (garde la position d'avant l'arrêt de l'alimentation). Les positions d'ouverture et de fermeture sont commandées par l'envoi d'un signal en créneau ; la largeur du créneau indique la nature de l'action (ouverture ou fermeture).

La programmation consiste à décrire les opérations que devra commander le PIC en fonction de la valeur des entrées dont il identifiera l'état.

Alimentation carte

Tant que jack accroché,

Identification de l'état de l'interrupteur

Exécution de la commande décrite par l'interrupteur

Attente

Dès que jack décroché, quelque soit la valeur de l'interrupteur

Commande position fermeture du servomoteur

Maintien en position fermée

Décomptage

Commande position ouverture servomoteur dès que décomptage terminé

Maintien en position ouverte du servomoteur

L'état du jack est dominant par rapport à la position de l'interrupteur. Lorsqu'on alimente le circuit, si le jack est accroché, le PIC identifie la valeur de l'interrupteur et exécute la commande. Une fois cela fait, il se met en attente de changement de valeur du jack.

Ceci implique que pour commander par l'interrupteur un changement de position après cela, il faut fermer l'alimentation, mettre l'interrupteur en position et rallumer l'alimentation.

C'est peu pratique mais cette procédure facilite l'écriture de la programmation qui serait trop compliquée sinon.

Une fiche de procédure est écrite pour expliciter la procédure à suivre dans tous les cas.

Protocole de manipulation de la partie électrique :

SITUATION 1 : Tests

Commande : Actionner la position ouverte du servomoteur (→ ouverture de la trappe)

Actionner la position ouverte du servomoteur				
Etat de l'alimentation	Etat du jack	Position interrupteur servo	Protocole à effectuer	Résultat
Fermée	Accroché	Fermée	Positionner l'interrupteur servo sur position ouvert	Position ouverte du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Alimenter la carte	
Fermée	Accroché	Ouverte	Alimenter la carte	Position ouverte du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
Fermée	Décroché	Fermée	Raccrocher le jack	Position ouverte du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Positionner l'interrupteur servo sur position ouvert	
			Alimenter la carte	
Fermée	Décroché	Ouverte	Raccrocher le jack	Position ouverte du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Alimenter la carte	
Ouverte	Accroché	Fermée	Fermer l'alimentation	Position ouverte du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Positionner l'interrupteur servo sur position ouvert	

			Alimenter la carte	
Ouvrte	Accroché	Ouvrte	Fermer l'alimentation	Position ouvrte du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Alimenter la carte	
Ouvrte	Décroché	Fermée	Fermer l'alimentation	Position ouvrte du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Raccrocher le jack	
			Positionner l'interrupteur servo sur position ouvert	
			Alimenter la carte	
Ouvrte	Décroché	Ouvrte	Fermer l'alimentation	Position ouvrte du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Raccrocher le jack	
			Alimenter la carte	

Commande : Actionner la position fermée du servomoteur (→ fermeture de la trappe)

Actionner la position fermée du servomoteur				
Etat de l'alimentation	Etat du jack	Position interrupteur servo	Protocole à effectuer	Résultat
Fermée	Accroché	Fermée	Alimenter la carte	Position fermée du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
Fermée	Accroché	Ouvrte	Positionner l'interrupteur servo sur position fermée	Position fermée du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Alimenter la carte	

Fermée	Décroché	Fermée	Raccrocher le jack	Position fermée du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Alimenter la carte	
Fermée	Décroché	Ouvrée	Raccrocher le jack	Position fermée du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Positionner l'interrupteur servo sur position fermée	
			Alimenter la carte	
Ouvrée	Accroché	Fermée	Fermer l'alimentation	Position fermée du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Alimenter la carte	
Ouvrée	Accroché	Ouvrée	Fermer l'alimentation	Position fermée du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Positionner l'interrupteur servo sur position fermée	
			Alimenter la carte	
Ouvrée	Décroché	Fermée	Fermer l'alimentation	Position fermée du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Raccrocher le jack	
			Alimenter la carte	
Ouvrée	Décroché	Ouvrée	Fermer l'alimentation	Position fermée du servo, attente jusqu'à décrochage du jack
			Raccrocher le jack	
			Positionner l'interrupteur servo sur position fermée	
			Alimenter la carte	

Pour tester la minuterie, il suffira de décrocher le jack, et, quelque soit la position de l'interrupteur, le protocole de vol s'effectuera :

- * Fermeture de la porte par position fermée du servomoteur
- * Maintien de la position fermée
- * Décomptage

- * Ouverture de la trappe à la fin du décomptage par position ouverte servomoteur

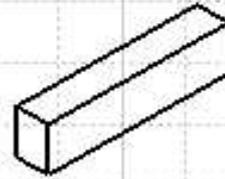
SITUATION 2: Vol

Protocole à suivre pour la préparation du vol :

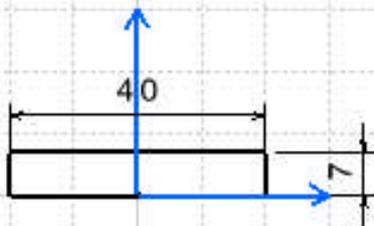
- * Etat de départ de la partie éjection : **servomoteur position ouverte, alimentation fermée, jack accroché**
- * Mise en place du parachute dans sa case
- * Mise en place de la trappe par rapport au corps de la fusée
- * Positionnement de l'interrupteur du servomoteur sur fermeture trappe
- * Alimentation de la carte -> fermeture trappe
- * Attente jusqu'à décrochage du jack

Si une mauvaise manipulation est faite, fermer l'alimentation, se reporter aux tableaux précédents pour l'exécution d'une commande, renouveler le processus de préparation une fois l'état de départ retrouvé.

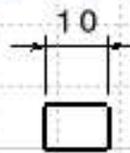
Définition des cales



Vue isométrique
Echelle : 1:1



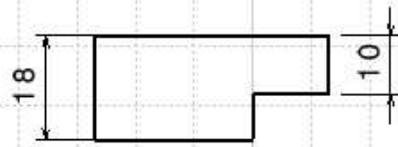
Vue de face
Echelle : 1:1



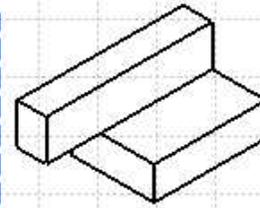
Vue de gauche
Echelle : 1:1



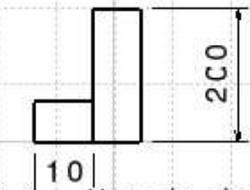
Vue de dessus
Echelle : 1:1



Vue de dessous
Echelle : 1:1



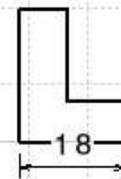
Vue isométrique
Echelle : 1:1



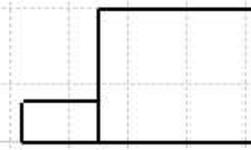
Vue de droite
Echelle : 1:1



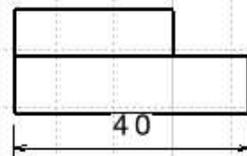
Vue de face
Echelle : 1:1



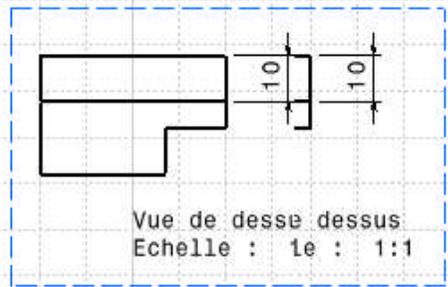
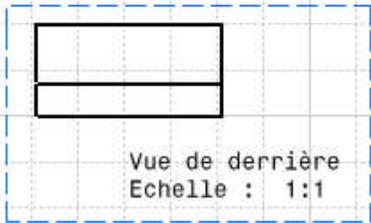
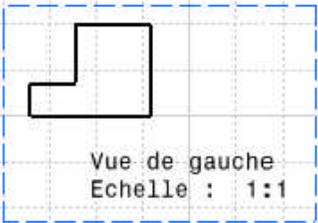
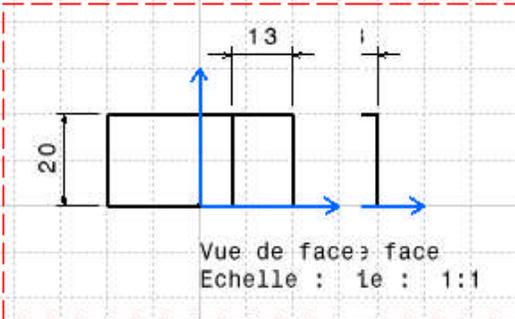
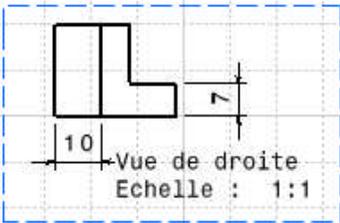
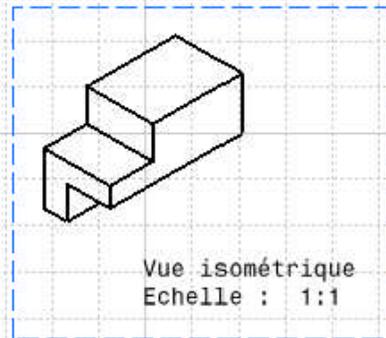
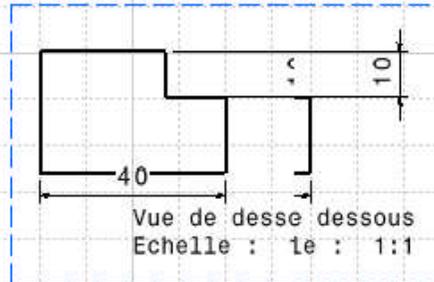
Vue de gauche
Echelle : 1:1



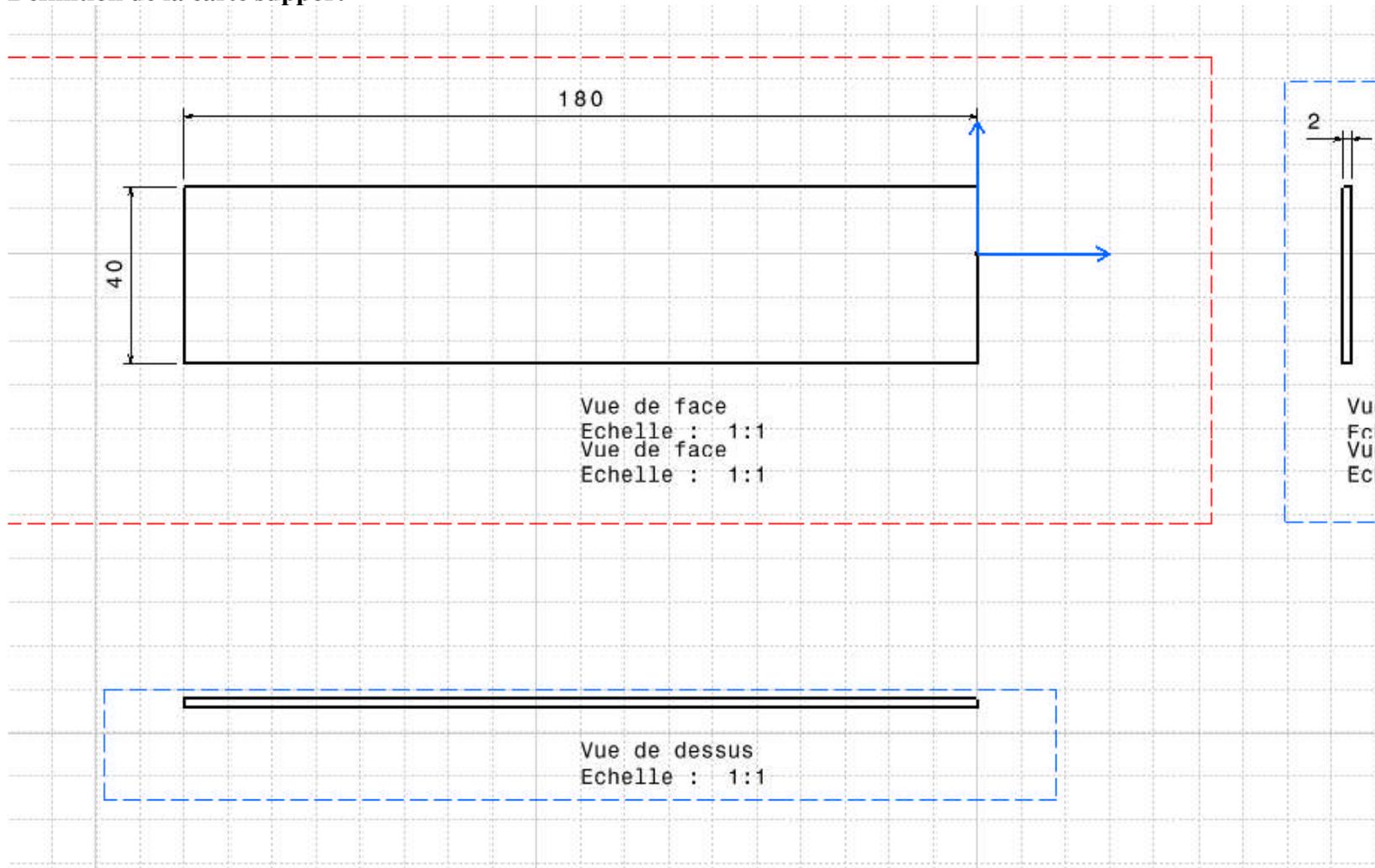
Vue de derrière
Echelle : 1:1



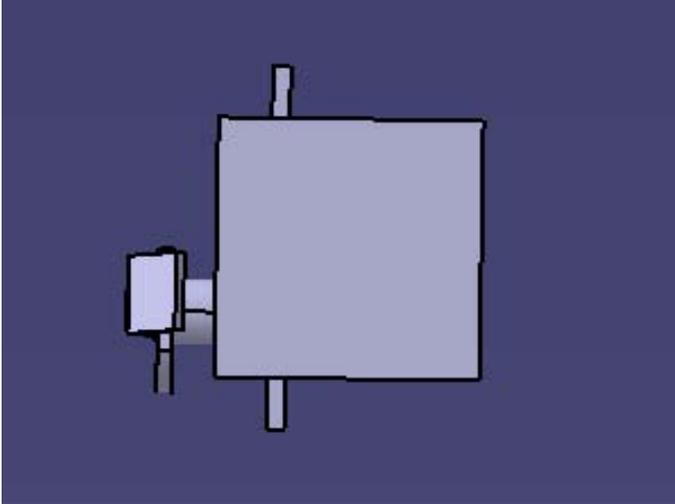
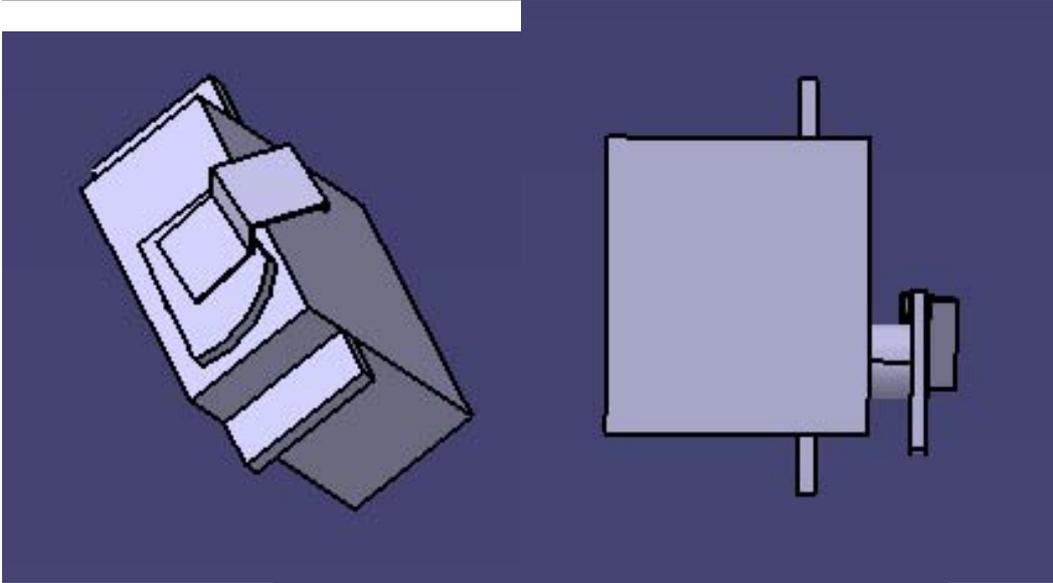
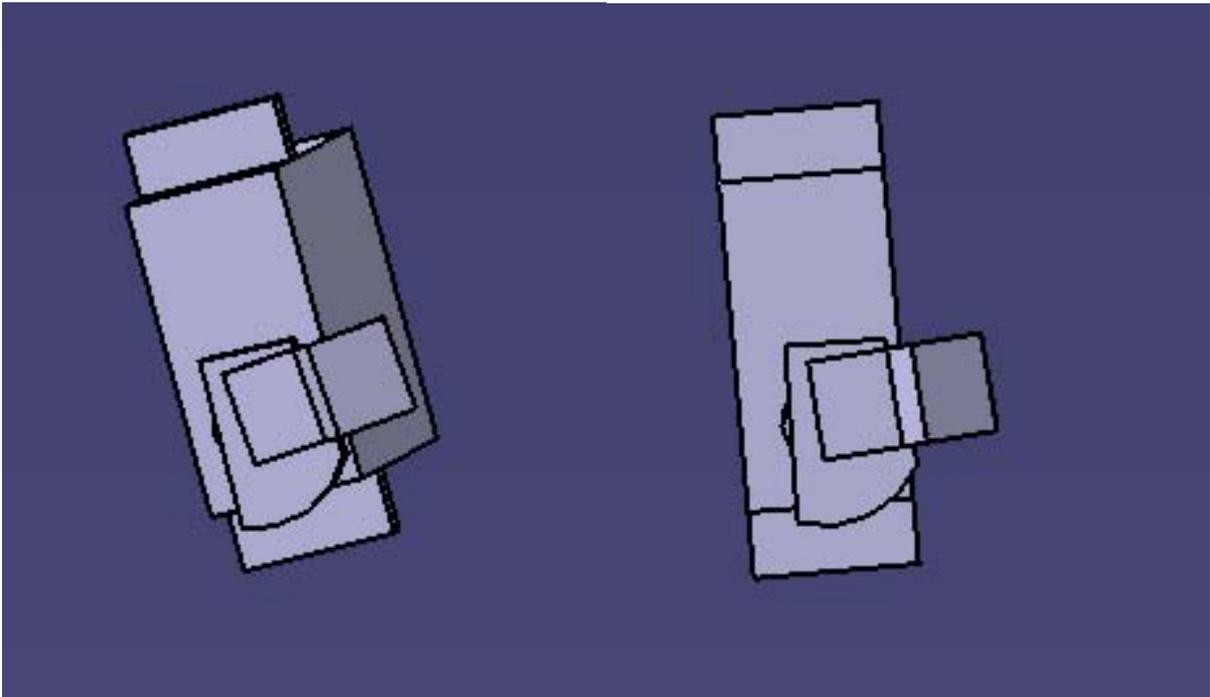
Vue de dessus
Echelle : 1:1



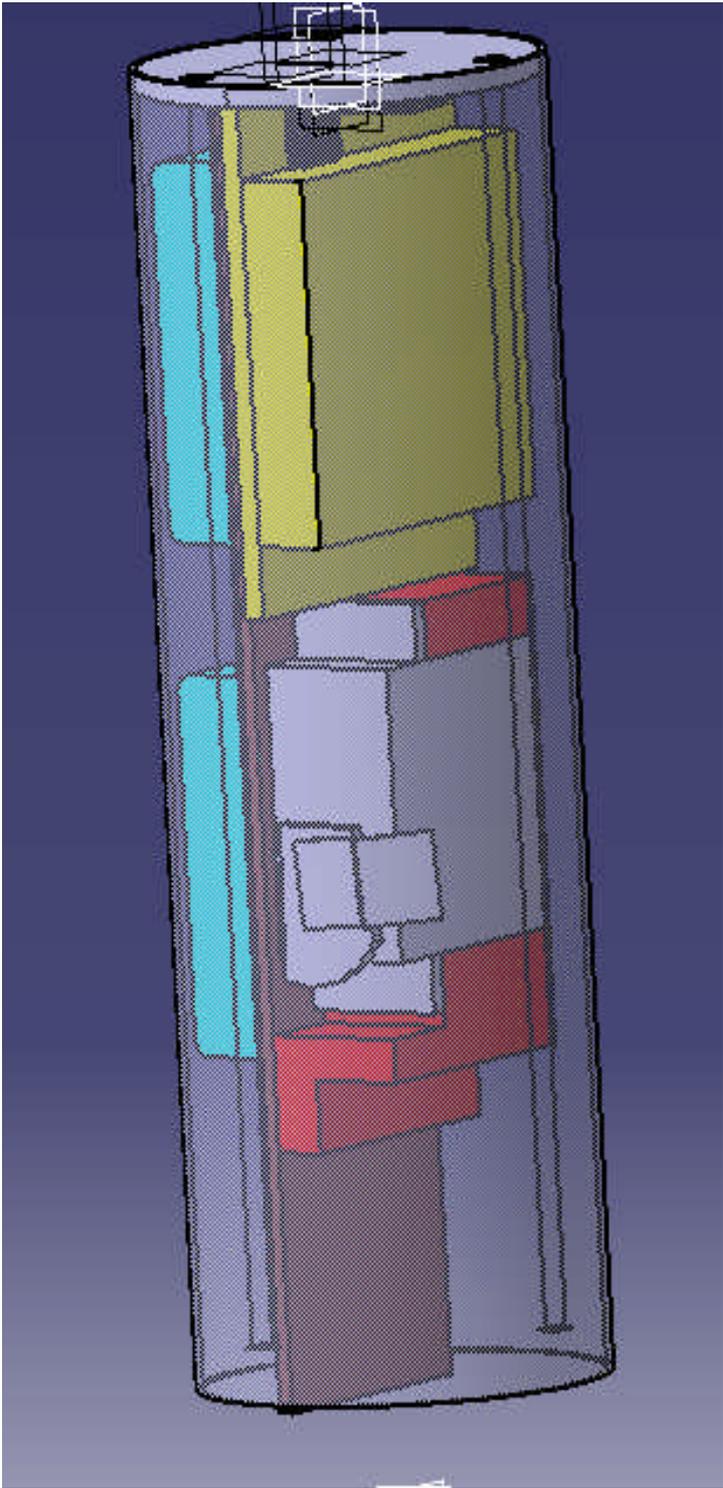
Définition de la carte support

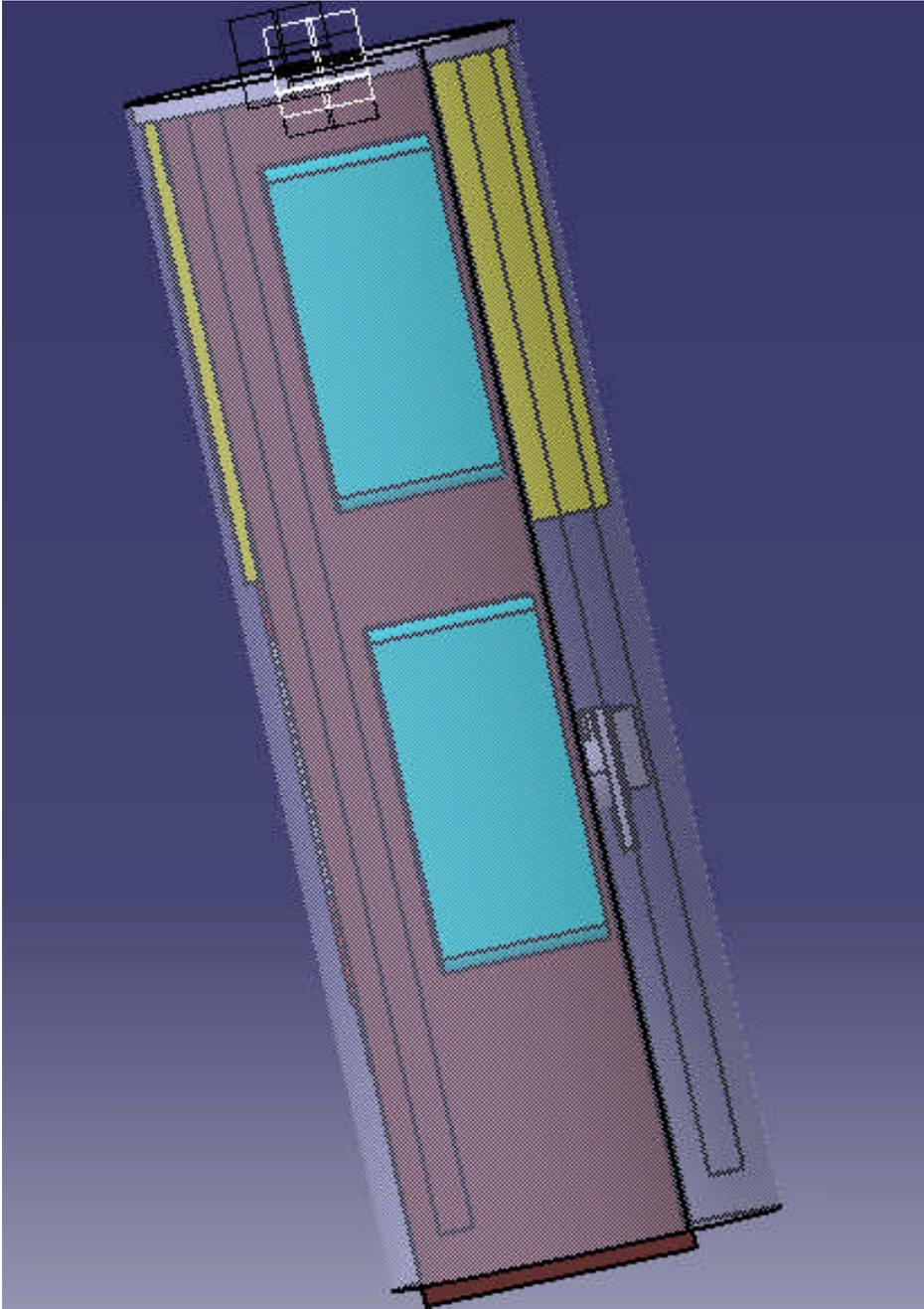


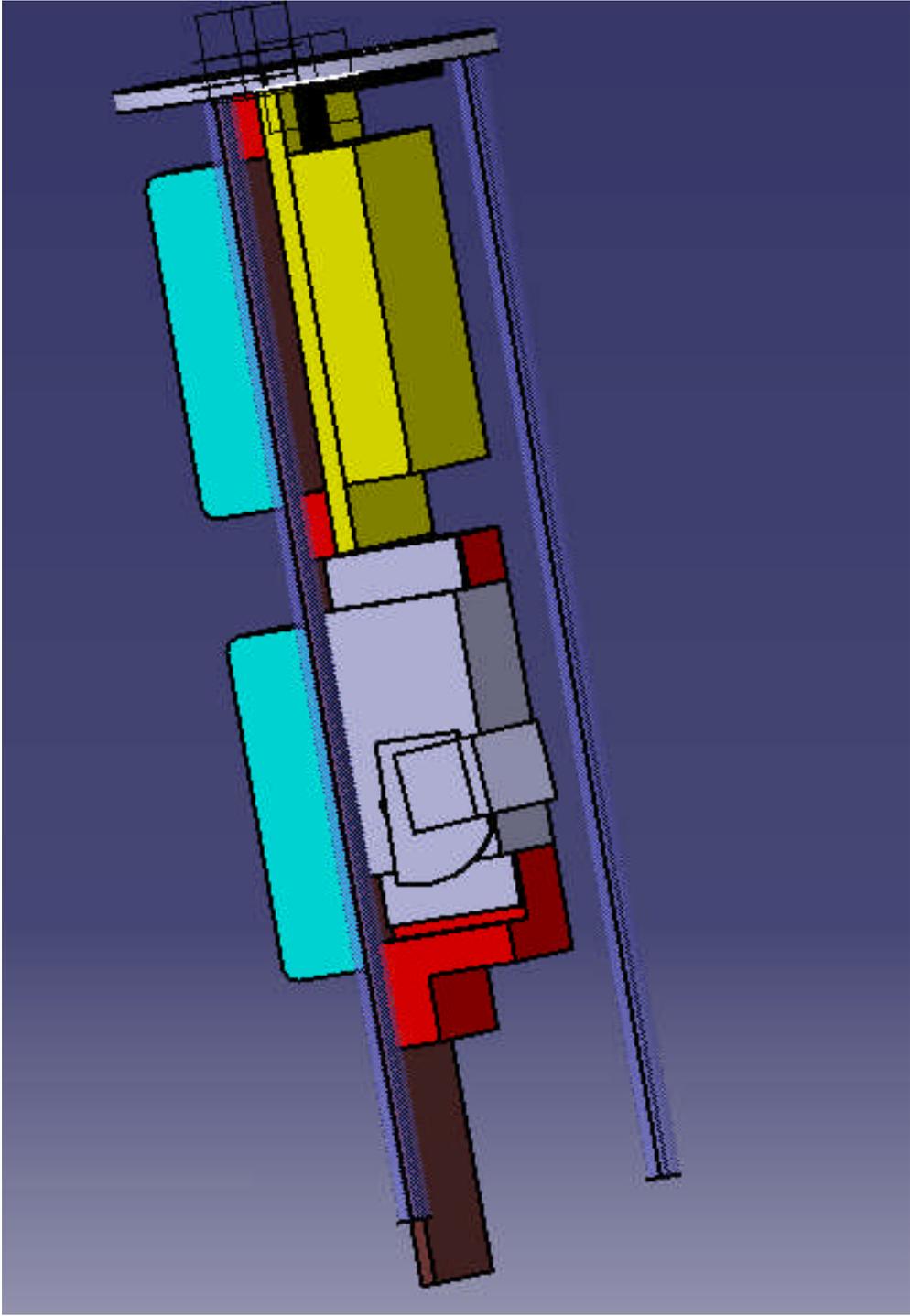
Servomoteur

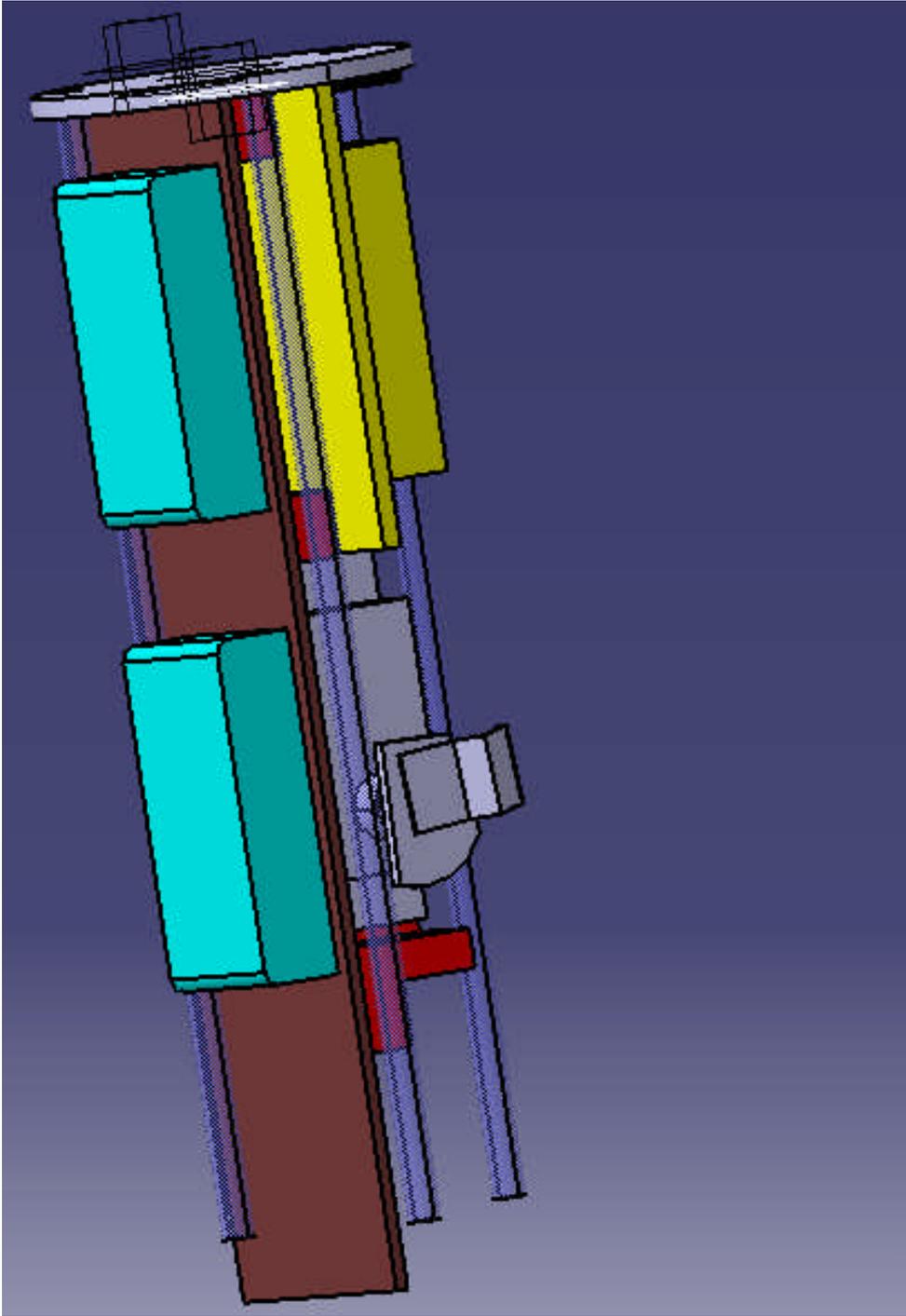


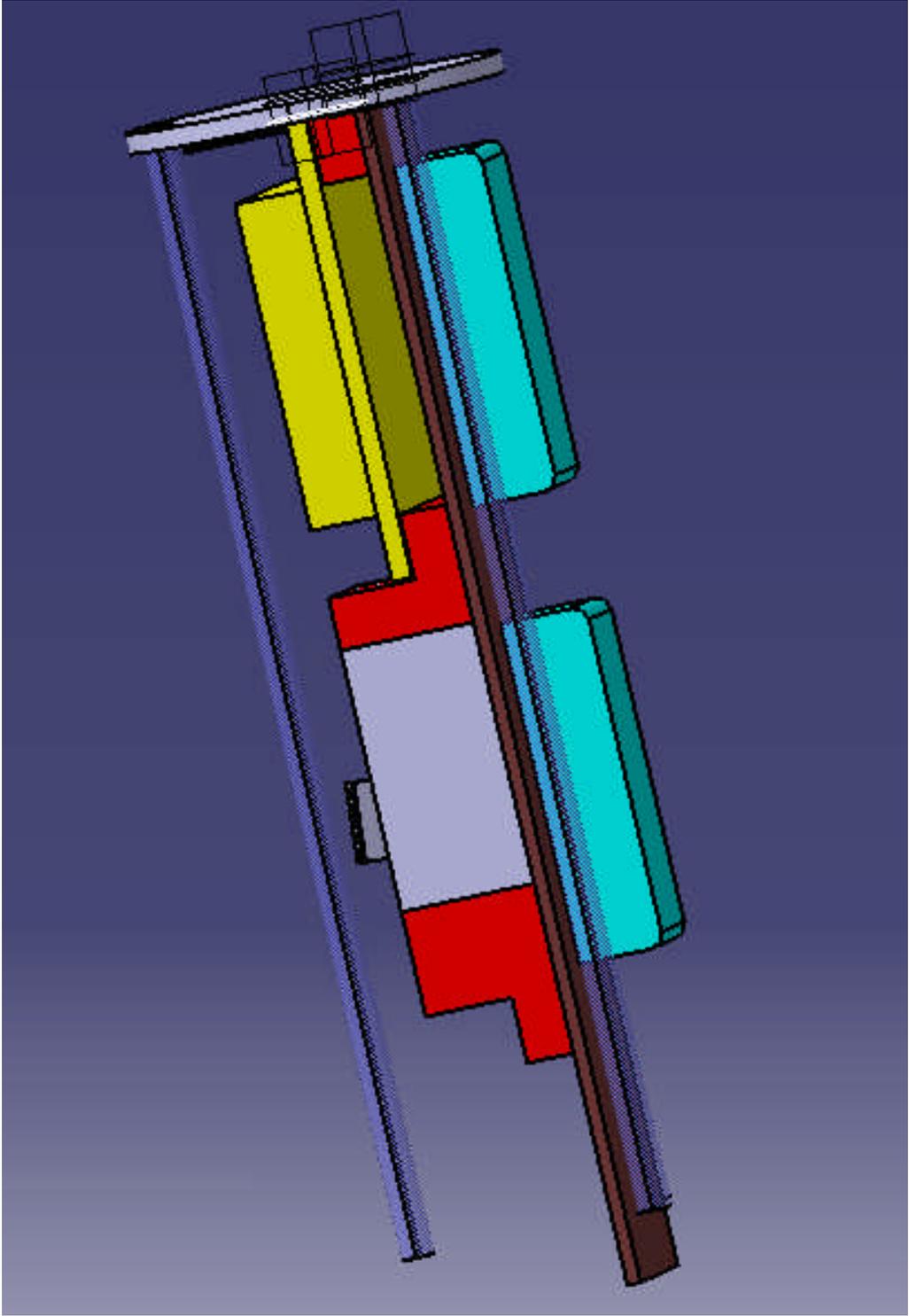
Définition de l'intégration











NOMENCLATURE DU SOUS SYSTEME D'EJECTION

NOMENCLATURE			
Référence	Désignation	Quantité	Dimension
1	Carte minuterie	1	70*54*2
2	Carte support	1	180*40*2
3	Boitier piles LR04	2	voir doc
4	Servomoteur	1	voir doc
5	Cale 0 (cale supérieure carte minuterie)	1	voir plan
6	Cale 1 (cale servomoteur/carte minuterie)	1	voir plan
7	Cale 2 (cale servomoteur)	1	voir plan
8	tubes	3	D=5mm
9	Rondelle nid d'abeille	1	D=56mm, e=3mm
10	Rondelle bois	1	D=56mm, e=5mm
11	Equerre de liaison avec rondelle	2	voir plan
12	Vis de fixation CHC	10	D=3mm
13	Cale ressort	1	à faire
14	Ressort de compression	1	voir documentation

ANNEXE 11

SPECIFICATIONS TECHNIQUES DU BESOIN

A. Choix du nom de la fusée :

- ✓ **Objectif :** Trouver un nom sérieux et compréhensible pour la mini-fusée.
- ✓ **Données :**
 - Forme imposée → Nom suivi de 204 : « *NOM 204* »
 - Thème → « Jeunes et espace »
- ✓ **Travail à fournir :**
 - Remettre à l'ENSAM une liste de 15 noms minimum.
 - Classer ces propositions et expliciter votre méthode de tri.
 - Donner votre choix final ainsi que les raisons qui vous ont conduites à ce choix.
- ✓ **Date de remise :** 20 janvier 2006

B. Peinture du corps de la fusée :

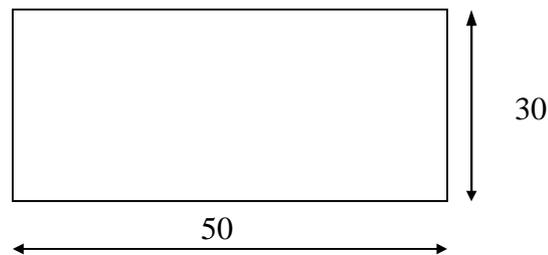
- ✓ **Objectifs :**
 - Peindre le corps en composite de la mini-fusée.
 - Faire apparaître le nom ou logo de chaque participant au projet.
- ✓ **Données :**
 - Liste des participants & logos (+ sur fichier informatique)



Collège Jean Zay (logo ?)



- Plan d'ensemble de la fusée (annexe 1)
- Chaque logo ou nom doit s'inscrire dans un rectangle de dimensions :



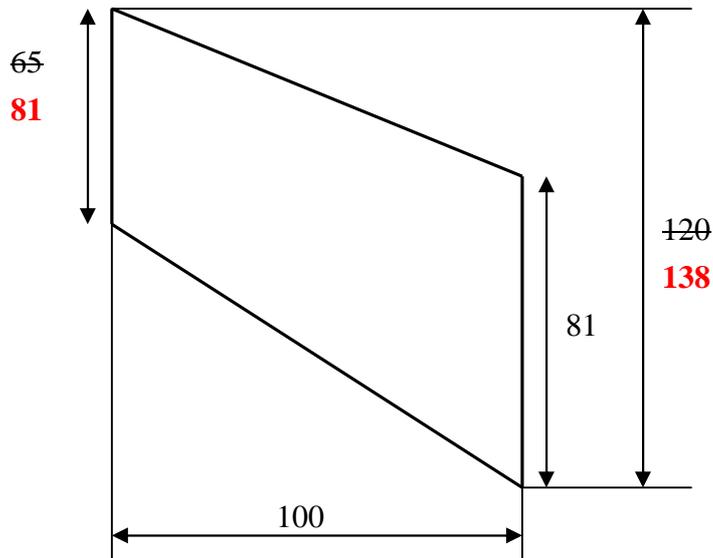
- Penser à leur étanchéité s'ils sont imprimés sur autocollants.
 - Les couleurs devront être telles que la fusée doit être visible dans le ciel (éviter le bleu, blanc, gris...).
 - Marquer un repère visuel pour observer le roulis de la fusée.
- ✓ **Travail à fournir :** - Avant-projet : plan (échelle 1 :2 minimum) de la mini-fusée avec couleurs et emplacement logos définitifs. Possibilité de fournir 2 ou 3 avant-projets différents.
- Coque composite de la mini-fusée entièrement peinte.
- ✓ **Ressources matériels :** Peinture au choix adaptée aux matériaux composites, à fournir par Jean Zay.
- ✓ **Date de remise :** - Avant-projet : **20 janvier 2006**
- Produit fini : **25 mars 2006**

C. Ailerons, logement moteur et assemblage du sous-ensemble :

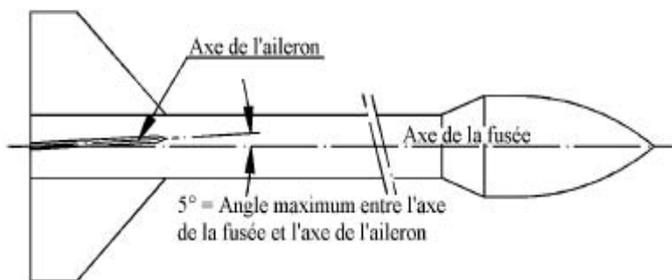
- ✓ **Objectif :**
- Découper les ailerons.
 - Réaliser une pièce qui remplit les fonctions suivantes :
 - centrage du propulseur CARIACOU :
 - plaque de poussée
 - fixation ailerons
 - Positionner et assembler solidement les ailerons au logement moteur.

- ✓ **Données** : - Dessin de définition d'un *aileron* (voir ci-dessous). L'épaisseur est à déterminer en fonction du matériau choisi, de la bonne tenue aux tests définis ci-dessous et bien entendu de la masse maxi imposée pour tout l'ensemble (voir à la fin des données).

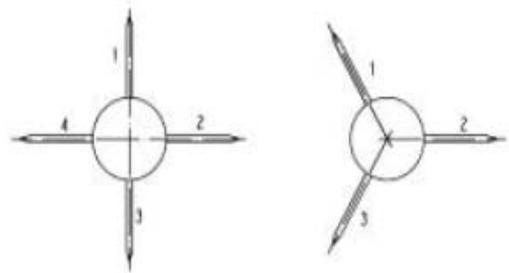
La côte spécifiée pour l'implantation des ailerons étant trop petites (d'après votre expérience), nous avons modifié la côte de 63 mm. La longueur d'implantation est maintenant de 81 mm.



Attention à la position de l'aileron (voir schéma ci-dessous)



Position de l'axe des ailerons



Gabarit suivant le nombre d'ailerons (à +/- 10°)

- Nombre d'ailerons = 4

- Procédure de test de tenue des ailerons :

TEST 1 : Pour vérifier la tenue des fixations *ailerons-fusée*, la fusée sera basculée, par ses ailerons (en les portant manuellement, par leur extrémité : le plus loin de l'axe de la fusée), de la position « ogive dirigée vers le sol » à la position « ogive dirigée vers le ciel ». Répéter ce test pour toutes les combinaisons d'ailerons possibles.

TEST 2 : Un test consistant à appuyer sur l'extrémité des ailerons sera aussi effectué en poussant d'un effort égal à 2 fois l'accélération maximale multiplié par la masse de l'aileron (accélération maxi = 188 m/s²). Pour la mesure de l'effort, le bout de l'aileron est posé sur une balance et le contrôleur appuie jusqu'à atteindre un poids équivalent à l'effort calculé : $M = 2 * \text{Acc maxi} * \text{Maileron}$

Pour ces tests, on prendra un double du corps de la fusée en tube PVC.

- La pièce du logement moteur devra assurer 2 fonctions principales :
 - recevoir le propulseur dans un cylindre de diamètre 41mm et de longueur 57mm.

Attention, prévoir un jeu de 1 ou 2 mm pour le montage du propulseur.

- se centrer dans un cylindre de diamètre **40mm** au lieu de 51mm, **et de longueur 10 mm.**

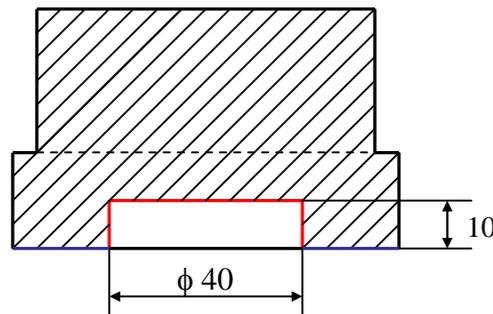


Schéma : pièce conception et fabrication ENSAM

Attention, prévoir un jeu au fond de ce cylindre pour bien être en appui-plan sur la couronne extérieure (en bleue sur le schéma).

- permettre la fixation d'une pièce métallique (fabrication ENSAM), par exemple une simple rondelle de bois, qui assurera la liaison avec le corps composite, prévoir de pouvoir fixer 4 vis M4 (responsabilité ENSAM), **sur un diamètre d'implantation de 49 mm.**

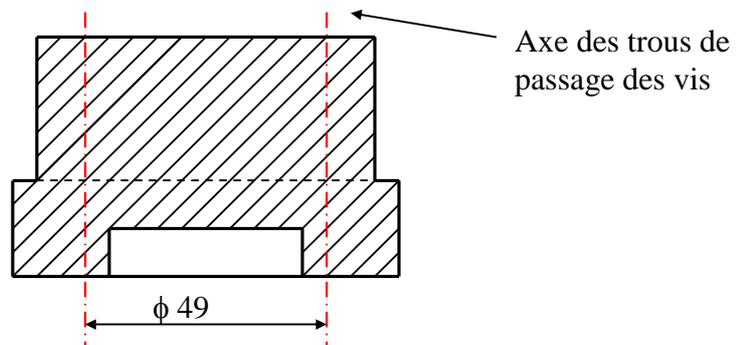


Schéma : pièce conception et fabrication ENSAM

- Tout l'ensemble (ailerons + logement moteur + fixations) doit avoir une masse inférieure à 220g.

- ✓ **Travail à fournir :** - 4 ailerons identiques, découpés suivant les spécifications imposées par l'ENSAM.
 - Conception et fabrication du logement moteur
 - Conception détaillée de la liaison encastrement aileron / logement moteur
 - Assemblage final et tests
- ✓ **Date de remise :** - Conception détaillée pièces & liaison: 20 janvier 2006
 - Ailerons et logement moteur finis : 11 mars 2006
 - Assemblage final : 25 mars 2006

D. Système de transport :

- ✓ **Objectif :** Réaliser un système qui permet de transporter la mini-fusée sans endommagement.
- ✓ **Données :** - Plan d'ensemble de la fusée (annexe 1)
 - Masse ≤ 3 kg
- ✓ **Travail à fournir :** - Avant-projet du système (schémas)
 - Conception détaillée (dessin d'ensemble avec dimensions finales, matériaux utilisés, gammes de fabrication)
 - Produit fini et testé avec un double de la mini-fusée (prendre un tube PVC diamètre ext. de 63mm)
- ✓ **Ressources matériels :** Libre choix
- ✓ **Date de remise :** - Avant-projet : 13 décembre 2006
 - Conception détaillée : 20 janvier 2006
 - Produit fini et testé : 25 mars 2006

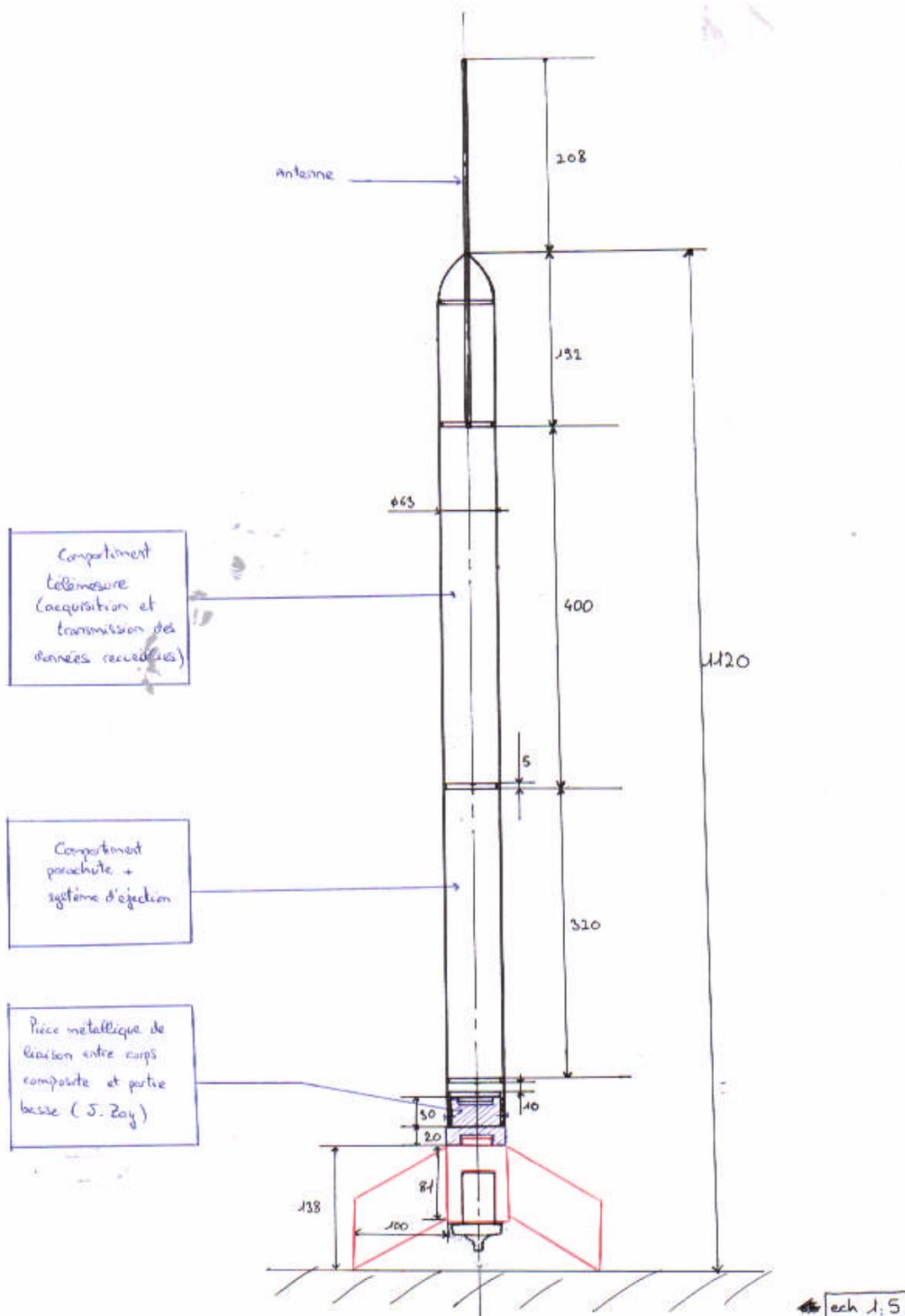
E. Support de maintenance :

- ✓ **Objectif :** Réaliser un support qui permettra la maintenance des systèmes embarqués dans la mini-fusée en cas de panne.
- ✓ **Données :** Schéma du système de compartiments-tiroirs de la fusée (annexe 2)
- ✓ **Travail à fournir :** - Avant-projet du système (schémas)
 - Conception détaillée (dessin d'ensemble avec dimensions finales, matériaux utilisés, gammes de fabrication)
 - Produit fini et testé

04/06/2006

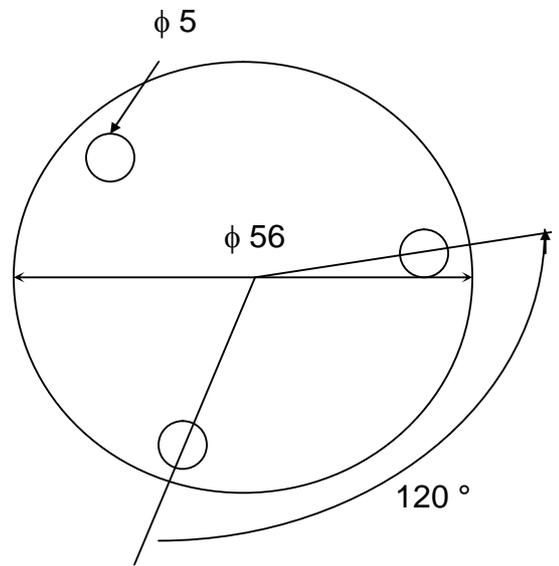
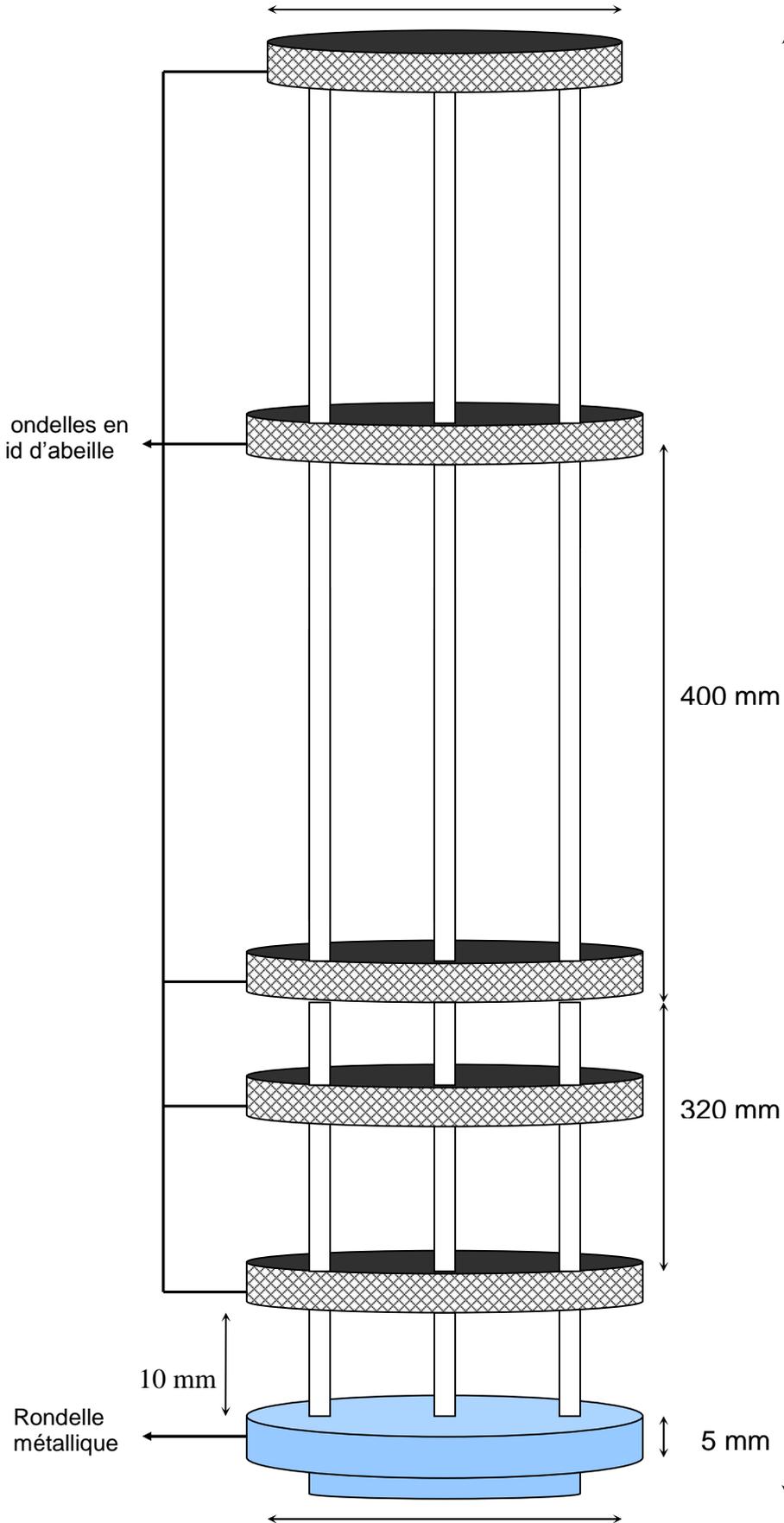
- ✓ **Ressources matériels** : Libre choix
- ✓ **Date de remise** :
 - Avant-projet : 13 décembre 2006
 - Conception détaillée : 11 janvier 2006
 - Produit fini et testé : 25 mars 2006

ANNEXE 1

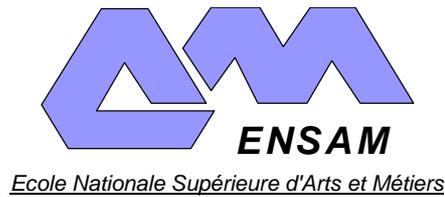


ANNEXE 2

$\phi 54$



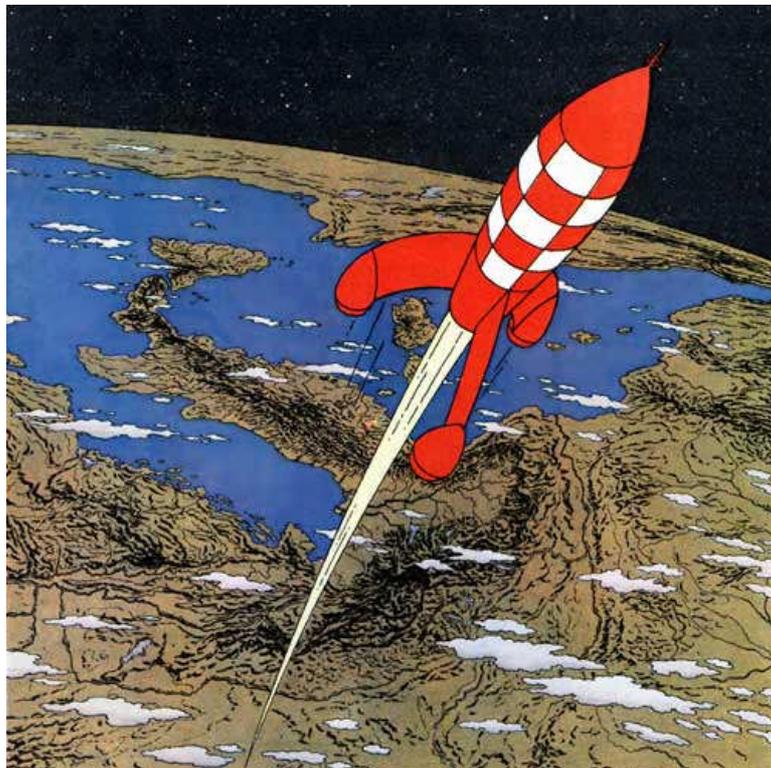
ANNEXE 12



ý



Spécification Technique du Besoin de la télémessure Lycée Kastler

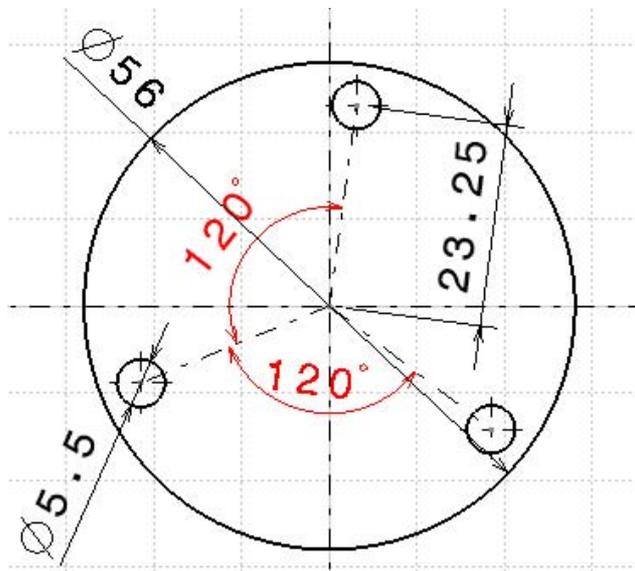
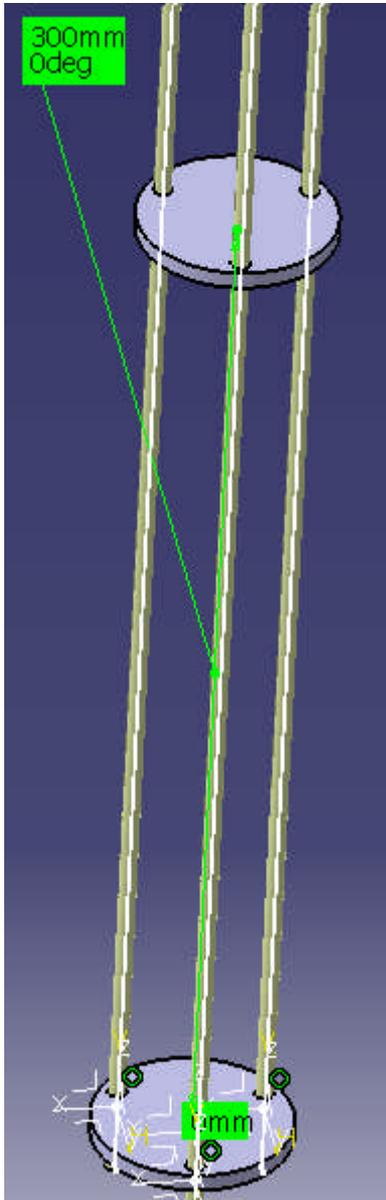


Sommaire

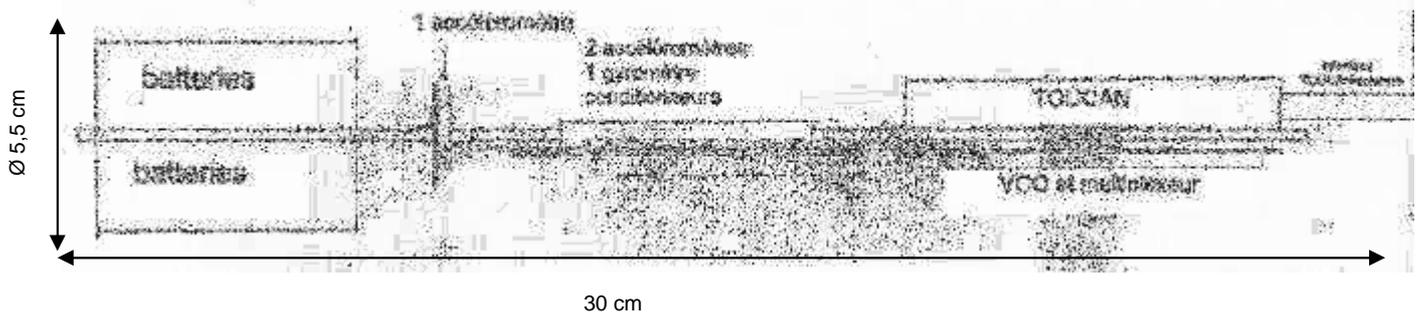
A.	AVANT PROJET DE SON EMPLACEMENT DANS LA FUSEE.....	- 3 -
B.	AVANT PROJET DE SON IMPLANTATION DANS LA FUSEE.....	- 4 -
C.	DESCRIPTIF DU SYSTEME	- 5 -
D.	CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL.....	- 5 -
E.	EXIGENCES DE SURETE DE FONCTIONNEMENT	- 8 -
1.	<i>Fiabilité</i>	- 8 -
2.	<i>Maintenabilité</i>	- 8 -
3.	<i>Sécurité</i>	- 8 -
F.	EXIGENCES CONCERNANT LA CONCEPTION ET LA PRODUCTION	- 8 -
1.	<i>Matériel à produire par le sous-traitant</i>	- 8 -
2.	<i>Solutions techniques interdites</i>	- 11 -
3.	<i>Composants normalisés à utiliser</i>	- 11 -
4.	<i>Documents normatifs applicables</i>	- 11 -
5.	<i>Interface assemblage</i>	- 11 -
G.	EXIGENCES CONCERNANT LA QUALIFICATION ET L'ACCEPTATION	- 11 -
H.	EXIGENCE CONCERNANT LES DELAIS	13

A. Avant projet de son emplacement dans la fusée

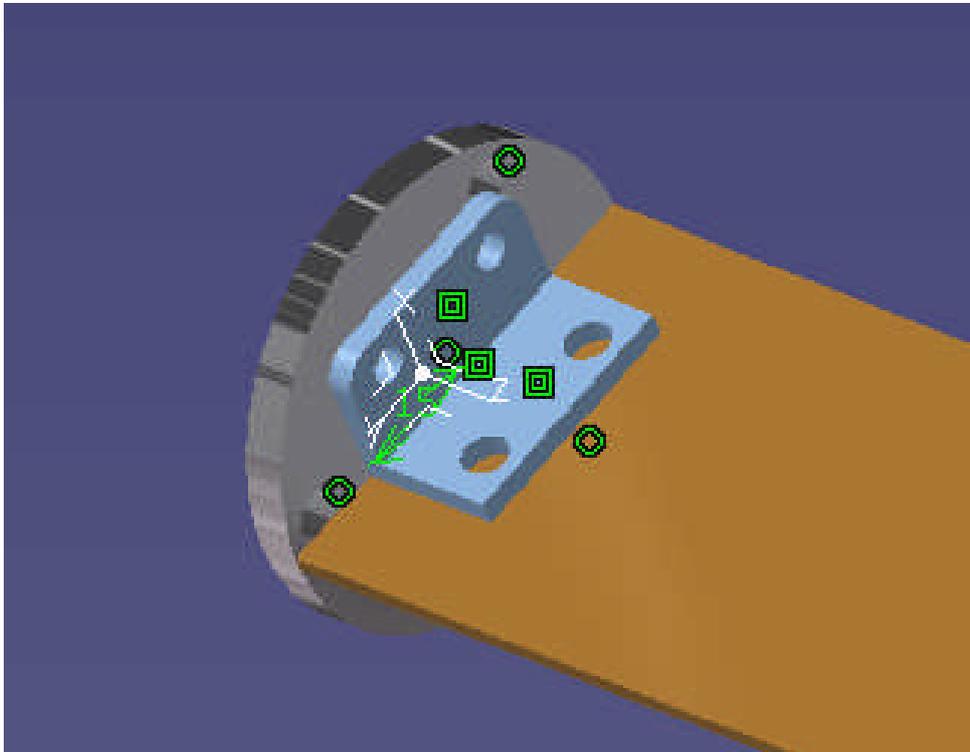
Le système se logera dans le compartiment suivant :



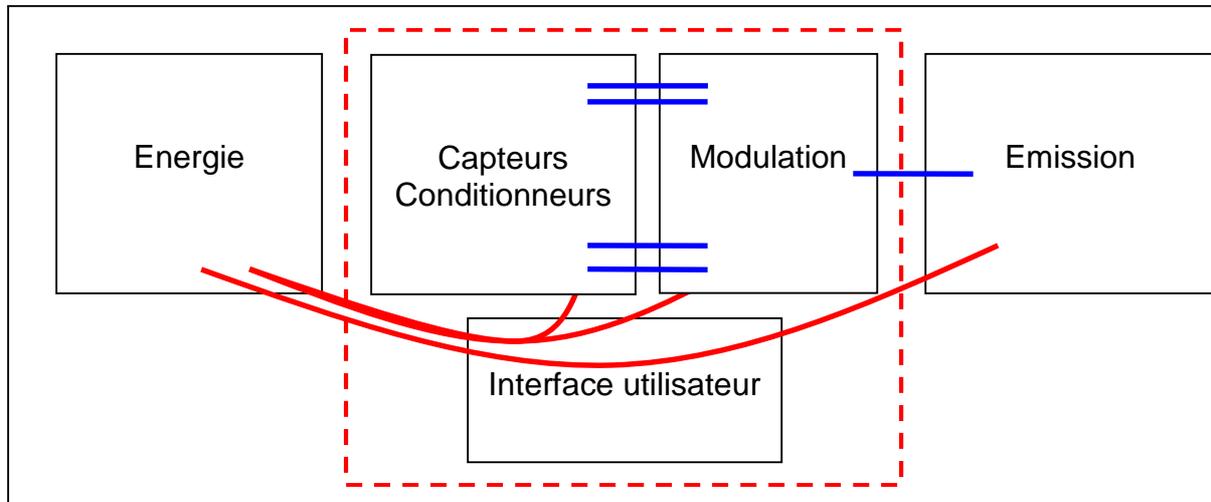
B. Avant projet de son implantation dans la fusée



Les éléments (cartes, piles) seront fixés sur une plaque fournie par l'ENSAM. Cette plaque se fixera à l'intérieur du logement, sur les disques circulaires par des équerres :



C. Descriptif du système

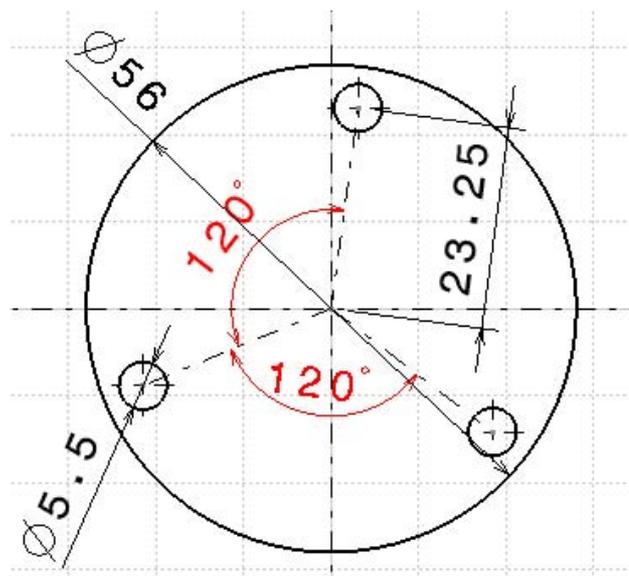


D. Cahier des Charges Fonctionnel

Ce document reprend le tableau du Cahier des Charges Fonctionnel en explicitant, si nécessaire, et en précisant certains points.

CFC1 : S'adapter à l'environnement de la fusée

- Masse
Elle ne doit pas dépasser 285 g.
- Volume
Le volume disponible est un cylindre de 30 cm de long dont la base est la suivante :



- **Modularité**
Les fonctions réalisées par le système de mesure doivent être réparties en différents modules, comme indiqué dans les exigences de conception et de production.
Chaque module doit pouvoir être fixé sur une plaque.
- **CEM**
Le système, et notamment l'émetteur ne doivent pas perturber les autres systèmes électriques. Ici, il ne faut pas que la minuterie soit perturbée.

CFC3 : Respecter les normes

TEL5

- Norme en vigueur dans le cadre de planète science
La norme à prendre en compte est la norme IRIG à 20%

CFC6 : Ne présenter aucun danger pour les personnes ou l'environnement

GN1

- **Nocivité**
Le système ne doit pas nuire à son environnement. En particulier, il ne doit pas pouvoir blesser les différents utilisateurs (arrêtes coupantes, pointes,...)

TFC1 : Avoir une interface avec l'utilisateur

GN4,5 TEL7

- **Présence d'indicateurs de l'état de l'alimentation de la fusée**
La position de l'interrupteur doit être clairement visible et doit indiquer clairement le système coupé.
- **Possibilité d'agir sur l'état de la fusée**
Il faut 1 interrupteur 3 positions :
 - Coupure générale de l'alimentation du système de mesure et transmission
 - Coupure de l'alimentation de l'émetteur et alimentation du système de mesure
 - Alimentation de tout le système

TFC3 : Etre alimenté pendant toute la durée des tests

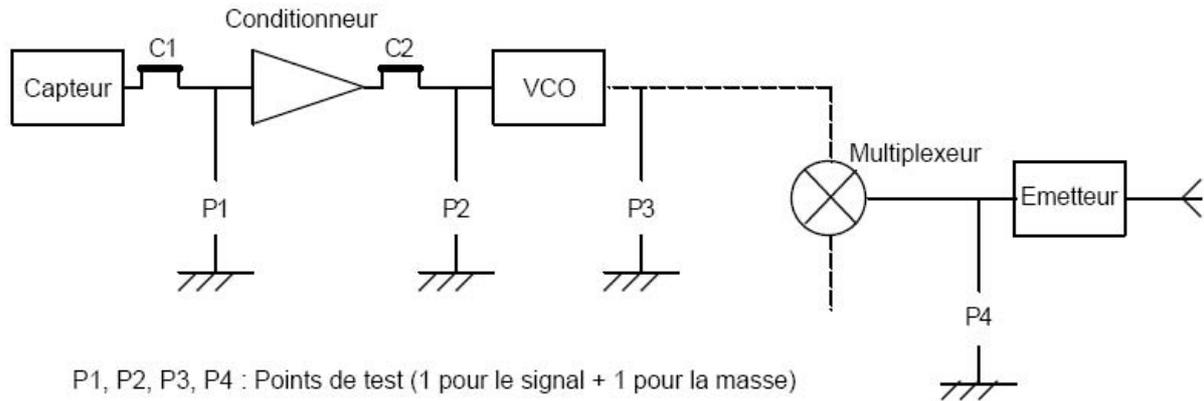
MES2 GN4

- **Autonomie du système**
Le système doit avoir une autonomie d'au moins 45 minutes.

TFC5 : Etre contrôlable facilement

IRIG1 TEL8

- **Présence de points de tests**
Entre chaque élément de la chaîne de télémessure : capteur, conditionneur, VCO, multiplexeur, émetteur.



P1, P2, P3, P4 : Points de test (1 pour le signal + 1 pour la masse)

C1, C2 : Cavaliers

Nota : le choix des cavaliers n'est pas imposé, à condition qu'ils soient remplacés par un système remplissant les mêmes fonctions

- Présence d'une interface contrôleur pour la mesure du TOS
Il faut une prise BNC entre l'émetteur et l'antenne et il faut pouvoir contrôler le TOS sans modifier la structure de la fusée.

TFC6 : Etre alimenté par des piles

- Type de courant
Les éléments doivent pouvoir être alimenté en courant continu
- Valeur de la tension
Les éléments doivent pouvoir être alimentés par une tension de l'ordre du volt

VFC1 : Résister aux contraintes de vol

VL6

- Etats des composants
Ils doivent pouvoir résister à une accélération supérieure à 200 m.s^{-2} .
Ils doivent être soudés sur les cartes électroniques.

VFC2 : Etre alimenté pendant toute la durée du vol

GN4

- Autonomie du système
Cf TFC3

VFC3 : Emettre un signal pouvant être reçu dans de bonnes conditions

IRIG2, 3, 4 MES2 TEL5, 6, 8

- Excursion en fréquence sur chaque voie IRIG
Elle doit être de $\pm 20\%$.
- Fréquences centrales des bandes IRIG
Elles doivent correspondre aux au tableau suivant :

	Fmin	Fcentrale	Fmax
Voie 1	320Hz	400 Hz	480 Hz
Voie 2	1040 Hz	1300 Hz	1560 Hz
Voie 3	3200 Hz	4000 Hz	4800 Hz
Voie 4	10400 Hz	13000 Hz	15600 Hz

- Amplitude des canaux IRIG
Ils doivent tous avoir la même amplitude à $\pm 10\%$.
- Tension d'alimentation de l'émetteur
Elle doit être comprise entre 8 et 15 V.
- Tension de modulation
Elle doit être comprise entre 0 et 5V.
- Puissance HF émise
Elle doit être supérieure à 150 mV
- TOS
Il doit être inférieur à 2.

GFC1 : Résister aux contraintes d'atterrissage

- Cf VFC1

E. Exigences de sûreté de fonctionnement

1. Fiabilité

Il n'y a pas d'exigence quantifiée car il s'agit d'un prototype. Cependant, le système réalisant l'un des objectifs du projet, une attention particulière sera portée sur ce point.

Il faudra notamment prévoir la réalisation de pièces de rechange en cas de défaillance, dans la mesure du budget et du temps disponible.

2. Maintenabilité

Tous les éléments devront être accessibles, et ceux qui seront potentiellement les plus susceptibles d'être défectueux devront respecter la fonction TFC7 (cf CdCF).

3. Sécurité

Conformément au Cahier des Charges imposé par planète science, la nocivité du système par rapport à son environnement devra être nulle.

F. Exigences concernant la conception et la production

1. Matériel à produire par le sous-traitant

Le matériel à fournir comprend la totalité de la chaîne de mesure et de transmission embarquée dans la fusée, ainsi que l'alimentation et l'interface, à l'exclusion de l'émetteur.

A savoir :

- Les capteurs
- Les conditionneurs
- Les VCO

- Le multiplexeur
- L'émetteur (fourni par l'AJSEP)
- Interrupteur
- Et tous les éléments assurant le maintien des éléments cités ci-dessus

Détails des exigences concernant le matériel à fournir :

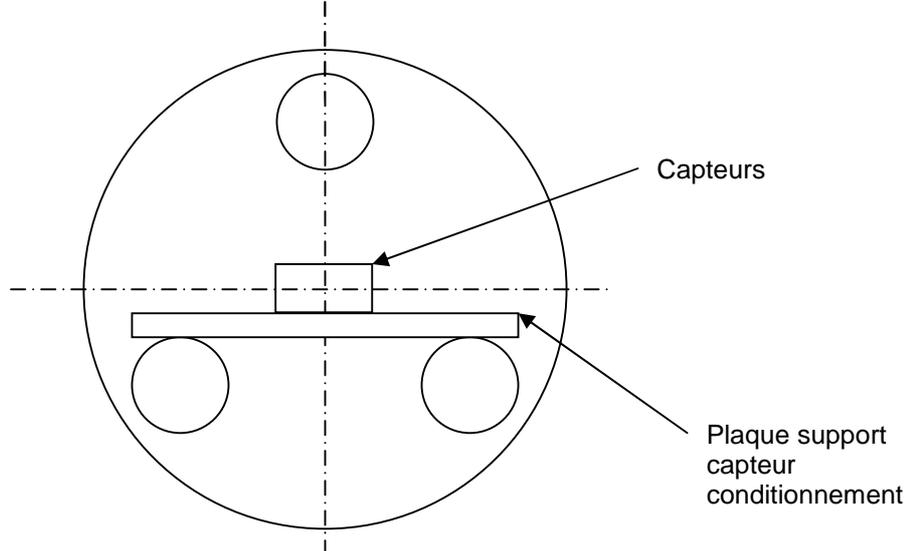
- Les capteurs et les conditionneurs

3 mesures d'accélération avec des accéléromètres suivant 3 axes :

- un suivant l'axe de la fusée
- deux perpendiculaires et dans un plan orthogonal à l'axe de la fusée

1 mesure de roulis avec un gyromètre suivant l'axe de la fusée

Ils seront soudés sur une même plaque, pour ce qui concerne les conditionneurs, l'accéléromètre suivant l'axe, l'accéléromètre dans le plan de la plaque et le gyromètre. L'accéléromètre selon l'axe de la fusée et le gyromètre devront pouvoir être placés sur l'axe de la fusée :



L'accéléromètre perpendiculaire au plan de la plaque sera fixé directement sur la plaque support.

Les capteurs et les conditionneurs seront définis par les caractéristiques des mesures suivantes :

	Valeur à mesurer	Fréquence du signal min	Fréquence du signal max
Accélération suivant l'axe de la fusée	$[-15 ; 200] \text{ m.s}^{-2}$		30 Hz
Accélération suivant les axes perpendiculaires à l'axe	$[-20 ; 20] \text{ m.s}^{-2}$		30 Hz
Roulis	$2\pi \text{ rad.s}^{-1}$	0,1 Hz	10 Hz

- les VCO et le multiplexeur

Ils seront aussi soudés sur une plaque.

Ils seront conformes à la norme utilisée lors des campagnes de Planète Science, c'est à dire qu'ils respecteront le standard IRIG à 20%.

- L'émetteur

Il s'agit d'un émetteur TOUCAN fourni par l'AJSEP.

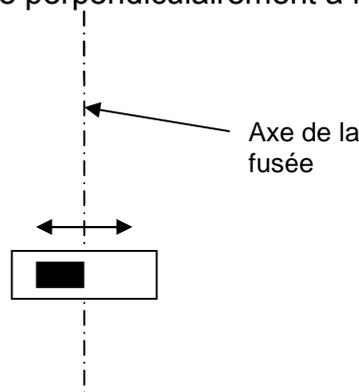
- L'antenne

L'interface avec l'émetteur s'effectuera par l'intermédiaire d'une prise BNC mâle sur l'antenne.

Elle n'est pas comprise dans le volume alloué au système de mesure et transmission. Par contre, **l'interface avec l'antenne est incluse dedans.**

- L'interface utilisateur

Elle est constituée d'un interrupteur 3 positions fixé directement sur la plaque supportant les capteurs et les conditionneurs. Il devra être implanté de telle façon que le basculement se fasse perpendiculairement à l'axe de la fusée :



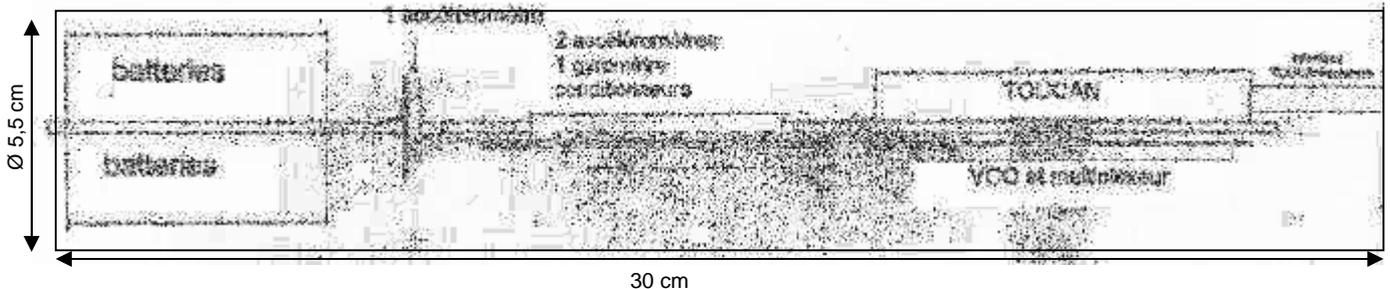
La fonction des positions doit être indiquée sur la plaque.

- Les piles

Elles doivent assurer la totalité de l'alimentation du système de mesure et transmission et ce pendant une durée suffisamment longue.

Vous ne devrez pas fournir les piles mais les modèles et quantités que nous devons acheter.

L'implantation des différents modules dans la fusée est précisée sur ce schéma :



Nota : cette implantation n'est pas définitive, elle vise juste à donner une idée de ce qui est demandé.

2. Solutions techniques interdites

Le choix des solutions techniques est laissé à l'entière appréciation du sous-traitant, dans le respect du CdCF et autres exigences spécifiées.

3. Composants normalisés à utiliser

Le système de transmission doit comprendre un émetteur TOUCAN fourni par l'AJSEP. Le reste est laissé au libre choix du sous-traitant.

4. Documents normatifs applicables

En cas de doute sur une spécification ou pour toute autre raison, se référer aux documents suivants fournis en annexe :

- CdC minifusée
- CdC expérience
- Norme IRIG

5. Interface assemblage

L'interface électrique entre les différents modules du système définis précédemment se fera avec des câblages types mini-nappe.

L'interface entre l'émetteur et l'antenne ont été définies ci-dessus.

L'interface mécanique entre les modules et l'ensemble de la fusée s'effectuera par fixation desdits modules sur une plaque support. La fixation proprement dite sera constituée d'un système avec boulon et entretoises.

G. Exigences concernant la qualification et l'acceptation

La justification des choix de conception et leur qualification se fera par l'intermédiaires de documents à fournir lors des différentes revues prévues dans le planning.

Documents à fournir lors de la revue de conception sous-système :

- Une définition détaillée du système de télémessure comprenant au moins :
 - Le schéma de câblage du système
 - Le schéma électrique
 - Le plan des différents modules avec les masses (y compris celle des piles), les dimensions des différents composants, les trous de fixation
 - La documentation technique des composants choisis et de tous les éléments normalisés
 - L'évaluation de la justification vis à vis de chacun des critères du cahier des charges, avec en particulier :
 - Une évaluation de la consommation du système et la caractéristique des piles (nombre, modèles, masse totale)
 - Une évaluation de la chaîne de mesure (défaut de linéarité, erreurs générée)
 - La méthode envisagée pour l'étalonnage des différentes voies de mesure
- Et tout autre document jugé nécessaire à la bonne appréhension du système.

Documents à fournir lors de la revue de qualification système :

- La définition détaillée du système de télémesure mise à jour comprenant les mêmes documents que pour la revue précédente
- La justification vis à vis de chacun des critères du cahier des charges, avec notamment :
 - Un compte rendu de mesure de la consommation
 - Un compte rendu de mesure des erreurs générées par la chaîne de mesure
 - Un compte rendu de l'étalonnage des différentes voies de mesure avec la méthode utilisée
 - Un compte rendu des mesures entre chaque élément de la chaîne de télémesure avec :
 - L'excursion en fréquence sur chaque voie IRIG
 - La fréquence centrale des bandes IRIG utilisées
 - L'amplitude des canaux IRIG
 - Un compte rendu des caractéristiques liées à l'émetteur :
 - Tension d'alimentation de l'émetteur
 - Tension de modulation
 - Puissance HF émise
 - TOS
- Un compte rendu sur le coût du système

Documents à fournir lors de la revue d'exploitation :

Un bilan du projet en soulignant les leçons positives ou négatives à tirer de cette expérience

- Sur le plan technique
- Sur l'organisation

ANNEXE 13

Spécifications du sous-système Parachute confié au lycée Sud Médoc

Présentation du sous-système

Les diverses situations de vie rencontrées par la minifusée sont les suivantes :

- Préparation au lancement
- Lancement
- Phase balistique
- **Récupération**

Le sous-système Parachute, inclus dans la situation de vie Récupération de la minifusée, est confié au lycée Sud Médoc. Le cahier des charges imposé par Planète Sciences impose une vitesse de descente de la minifusée comprise entre 10 et 15 m/s, ainsi que la résistance du parachute et de ses fixations.

Le rôle de nos sous-traitants de Sud Médoc est de fabriquer le parachute et ses fixations, conformément aux spécifications énoncées ci-après.

Matériel nécessaire à la fabrication du parachute

Le parachute est composé des 7 éléments suivants :

1 – La toile

- Rôle : opposer de la résistance à l'air
- Produit : « toile de parachute »
- Magasin : Mondial Tissu Villenave d'Ornon
- Fourniture : ENSAM

2 – Les œillets

- Rôle : assurer la solidité de la toile au niveau de l'attache des suspentes
- Produit : œillets en laiton nickelé avec jeu de pose
- diamètre : 6mm
- Magasin : Mondial Tissu Villenave d'Ornon
- Fourniture : ENSAM

3 – Les suspentes

- Rôle : tendre la toile et la relier à l'émerillon

- Produit : fil de nylon transparent Knorr Prandell
 - diamètre $\phi = 0,25$ mm
 - résistance 2,5 kg
 - longueur : 35 mm
- Magasin : Mondial Tissu Villenave d'Ornon
- Fourniture : ENSAM

4 – L'émerillon

- Rôle : point d'attache des suspentes et de la sangle
- Produit : anneau soudé en acier zingué
 - diamètre du fil $\phi = 4$ mm
 - diamètre intérieur $\phi = 30$ mm
- Magasin : Castorama Villenave d'Ornon
- Fourniture : ENSAM

5 – L'anneau anti-torche

- Rôle : empêcher l'enroulement des suspentes
- Produit : anneau $\phi 70$
 - l'anneau doit être percé de trous pour laisser passer les 8 suspentes
 - le diamètre de perçage est de 2mm maximum
 - matériau élastique (l'anneau anti-torche a un diamètre supérieur au corps de la fusée) laissé au choix du sous-traitant
 - l'élément choisit doit avoir une masse inférieure à 5g
- Fourniture : Lycée Sud-Médoc

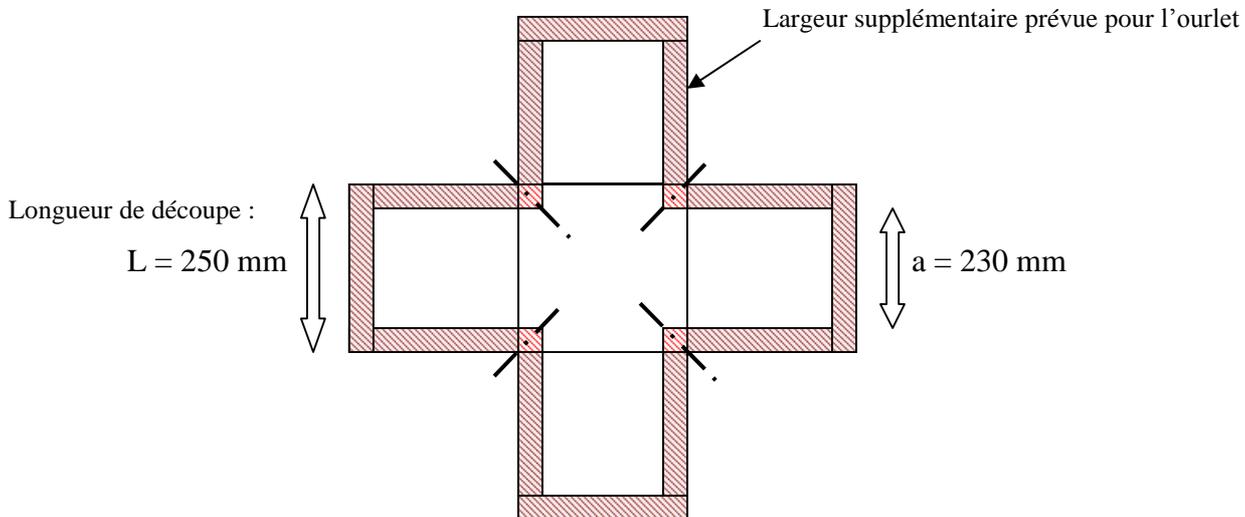
6 – La sangle

- Rôle : relier le parachute au corps de la fusée
- Produit : sangle d'arrimage en polypropylène
 - longueur : 52 cm
 - résistance : 250 kg
- Magasin : Castorama Villenave d'Ornon
- Fourniture : ENSAM

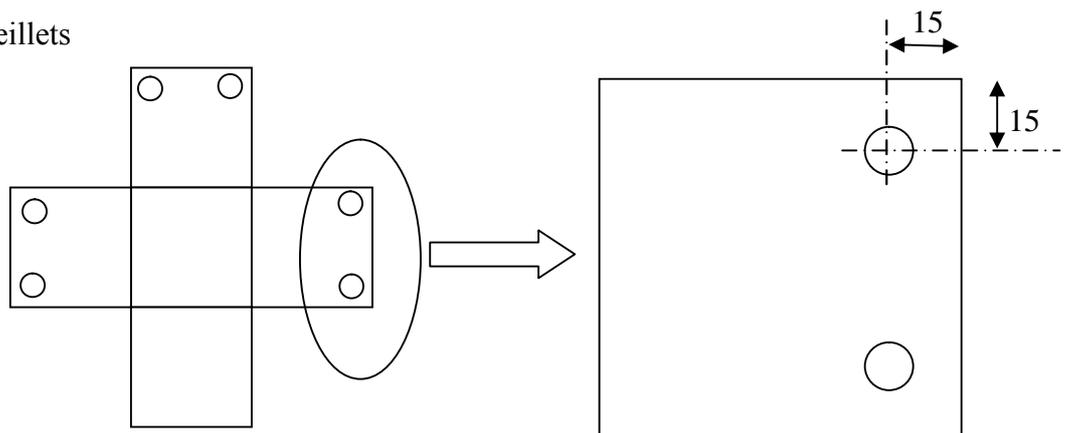
Détails de fabrication

Le parachute utilisé est cruciforme : il est composé de 5 carrés de côtés $a = 230$ mm.

- Découpe de la toile



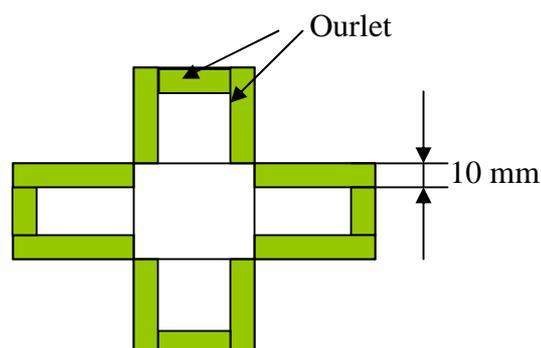
- Pose des œillets



Remarque : la pose des œillets se fait à l'aide d'un jeu de pose (petite plaque métallique bombée d'un côté et percée de l'autre) fournie avec les 8 œillets.

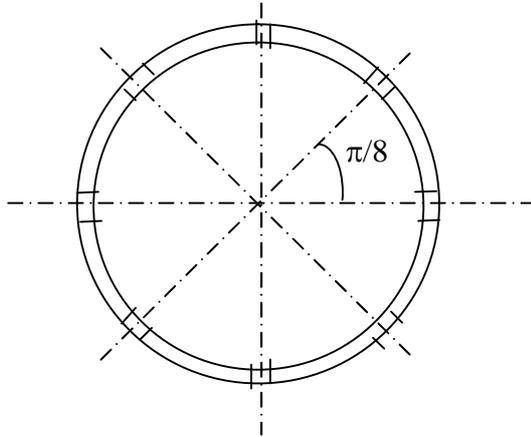
- Réalisation d'un ourlet

La toile de parachute a tendance à s'effiler sur les côtés. Pour limiter ce phénomène, on réalise un petit ourlet sur la toile à ce niveau.



Remarque : l'ourlet est cousu vers la surface intérieure du parachute

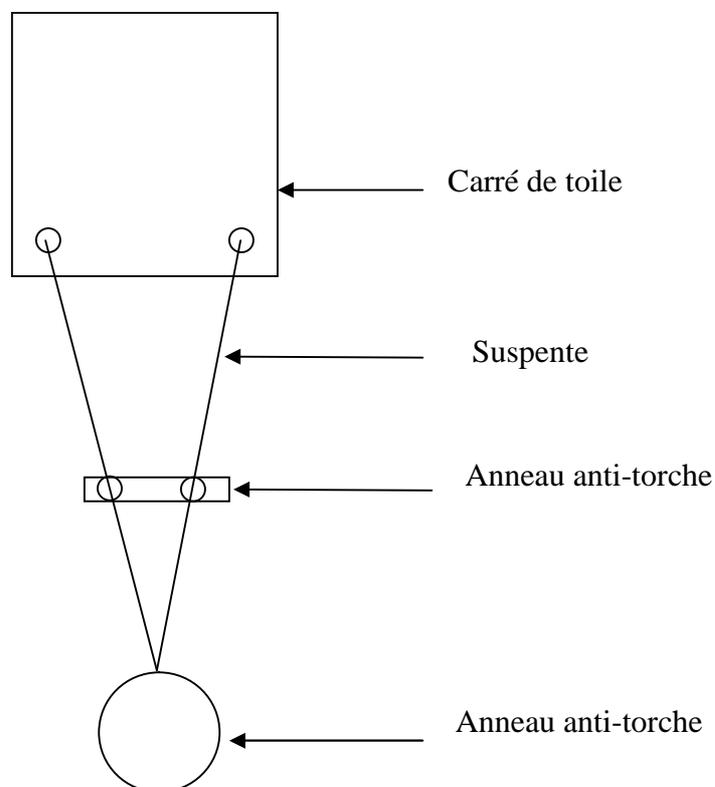
- Réalisation de l'anneau anti-torche :



Remarque : le diamètre de fil de l'anneau n'est pas très élevé, il est donc peut-être plus facile d'utiliser un anneau pré-percé ; il est aussi possible d'utiliser un anneau de type *Rilsan* puis d'effectuer le perçage

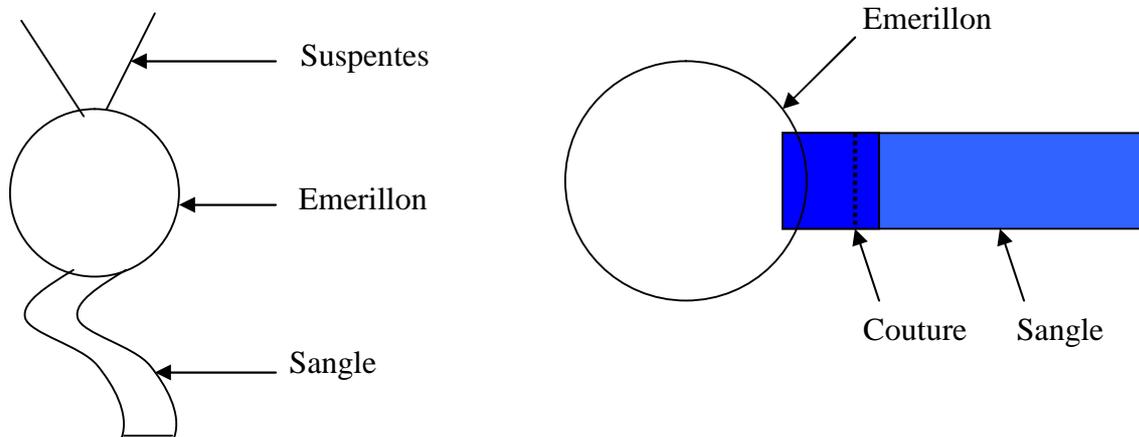
- Accrochage des suspentes

Chaque suspente est accrochée suivant le modèle suivant :



Remarque : Chaque suspente est fixée par un noeud à ses deux extrémités (une à la toile, l'autre à la suspente) et doit passer par un des 8 trous de l'anneau anti-torche. La suspente arrive par l'intérieur de l'anneau et ressort par l'extérieur.

- Fixation de la sangle



Remarque : La sangle est repliée sur l'anneau puis recousue sur elle-même. L'autre extrémité sera reliée au corps de la fusée.

Revue sous-système

- Revue d'objectif du sous-système
 - Date : 6 décembre 2005
 - Objectif : évaluation de l'aptitude du groupe à tenir les objectifs qu'ils se sont fixés dans le strict respect du cahier des charges
 - Documents à produire:
 - dessin de définition et matériau de l'anneau anti-torche
 - choix du tissu du biais
 - planning de fabrication du parachute (référence pour le projet)

- Revue de qualification du sous-système
 - Date : 14 mars 2005
 - Objectif : vérification du respect par le projet réalisé de chacun des critères du cahier des charges
 - Document à produire :
 - compte-rendu de fabrication avec problèmes rencontrés

- Revue d'exploitation système
 - Date : juin 2006
 - Objectif : capitalisation de l'expérience acquise
 - Documents à produire :
 - support de présentation de 10 mn maxi
 - rapport projet du sous-système parachute

Autres dates

22 novembre 2005 : remise du cahier des charges
13 décembre 2005 : remise des produits et des plans
25 mars 2005 : essais fusée complète
1^{er} mai 2005 : lancement de la minifusée

Contact

Mathieu PREVOTEAU
Responsable de la mise en œuvre du parachute
Résidence des Arts et Métiers
Allée Pierre de Coubertin
33400 TALENCE
06.26.24.91.01.
Mathieu.PREVOTEAU2@etudiants.ensam.fr



E.N.S.A.M. Bordeaux
Esplanade des Arts et Métiers
33405 Talence cedex

Projet Métier

- Même Pas Peur - Minifusée Expérimentale Multi Etablissements

Philippe BOISSEAU
Clément GUIGNARD
Cyril GUILLEMNIN
Virginie HAM
Gaspard HOUZIAUX
Nathalie LAHONDE

Responsables du projet :

Catherine GOETZ, Professeur ENSAM
Dominique SCARAVETTI, Professeur ENSAM
François BELLY, Professeur Lycée KASTLER
Christophe MAGNIERE, Ingénieur SNECMA, AJSEP
Patrice AUBIGNAC, Ingénieur SNECMA, AJSEP
Guy BONNELIE, Ingénieur SNECMA, AJSEP

Rapporteur du projet

Claude PHILIP, Professeur ENSAM

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé à la réussite de ce projet, et en particulier :

Les ingénieurs de la SNECMA : Patrice Aubignac, Guy Bonnelie, Christophe Magnière

Les enseignants : Mr Belly, Mr Couteberg, Mme Goetz, Mr Scaravetti,

Les techniciens : Mr Cavaller, Mr Ochsenhofer, Mr Zecchel

Les élèves : Morgane Besançon, Anthony Froger, Olivier, la classe de l'école de Cenon

ainsi que tous ceux qui y ont contribué de près ou de loin.

Résumé

"Même Pas Peur" est un projet de mini fusée expérimentale multi établissements, où Planète Sciences (via AJSEP) est le client, l'ENSAM est maître d'œuvre, et trois établissements de la région sont des sous-traitants. A travers ce travail collaboratif où l'esprit d'équipe est primordial, la notion de conduite de projet prend toute son ampleur dans la mesure où il s'agit en effet de concevoir et de réaliser la mini fusée en coordonnant es tâches des différents intervenants. Le challenge est également d'ordre scientifique et technique puisque la fusée embarque un système de mesures permettant de reconstituer sa trajectoire au cours du vol.

Mots-clés : mini fusée, conduite de projet, conception, fabrication, trajectographie 3D.

Summary

"Même pas peur" is a project of an experimental mini rocket made by several educational establishments. Planète Science (via AJSEP) is the customer, the ENSAM National Graduate School of Engineering is the project manager, and three educational schools of the region are the subcontractors. In this collaborative project where team work is essential, the concept of project supervision is prevalent. The purpose is to design and make the mini rocket, coordinating all the activities. The challenge is also both scientific and technical since a measuring system is embedded, in order to calculate the trajectory of the rocket during the flight.

Keywords : mini rocket, project supervision , design, making, trajectography 3D.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	4
INTRODUCTION.....	5
I. PRESENTATION GENERALE DU PROJET.....	5
I.1. ORGANIGRAMME.....	5
I.2. ORGANISATION DE L'EQUIPE.....	7
II. LES EXIGENCES DU PROJET	7
II.1. GESTION DES DOCUMENTS	7
II.2. PLANIFICATION	8
II.3. SOUS-TRAITANCE	9
II.4. ANALYSE DES RISQUES	10
II.5. PLAN B	12
III. ASPECTS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES	14
III.1. TRAJECTOGRAPHIE 3D	14
III.2. SOUS-SYSTEME RECUPERATION	16
III.3. COQUE ET SOUS ENSEMBLE.....	18
IV. EXPERIMENTATION ET EXPLOITATION	22
IV.1. PREVISIONS DE VOL	22
IV.2. VOL DE LA FUSEE.....	24
IV.3. RECONSTITUTION DE LA TRAJECTOIRE	25
V. APPORTS PERSONNELS ET BILAN.....	28
V.1. ANALYSES DES PROBLEMES.....	28
V.2. BILAN PAR RAPPORT AUX EXIGENCES DE DEPART.....	29
V.3. AVENIR POUR LES AUTRES PROJETS	29
CONCLUSION	30
BIBLIOGRAPHIE.....	31
GLOSSAIRE	32
INDEX	35
ANNEXES	36

INTRODUCTION

"Même Pas Peur" est un projet de mini fusée expérimentale multi établissements, où Planète Sciences (via AJSEP) est le client, l'ENSAM est maître d'œuvre, et les lycées Kastler (Talence), Sud Médoc (Le Taillan) ainsi que le collège Jean Zay (Cenon) sont des sous-traitants.

Le projet a démarré au premier semestre avec six élèves en projet métier qui ont mené à terme la phase de définition préliminaire. La revue de conception, à laquelle ont assisté les deux équipes au début du mois de février, marque le point de départ de notre travail.

Notre objectif a été de nous approprier le travail de l'équipe précédente afin de finaliser la conception, puis d'assurer la réalisation et l'intégration de la fusée qualifiée fin avril. Ce travail s'est achevé avec le tir de la fusée lors de la campagne régionale de Saintes samedi 6 mai 2006, suivi de l'exploitation des mesures.

La conduite de projet se situe au cœur même de ce travail collaboratif. C'est pourquoi nous présenterons l'organisation et les exigences auxquelles notre client nous a soumis avant d'aborder les aspects scientifiques et techniques du projet. Nous achèverons ce rapport par un bilan où nous tenterons de donner un avis critique sur notre travail et d'apporter des suggestions pour les projets similaires à venir. Mais avant toute chose, nous allons resituer plus en détail le projet dans son contexte ainsi que ses différents intervenants.

I. Présentation générale du projet

I.1. Organigramme

La particularité du projet « fusée » réside dans le fait que c'est un travail multi-établissements. Le travail se répartie en trois niveaux : les suiveurs AJSEP, l'ENSAM, les sous traitants, le tout étant supervisé par les enseignants.

Deux équipes de six élèves se sont succédées au cours de l'année, séparant globalement le travail entre la définition dans un premier temps et la réalisation en second lieu. Il est important de noter qu'il n'y a pas de discontinuité franche entre les travaux des deux équipes. Ainsi les premiers se sont confrontés à certains problèmes de fabrication alors que les seconds ont parfois dû préciser la définition au cours de l'avancement du travail.

La structure retenue est la suivante :

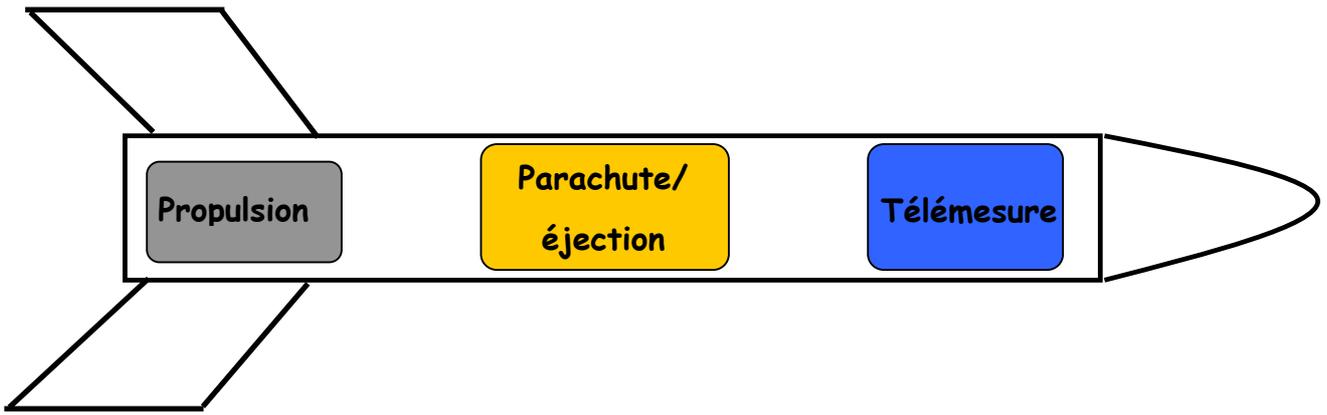


Figure 1 : Vue d'ensemble de la fusée

L'ensemble du travail effectué est cadré par les exigences du cahier des charges du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales). Il se répartit en une partie scientifique et technique et une partie associée à la gestion de projet (relations sous traitances, gestion documentaire, planning, analyse » de risques.

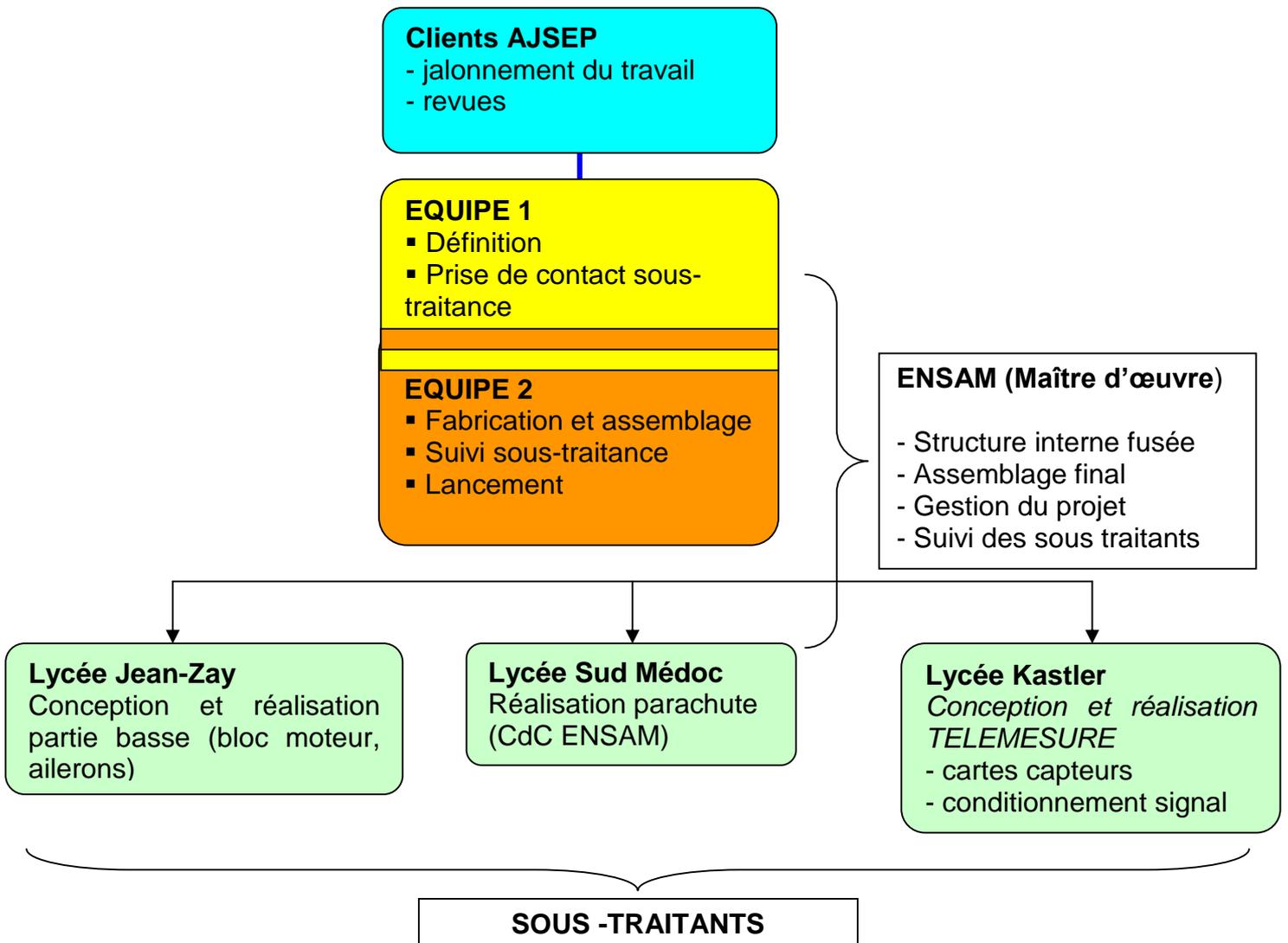


Figure 2 : Organigramme général

I.2. Organisation de l'équipe

L'organigramme suivant présente la répartition des tâches retenue à la prise en main du projet. Il a pour but de fixer les responsabilités de chacun au sein du projet mais bien entendu, il s'adapte aux exigences ponctuelles et aux variations de la charge de travail.

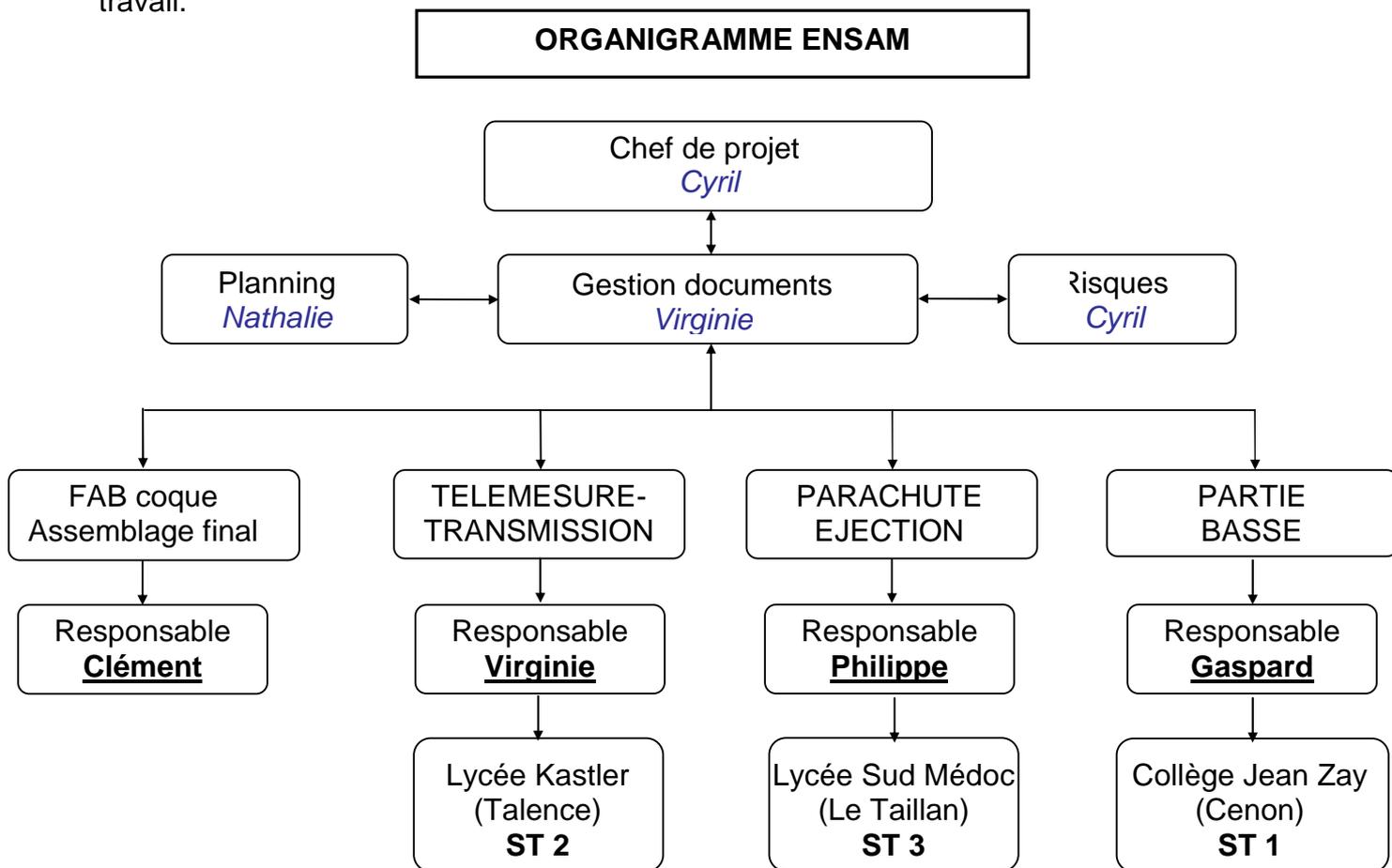


Figure 3 : Organigramme de l'équipe

II. Les exigences du projet

II.1. Gestion des documents

Quelque soit le projet concerné, une gestion des documents soignée est primordiale pour le bon déroulement de ce dernier. Cette gestion est d'autant plus délicate et difficile à mettre en oeuvre que le nombre d'intervenants est élevé et que la période de l'étude est longue.

Lors du "passage de relais" de l'équipe du premier semestre à la nôtre, nous nous sommes rapidement aperçu que de nombreux documents avaient été créés, et que certains d'entre eux existaient sous plusieurs versions différentes sans savoir lequel était le plus récent. En effet, aucune nomenclature situant l'ensemble des documents dans les différentes thématiques n'avait été créée.

Pour améliorer la gestion des documents, et sous les conseils avisés de notre client, nous avons décidé de mettre en place un document maître (voir en annexe 3) qui répertorie en sept thématiques les principaux documents utilisés lors de ce projet et disponibles en version numérique :

1. Analyse des risques
2. Comptes rendus sous-ensembles

3. Définition détaillée
4. Dossier justificatif
5. Planning
6. Caractéristiques du vol
7. Autres documents

Chaque document est décrit par trois caractéristiques : sa désignation (intitulé exact du fichier suivi de son extension : 1.0 pour un document créé par l'équipe 1, 2.0 pour un document créé par l'équipe 2) ; sa description (détail du contenu) ; et sa date de modification/création.

Bien que ce travail requiert du temps, il permet d'être beaucoup plus lisible pour quelqu'un qui n'a pas travaillé sur le projet et qui souhaite reprendre notre travail, mais aussi de réaliser un gain de temps non négligeable dès lors que l'on souhaite trouver une information contenue dans l'un des documents répertoriés.

II.2. Planification

L'avancement du projet est jalonné par des revues encadrées par notre client (voir en annexe 4 "Cadrage Planning du Projet"), revues au cours desquelles nous devons rendre compte de l'avancé de notre travail et le rassurer sur le bon déroulement du projet et le respect des délais.

Pour gérer le projet dans son ensemble, il nous a fallu établir différents plannings à l'aide du logiciel Microsoft Project : un par sous-traitant et un planning général. Pour établir les plannings avec les sous-traitant et afin que ceux-ci servent de référence pour le projet, certaines règles devaient être respectées : le planning proposé par l'ENSAM devait être accepté par le sous-traitant, débiter avec la remise du glossaire par les étudiants ENSAM et finir à la remise du matériel de vol par le sous-traitant. Une copie des versions finales de ces plannings est fournie en annexe 4.

Au moment de la prise en main par notre équipe, nos prédécesseurs avaient validé la phase de définition préliminaire lors de la revue d'objectif système, mais quelques retouches étaient nécessaires pour valider la revue de conception.

Le planning comparatif joint en annexe 4 présente les dates clé du projet.

Rapidement, on s'est rendu compte qu'un retard avait été accumulé au premier semestre par rapport au planning initial.

Notre première action a donc été de remettre à jour la planification. Toute la difficulté résidait à établir un planning réaliste au vu des nombreuses tâches à réaliser avant notre date butoir du 6 mai (campagne régionale) tout en tenant compte des disponibilités de chacun (vacances de février et de pâques).

Dans certains cas (sous-traitance de la partie basse avec le collègue Jean Zay), il nous a fallu réviser le CDC en allégeant la charge de travail afin de respecter les délais.

Les sous-traitants ont adopté une attitude différente les uns des autres vis-à-vis du planning :

- Lors de la prise en main par notre équipe, les étudiants de Kastler ont explicitement réclamé un encadrement moins flou de la part de l'ENSAM. De plus (et il s'agit sous doute d'une conséquence de ce qui vient d'être dit), la partie télémessure avait accumulé à elle seule un sérieux retard. Ainsi, cette sous-traitance a nécessité un suivi fréquent et régulier : un planning serré et précis a donc été indispensable

- Morgane, la lycéenne de Sud Médoc, était complètement autonome depuis le début du projet : seul un suivi global a été nécessaire
- Le collège Jean Zay travaillait à son propre rythme, le planning pour ce sous-traitant s'est avéré complètement inutile.

II.3. Sous-traitance

a. Sous-traitance Kastler

Une expérience sur la trajectoire de la fusée est embarquée dans la partie haute de la fusée. Le rôle du lycée Kastler est d'assurer la réalisation du dispositif nécessaire à l'expérience en accord avec le cahier des charges.

- Il a fallu redéfinir le cahier des charges qui manquait de précision sur le dimensionnement des cartes électroniques à réaliser.
- La remise du cahier des charges s'est effectuée au plus vite ainsi que l'explication du travail attendu, du respect des délais et de la qualification du travail réalisé par leur professeur, Mr Belly.
- Un suivi intense a été plus que nécessaire : par téléphone, mail et visites fréquentes au lycée : il a conduit à une remise partielle du travail demandé.
- Problèmes : peu de motivation, abandon de deux étudiants sur trois, grève du lycée, manque de temps dû à la remise tardive du cahier des charges définitif et du planning (contact normalement établi depuis le 1er semestre).

b. Sous-traitance Sud Médoc

Pour pouvoir être lancée, notre fusée doit être munie d'un moyen de récupération type parachute. Ce parachute doit correspondre à certains critères techniques. Il a été réalisé au sein du club *AJSEP* par une élève du lycée Sud Médoc.

Nous allons expliquer ici les conditions de sous-traitance dans lesquelles a été réalisé ce système :

- Sous-traitant :

Nous avons travaillé avec Morgane Besançon, élève en première scientifique au Lycée Sud Médoc du Taillan.

La première équipe en charge de la conception de la fusée a rédigé le cahier des charges de ce sous-système parachute en fonction des critères énoncés par le CDC global ; exemple : les dimensions de la toile doivent être calculées en fonction d'une vitesse de descente imposée. Ce cahier des charges a ensuite été remis à Morgane pour la réalisation du parachute.

- Réalisation

Le suivi de la réalisation a consisté à prendre connaissance de l'état d'avancement du parachute par rapport au planning fixé par le sous-traitant et de confirmer les choix techniques du cahier des charges. Un rôle important lui a aussi été confié en lui laissant le choix du matériau de l'anneau anti-torche.

La réalisation de ce parachute a été une réussite sur le point de vue technique (respect du cahier des charges et des délais). Le seul point négatif à noter a été la difficulté de communication avec Morgane, déjà très occupée par ses cours.

c. Sous-traitance Jean Zay

Le collège Jean Zay a été choisi pour réaliser les pièces suivantes :

- Ailerons avec logement moteur et centrage.
- Supports en X pour manutention de la fusée

- Proposition de décoration sur tube PVC puis peinture de la fusée.
- Caisse de transport pour la fusée.

Il lui revient aussi le choix du nom de la fusée et l'impression des logos.

La prise de contact fut facile au premier abord. Mais le respect du cahier des charges et le rendu de documents papiers furent particulièrement laborieux, nécessitant une constante négociation avec le sous-traitant.

Les supports en X ont été réalisés et fournis dans les temps. Les ailerons ont été remis dans les temps mais le centrage n'était pas réalisé et le jeu de 1mm pour le logement moteur n'était pas existant. Il nous a donc fallu les ré usiner à l'ENSAM.

Le nom et les autocollants ont été respectivement trouvés et réalisés de façon très satisfaisante. Malheureusement la caisse n'a pas été réalisée et un problème de communication n'a pas permis de l'anticiper.

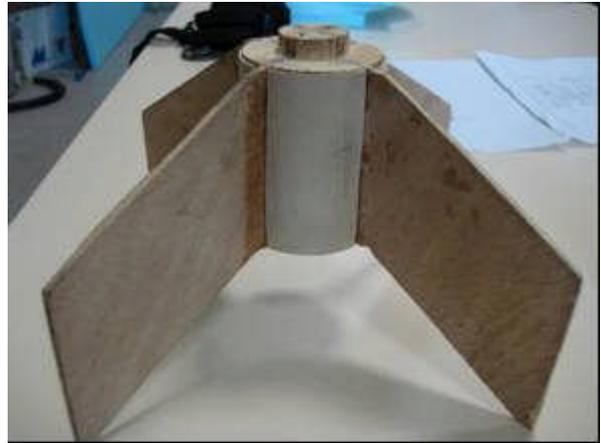


Illustration 1 : Vue des ailerons

II.4. Analyse des risques

La gestion des risques au niveau de l'équipe 2 a surtout consisté en l'application de l'analyse effectuée par la première équipe. En effet, il avait été produit les documents suivants :

- matrice des contraintes : classe l'ensemble des risques, les décrit et y associe une personne responsable de sa gestion
- fiches de risques associés : proposent une évaluation du niveau de risque, une hiérarchisation ainsi qu'un plan d'action

Le tableau ci-dessus permet de situer les risques et ainsi attribuer une attention plus ou moins importante en fonction de la situation :

		Probabilité		
		3	2	1
Gravité	1	A31 A32 A35		
	2	A34	A33	
	3			

Tableau 1 : Grille de criticité

Ce travail préliminaire d'analyse a donc associé des risques potentiels aux objectifs du projet :

Voici donc notre analyse après le lancement de la fusée. Certaines mesures complémentaires ont été prises par rapport à l'analyse. D'autres part, certains risques sont envisagés sont apparus

OBJECTIFS

A. : Faire décoller la fusée début mai à Saintes

A1 : Non respect des jalons

Etat : rencontré pour le lycée Kastler, et le lycée Jean Zay.

Mesures : allègement du Cahier des Charges de Jean Zay : la décoration devient à la charge de l'ENSAM. Réalisation d'une partie des cartes électroniques à l'ENSAM

A2 : On échoue lors de la qualification finale

Etat : non rencontré

Mesure : la préqualification effectuée à J-7 a permis de préparer cette étape.

A3 : On n'arrive pas à l'heure à Saintes

Etat : non rencontré

A4 : La fusée est abîmée pendant le transport

Etat : la boîte de transport n'a finalement pas été faite par Jean Zay

Mesure : pas le temps de mettre en place une solution de rechange la veille du lancement. Seule une extrême précaution a permis de préserver la fusée.

RISQUE non prévu

A5 : Arrêt du lancement en cours de procédure

Etat : rencontré

Mesure : attente, maintien de la fusée en état: arrêt des débits énergétiques, fusée laissée sur rampe pour éviter toute manipulation

B. Acquérir les résultats expérimentaux du vol

Grande difficulté à tenir cet objectif en raison des soucis rencontrés avec la partie télémétrie

Situation avant décollage : les cartes n'ont pas été testées et amenées jusqu'à optimisation.. Les cartes n'ont pas été étalonnées. Le manque de temps n'a pas permis de charger dans la fusée une l'électronique permettant de réaliser l'exploitation dans les meilleures conditions.

Mesures : des modifications de type « bricolage » ont permis de lancer la fusée avec une modulation et 4 voies issues des capteurs. Un travail au moment de l'exploitation pourrait permettre de faire des offsets, des calculs de gains sous réserve de l'état de l'électronique après impact. Ceci ne sera pas fait pour des raisons de temps : mise en place d'une procédure sur pot vibrant, système d'acquisition ...Aucune action n'a permis de s'attendre à des résultats fiables à 100% avant décollage.

B1 : Panne du système de mesure

Etat : rencontré pendant la qualification

Mesure : réparation sur site de lancement, tests au voltmètre et à l'oscilloscope, soudures...

B2 : Problème du système d'émission/réception

Etat : Non rencontré : camion de réception en état de fonctionnement.

B3 : Problèmes de transmission (émission/réception)

Etat : rencontré pendant la qualification

Mesure : réparation sur site de lancement, tests au voltmètre et à l'oscilloscope, soudures

REM : La partie télémessure n'était une condition nécessaire au lancement. Les vérifications avaient pour objectif le fonctionnement de l'expérience embarquée.

C. Fournir un rapport d'exploitation

C1 : Pas d'exploitation possible

Etat : rencontré partiellement en raison du manque d'aboutissement dans la partie électronique

Mesures : travailler sur les données en prenant en considération leur fiabilité, évacuer certaines données inexploitable.

C2 : Problème du système d'enregistrement

Etat : Non rencontré. Organisation du travail pour respecter les délais, pas de pannes techniques lourdes rencontrées.

D. Récupérer la fusée intacte après atterrissage

D1 : Perte de la fusée dans l'environnement

Etat : non rencontré

Mesure : fusée en visuel durant tout le vol. Zone d'atterrissage accessible

D2 : Fusée endommagée pendant le vol ou l'atterrissage

Etat : en partie rencontré : l'ogive a rompu et ainsi l'absorbé l'énergie du choc. L'ensemble du reste de la fusée est intact, y compris les parties internes et l'électronique.

E. Travail en équipe et multi établissement

E1 : Mauvais travail en équipe

Etat : non rencontré, l'organisation de l'équipe responsabilise un membre par sous traitant.

E2 : Mauvais travail avec les établissements sous-traitants

Etat : en partie rencontré.

Causes : les capacités des sous traitants ne sont pas toujours en adéquation avec les exigences du projet. Non respect des cahiers des charges et jalons imposés. Définitions gelées transmises tardivement limitant ainsi les marges de manœuvre en termes de délais. Parfois, suivi trop lointain de notre part : une participation des jeunes dans la globalité du projet (revues avec clients, visites à l'ENSAM...) aurait permis une meilleure implication.

Mesures : allègement des exigences, renforcement du suivi par multiplication des rencontres et appels. Suppression des degrés de libertés laissés dans la définition.

RISQUE non prévu

E3 : Arrêt total de l'activité d'un sous-traitant.

Etat : rencontré au lycée Kastler en raison d'une grève prolongé des élèves.

Mesure d'urgence : réalisation des cartes par le technicien électronicien de l'ENSAM.

II.5. Plan B

a. Intérêt d'un plan B

Nos clients nous ont demandé à la revue de justification d'étudier un plan B, autrement dit un plan de rechange qui permet de lancer une fusée aux performances minimales.

Lorsque nous avons mis en place la production de la fusée, nous avons eu, à plusieurs reprises, l'illusion d'avoir déjà en notre possession les pièces. Une fois que les plans sont dessinés, que nous sommes dans le respect du planning et que les rendez-vous avec les techniciens sont fixés, nous étions à même de penser que la pièce allait être réalisée comme prévu. Cependant des aléas peuvent avoir lieu, par exemple : un pré usinage à faire pour que la pièce soit adaptée aux morts de la machine, la non disponibilité des machines, la réalisation de fichier .dxf pour la machine à commande numérique...

La pièce qui a demandé le plus de travail de fabrication est la coque composite de la fusée et c'est cette partie de la fusée qui a nécessité la réflexion sur un plan B. Le plan B est indispensable pour respecter l'échéance ultime prévue le samedi 6 Mai 2006 (la revue de qualification pour le décollage de la fusée).

b. Elaboration du plan B

Dans un premier temps, il est nécessaire de se fixer une date de mise en place de ce plan de secours : le 8 Avril 2006. Si à cette date limite nous ne sommes pas en possession de la coque en composites, nous basculons sur le plan B.

L'idée initiale retenue est celle d'un corps en PVC avec une ogive rapportée (ogive en mousse). Avec ces nouvelles contraintes nous sommes réduits à des allègements internes. Nous avons étudié les éléments compressibles (ceux que nous pouvons réduire dans un souci de respect de la masse) et les éléments que nous pouvons supprimer. Sachant que certains éléments ne sont pas modifiables car ils sont indispensables pour le cahier des charges.

La conclusion de cette étude (cf. Annexe 6) montre que nous pouvons réduire la longueur de la fusée, car nous pouvons supprimer la partie Télémessure. Celle-ci n'est pas indispensable pour obtenir l'autorisation de tir. Et comme cette partie constitue un tout, il n'est pas envisageable de repenser une conception allégée de certains éléments. Le tube PVC adopté pour soustraire le tube en composite est un tube issu du commerce de diamètre extérieur 63 mm et d'épaisseur 3mm. Ce tube permet de conserver la structure interne (tige+étage)

c. Validation du plan B

Afin de vérifier si le plan B correspond aux exigences fixées par le cahier des charges, nous effectuons un nouveau bilan de masse. Si nous conservons la géométrie initiale de la fusée, nous obtenons une masse de 2183 g, et ceci aurait pour conséquence la non validation de notre fusée à la qualification (TRAJEC nous dit que si la fusée est trop lourde, elle a une vitesse trop faible en sortie de rampe et elle présente donc un danger). Il est alors indispensable de réduire la longueur de la fusée (suppression de la partie Télémessure et de l'antenne). Avec la longueur réduite de la fusée, nous remarquons un gain de plus de 500 g par rapport au plan A.

Nous observons, avec une nouvelle simulation TRAJEC de la fusée, muni du plan B, que la fusée répond bien aux critères imposés pour la qualification d'une mini fusée.

d. Activation du plan B

Il s'agit en partie d'un retour en arrière dans la mesure où le plan B est réalisé en parallèle avec le premier tirage de la coque composite et est terminé pour la revue de pré qualification.

Le tube PVC choisi est de la descente de gouttière. Ce tube est plus fin (1mm d'épaisseur) que celui que l'on peut trouver dans les magasins de bricolage (3mm).

Il est coupé à la longueur de 980 mm et une ouverture est réalisée au niveau de la partie parachute de la fusée. Une porte est découpée dans un autre élément de tube et ajustée afin de permettre l'obstruction de l'ouverture précédemment réalisée dans la coque. La porte doit être maintenue en place mais ne doit pas être collée. Un système de languettes est utilisé. Ces languettes sont collées sur une de leur moitié à l'intérieur de la coque avec de la colle Araldite, l'autre moitié servant d'appui à la porte.

Deux ouvertures sont réalisées pour accéder aux interrupteurs de la partie télémétrie, et une troisième pour accéder aux commandes d'ouverture de la porte pour l'éjection du parachute.

L'ogive est usinée (tour conventionnel) en mousse dense, cela permet de la travailler comme du bois mais plus facilement, et d'obtenir quelque chose de très léger. Elle est tournée en forme ogivale, puis est percée de part en part afin de laisser passer l'antenne. Elle est ensuite mastiquée puis poncée afin de la protéger des chocs et d'obtenir un état de surface régulier.

III. Aspects scientifiques et techniques

III.1. Trajectographie 3D

Un système de télémétrie est embarqué à bord de la fusée afin de reconstituer la trajectoire au cours du vol. Cette partie regroupe trois cartes électroniques comportant quatre capteurs nécessaires à la reconstruction de la trajectoire.

Afin de reconstituer la trajectoire de la fusée, nous devons récupérer lors du vol les valeurs d'accélération sur les axes x, y, z (z : axe de la fusée). Pour cela nous placerons trois accéléromètres, un dans chaque direction, sur les cartes électroniques. De même, nous récupérerons les valeurs du roulis en plaçant un gyromètre selon l'axe de la fusée.

Le système de télémétrie est donc constitué des composants suivants :

1. Carte Capteur : comportant accéléromètres sur y et z + gyromètre
2. carte VCO : comportant le système de Modulation
3. Carte libre : comportant accéléromètre sur x
4. Système d'Emission : un émetteur Toucan
5. Système d'alimentation : piles (2 jeux séparé cartes/émetteur)
6. 2 Interrupteurs : interface utilisateur

Les cartes électroniques, les piles et l'émetteur ont été câblés entre eux à l'aide du schéma de câblage mis en annexe 7 et sont reliés comme sur le schéma suivant :

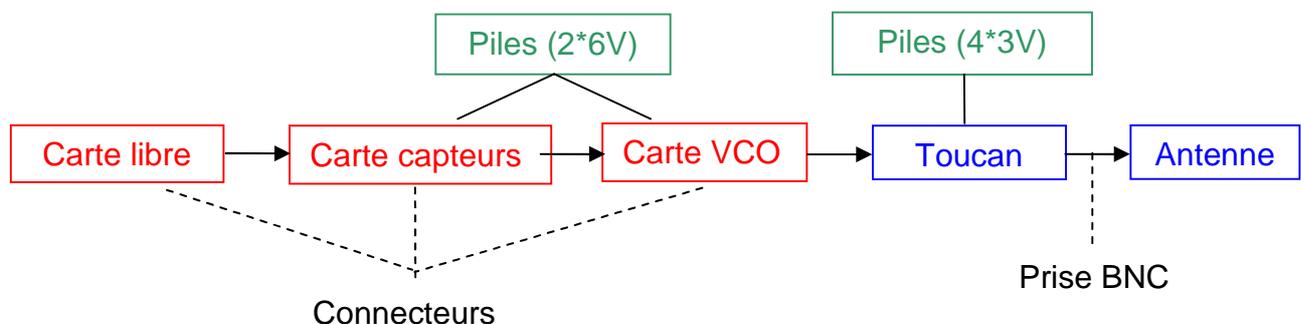


Figure 4 : Vue d'ensemble de la partie télémétrie

L'émetteur est relié à l'antenne par une prise BNC.

- Même Pas Peur -

Les cartes ont été dimensionnées de sorte qu'elles soient les moins encombrantes possible (passage entre les tiges de carbone, gain en longueur et en masse). Le CDC spécifiait que la partie télémessure devait pouvoir être insérée dans un espace de 30 cm de long et une masse ne devant pas excéder 285g. Au final, après optimisation elles pèsent 177g pour une longueur du compartiment télémessure de 22,5cm, ce qui équivaut à un gain en masse non négligeable.

Elles ont été ensuite vissées sur une plaque support en époxy.

Les piles ont été reliées à des connecteurs sur les cartes pour pouvoir les changer aisément.

Il y avait séparément un jeu de piles et un interrupteur pour alimenter d'une part l'émetteur et d'autre part les cartes électroniques. Les piles devaient alimenter pendant au moins 45 minutes en 12V le Toucan et les cartes.

Les trois cartes : VCO, Capteurs et Libre ont été disposées ainsi dans le corps de la fusée :

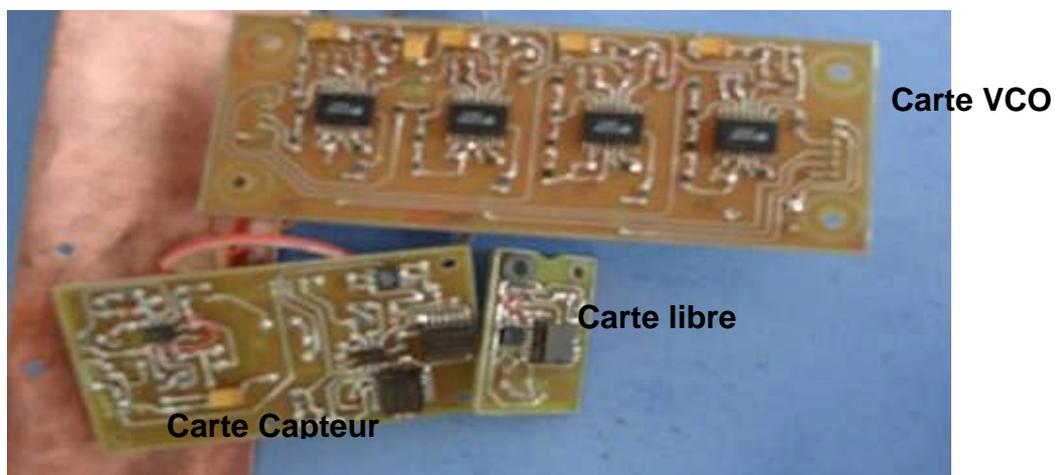


Illustration 2 : Photos des trois cartes : VCO, Capteur et Libre

Le lycée sous traitant devait nous fournir le matériel suivant :

- Les schémas des cartes électroniques et du câblage général
- Les 3 cartes électroniques testées
- 2 Interrupteurs (1 pour les cartes / 1 pour l'émetteur)
- Et tous les éléments assurant le maintien des éléments cités ci-dessus

Il comprend la totalité de la chaîne de mesure et de transmission embarquée dans la fusée, ainsi que l'alimentation et l'interface, à l'exclusion de l'émetteur.

En raison des problèmes de sous traitance rencontrés, il nous a été remis par Kastler :

- Les schémas des cartes électroniques et de câblage
- la carte VCO

Le système télémessure après test respectait les contraintes fixées par le CNES pour pouvoir donner des résultats durant le lancement, recepcionnables par le camion du CNES. (Cf annexes 8).

La partie télémessure embarquée était donc insérée comme ceci au moment du décollage :

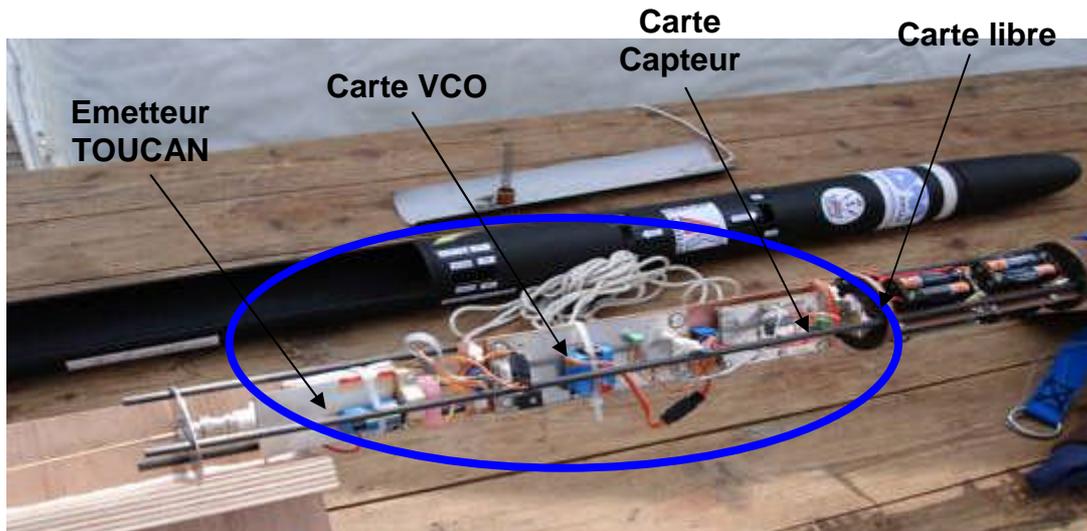


Illustration 3 : Partie télémétrie de la fusée

III.2. Sous-système récupération

La fusée doit être munie d'un système de récupération type parachute. Le sous-système récupération est constitué du parachute et de la partie éjection. Cette dernière correspond à l'ensemble des systèmes d'ouverture et d'éjection de la trappe parachute.

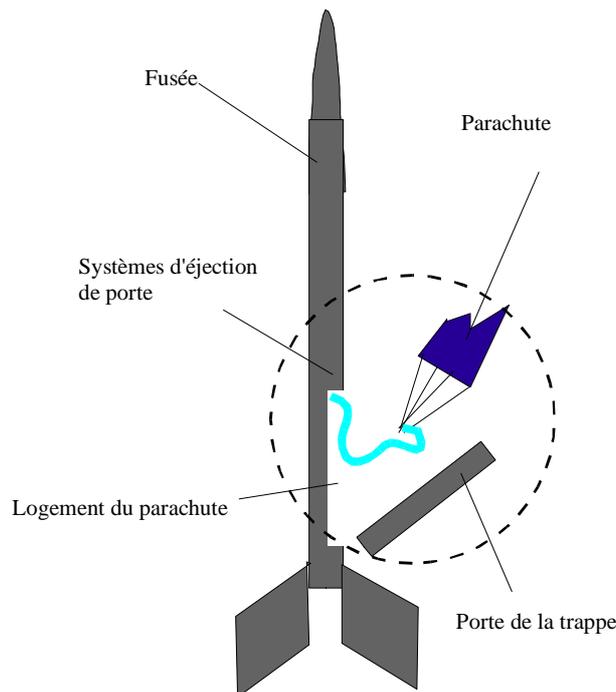


Figure 5 : Schéma explicatif du sous-système récupération

1. Le parachute

La conception du parachute a été réalisée par la première équipe et la réalisation confiée à Morgane Besançon du lycée Sud Médoc.

De forme cruciforme, ce parachute doit respecter les spécifications du cahier des charges :

Par exemple, un élément conditionnant l'efficacité d'un parachute est la capacité des suspentes à ne pas s'emmêler ; c'est pourquoi un anneau anti torche a été conçu. Il a

été réalisé par Morgane en matériau plastique pour pouvoir se déformer et se loger facilement dans le corps de la fusée.



Illustration 4 : Photo de l'anneau anti-torche

Dans le respect des procédures, nous avons donc réalisé un essai de qualification avec Morgane. Cet essai visait à qualifier la résistance à l'ouverture du système en le soumettant à un effort deux fois supérieur à la force résultante à l'ouverture du parachute. Il a été réalisé avec succès, le parachute a donc été qualifié.

2. Le mécanisme d'éjection de la porte parachute

Pour pouvoir utiliser le parachute, il a fallu intégrer une porte latérale au corps de la fusée, ainsi qu'un mécanisme d'éjection de celle-ci qui se déclenche à culmination de la fusée.

Pour cela, un travail de conception sous logiciel CATIA a été lancé pour pouvoir intégrer les composants constituant la solution technique. Ces composants sont :

- Un servomoteur
- Un système de loquet de porte
- Une carte électronique de commande du servomoteur
- Des batteries (que l'on change juste avant le vol).
- Un ressort et son logement pour éjecter la porte et le parachute.

Pour mieux comprendre le fonctionnement de ce système, voici une vue éclatée du mécanisme d'éjection.

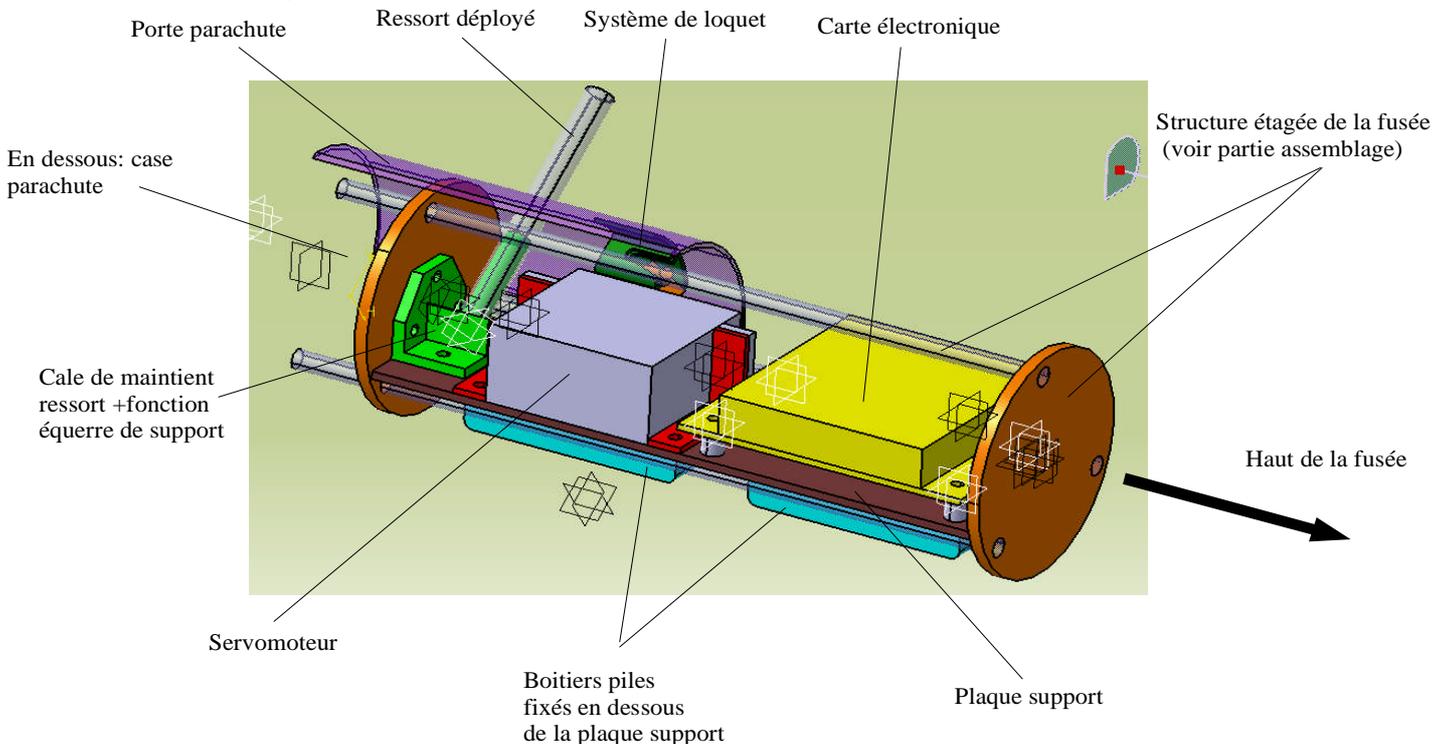


Figure 6 : Vue éclatée du mécanisme d'éjection parachute

3. Chronologie du vol

- Même Pas Peur -

- décollage : la carte électronique est alimentée, prête à fonctionner. Une prise jack reliée mécaniquement au sol va détecter, par ouverture du circuit, le t_0 du décollage
- la carte électronique lance la procédure de temporisation ($t=t$ culmination de la fusée)
- lorsque le temps t_c de culmination est atteint, la carte donne l'ordre au servomoteur de pivoter afin de laisser la porte libre de s'ouvrir
- un ressort comprimé lors de la mise en place de la porte va aider la porte à être éjectée et à entraîner le parachute à l'extérieur du corps de la fusée.

Pour valider ces choix de conception et après réalisation de la fusée, des essais de déploiement du parachute ont été réalisés.

Un système de parachute de ce type a (par expérience des différentes campagnes de tir AJSEP) 70 % de chance de ne pas fonctionner. Nous avons recréé les conditions du vol en tenant la fusée à l'extérieur d'une voiture roulant à la vitesse à la culmination (environ 40 km/h et donné par la simulation Trajec) et en déclenchant l'ouverture. Par cette simulation « in vivo » nous avons donc visualisé l'ouverture et le déploiement du parachute.



Illustration 5 : Essai du parachute à côté de la voiture

Lors du vol réel de la fusée, l'ensemble du sous-système récupération a parfaitement fonctionné puisque nous avons constaté le déploiement du parachute au bout du temps de culmination (7s).

III.3. Coque et sous ensemble

La définition de la première équipe prévoyait une coque en composite afin de minimiser le poids de la fusée et d'obtenir une structure suffisamment résistante pour supporter le choc à l'atterrissage. Après étude des caractéristiques de vol sous Trajec, il est décidé de réaliser l'ogive en composite et de la lier à la coque avant de réaliser le moule.

La fibre de carbone, envisagée dans un premier temps, a du être écartée car elle crée des problèmes de compatibilité électromagnétique avec la partie télémétrie. Le matériau adopté est donc la fibre de verre en deux couches enduites de résine époxy.

La fabrication commence par la construction de la pièce maîtresse (première pièce servant à faire le moule, à différencier des prototypes qui sont les premiers tirages du moule). Deux options sont alors envisageables :

- soit utiliser une tige de vérin en la recouvrant de fibre de verre (diamètre intérieur fixé) mais cela ne garantit pas l'état de surface externe ;
- ou réaliser une pièce maîtresse de la forme de la fusée puis un moule en deux parties permettant de garantir l'état de surface externe.

La solution retenue est la réalisation de la pièce maîtresse et d'un moule permettant de réaliser deux demi coques assemblables après démoulage à l'aide de languettes en composite enduites de résine.

a. Réalisation de la pièce maîtresse

La pièce maîtresse correspond à la coque de la fusée avec l'ogive.

La solution initialement envisagée, à savoir un tube d'aluminium avec une ogive en aluminium s'est avérée être particulièrement compliquée à mettre en œuvre. En effet le tube d'aluminium doit être ré usiné pour atteindre la cote externe de la coque (63mm), or nous ne disposons pas de machines suffisamment fines pour avoir un état de surface permettant un démoulage aisé de la pièce maîtresse. L'avantage de cette solution est qu'elle permet de maîtriser exactement les cotes et la rectitude du tube aluminium. En effet, la réalisation d'une ogive nécessite un déplacement paramétré, mais non régulier, de l'outil suivant deux axes simultanément. Cette manutention n'est pas réalisable en machine conventionnelle car les mouvements de l'outil sont réalisés manuellement. Du fait de cette cote non normalisée (63mm) l'utilisation du tube PVC s'impose d'elle-même car étant celle qui nécessite le moins d'usinage.

L'ogive est dans un premier temps envisagée en aluminium, usinée au tour numérique à partir de plans CATIA, mais un problème de disponibilité des machines nous empêche de réaliser cette pièce en aluminium. Elle est donc réalisée en bois sur un tour conventionnel. Elle est ajustée au tube de PVC puis enduite de résine afin de fermer la surface. La résine une fois polymérisée est poncée très finement pour obtenir un bon état de surface. La pièce maîtresse est terminée, elle peut donc être moulée.

b. Moulage de la pièce maîtresse.

Le moule est constitué de deux demi moules complémentaires. Pour la réalisation du premier demi moule, il faut réaliser un support en bois (illustration 5) afin de mettre une planche de mélaminé sur un diamètre du tube de PVC. Ceci permet de ne mouler que la demi coque supérieure. Le support en mélaminé est ajusté au mastic afin d'être en contact parfait avec la pièce maîtresse sur toute sa longueur.



Illustration 6 : Support en bois pour la réalisation du premier demi moule

Les étapes de la réalisation du premier demi moule sont alors les suivantes :

- Cirer la coque et le support en mélaminé en cinq couches fines.
- Appliquer du gel Coat sur la surface totale (demi coque plus support) ;
- Laisser sécher le gel coat (3/4 d'heure),

Lorsque le gel coat est collant mais que le doigt ne laisse pas d'empreinte dedans, appliquer une couche de résine époxy sur toute la surface,

- Poser de trois fils de verre le long de l'arête formée par la jonction entre la coque et le support en mélaminé,
- Poser de la première épaisseur de mat de verre légèrement enduit de résine,
- Repousser le mat de verre de sorte qu'il épouse parfaitement la forme de la fusée

- Répéter la pose de mat de verre trois fois
- Laisser sécher 36 heures.

Une fois le premier demi moule réalisé, le support en bois est démonté pour permettre de réaliser le deuxième demi moule, le rôle du support en bois étant maintenant rempli par le premier demi moule.

Les étapes suivies sont les suivantes :

- Nettoyer et dégraisser la coque et le premier demi moule à l'acétone,
- Cirer la coque et le premier demi moule en cinq couches fines.
- Appliquer du gel Coat sur la surface totale (demi coque plus premier demi moule) ;
- Laisser sécher le gel coat (3/4 d'heure),

Lorsque le gel coat est collant mais que le doigt ne laisse pas d'empreinte dedans, appliquer une couche de résine époxy sur toute la surface,

- Poser de trois fils de verre le long de l'arête formée par la jonction entre la coque et le premier demi moule,
- Poser de la première épaisseur de mat de verre légèrement enduit de résine,
- Repousser le mat de verre de sorte qu'il épouse parfaitement la forme de la fusée
- Répéter la pose de mat de verre trois fois
- Laisser sécher 36 heures.

A ce point là, les deux demi moules sont réalisés mais sont encore assemblés autour de la pièce maîtresse. Il faut donc retirer cette dernière afin de pouvoir utiliser les moules pour en faire un tirage.

La séparation du deuxième demi moule de la pièce maîtresse a endommagé la surface interne au niveau du raccord avec l'ogive.

Il est donc décidé de réparer le moule en remettant du gel coat là où il en manque. Une fois cette opération réalisée, une tentative est réalisée pour séparer le premier demi moules et la pièce maîtresse. C'est un échec, un problème avec la cire (censée empêcher l'adhésion de la résine) et/ou son application ne permet pas de démouler correctement et le moule et la pièce maîtresse sont endommagés (illustration 6). Ceci implique un contre temps supplémentaire qui ne permet plus de réaliser la coque dans le temps imparti.



Illustration 7 : Dommages du premier demi moule

c. Adoption du plan B

Les dates limites de réalisation de la coque étant dépassées, le plan B est lancé. Cependant, la réalisation de la coque en composite continue en parallèle. La possibilité de

réaliser deux tirages du même demi moule est envisagée et un premier tirage est réalisé alors qu'une coque en PVC existe déjà pour la fusée.

Lors de la revue de pré qualification, il est décidé d'abandonner la solution composite pour plusieurs raisons :

- Bien que la forme ne soit pas parfaitement régulière (ovalité du profil), la fusée passerait les qualifications avec la coque en PVC,
- La coque PVC (tube de 63mm de diamètre et de 1mm d'épaisseur) respecte le cahier des charges et permet de conserver la partie télémétrie dans la fusée.

Le plan B devient donc la solution adoptée pour réaliser la coque de la fusée.

d. La pièce de liaison coque - structure intérieure - bloc moteur

La pièce dite « pièce de liaison » (illustration 7) est la pièce permettant de lier la coque au bloc moteur, et à la partie interne de la fusée. Elle a pour but le centrage de ces trois parties les unes par rapport aux autres. Elle est usinée en tournage sur machine conventionnelle dans un rondin de PVC. Un soin particulier est apporté au respect des cotes afin d'avoir un ajustement avec les autres parties, à savoir :



Illustration 8 : Pièce de liaison

- Le centrage du bloc moteur,
- La pièce de centrage de la structure interne,
- La partie basse de la coque en PVC.

e. Peinture de l'ensemble

Une fois la coque, l'ogive et le bloc moteur terminés, ils sont peints en noir . La bande blanche est réalisée sur la coque après avoir délimité son tracé. Le nom de la fusée est réalisé grâce à un pochoir réalisé par nos soins.

f. Structure intérieure

La structure intérieure est composée de cinq étages disposés sur trois tiges de carbone (figure 8) :

Dernier étage :

- en aluminium afin d'isoler l'antenne du reste de la fusée.
- percé pour permettre la fixation de la prise BNC entre l'antenne et le Toucan.
- l'épaisseur est de 1 mm afin de minimiser la masse.

- Même Pas Peur -

Les trois étages intermédiaires :

- en mousse therm durcissable recouverte de deux peaux de carbone.
- épaisseur de 5 min (1 mm de peau supérieur + 3 min de mousse + 1 mm de peau inférieur).
- assurent la séparation des différents sous système.

La pièce support de la structure :

- assure le centrage avec la pièce de liaison de la partie basse de la fusée.
- vidée en son centre pour minimiser sa masse (pièce usinée au tour conventionnel en aluminium)

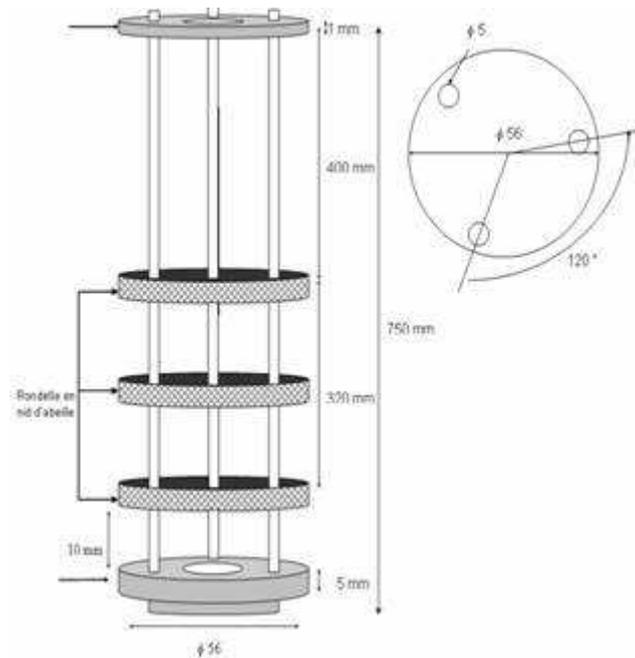


Figure 7 : Structure intérieure de la fusée

Les tiges :

- en fibre de carbone achetées dans une entreprise spécialisée (flèche pour tir à l'arc)
- tubes de diamètre intérieur 2mm
- dépassent du dernier étage pour être inséré dans la rondelle d'indexation (cf. plan d'ensemble)
- fixées aux différents niveaux par collage

IV. Expérimentation et exploitation

IV.1. Prévisions de vol

A l'aide des mesures effectuées par les différents capteurs, nous allons donc reconstituer la trajectoire de la fusée. Avant le décollage, nous procédons à une prévision de vol pour pouvoir comparer les accélérations suivant les 3 axes de la fusée, la vitesse de roulis, l'angle de roulis aux résultats expérimentaux que nous obtiendrons lors du vol de la fusée.

Grâce au logiciel TRAJEC, nous pouvons connaître, en fonction des dimensions de la fusée, de sa masse et des dimensions de la rampe de lancement :

- Le point de culmination de la fusée
- Son accélération suivant les 3 axes
- Le temps de culmination
- La vitesse de sortie de rampe
- La portée balistique

Remarque : TRAJEC est la référence utilisée lors de la qualification avant vol. Même si les modèles utilisés sont parfois critiquables, ce sont ces résultats qui autorisent ou non le tir : stabilité, vitesse de sortie de rampe, marge statique.

- Même Pas Peur -

Pour nos prévisions nous avons émis les hypothèses suivantes :

- vent nul
- référentiel galiléen
- trajectoire plane
- calculs fait pour la partie de vol avant ouverture parachute

Soit, pour mieux se rendre compte, le graphique suivant tracé sur excel (données transcrites de Trajec par le programme sur excel de la 1^{ère} équipe) :

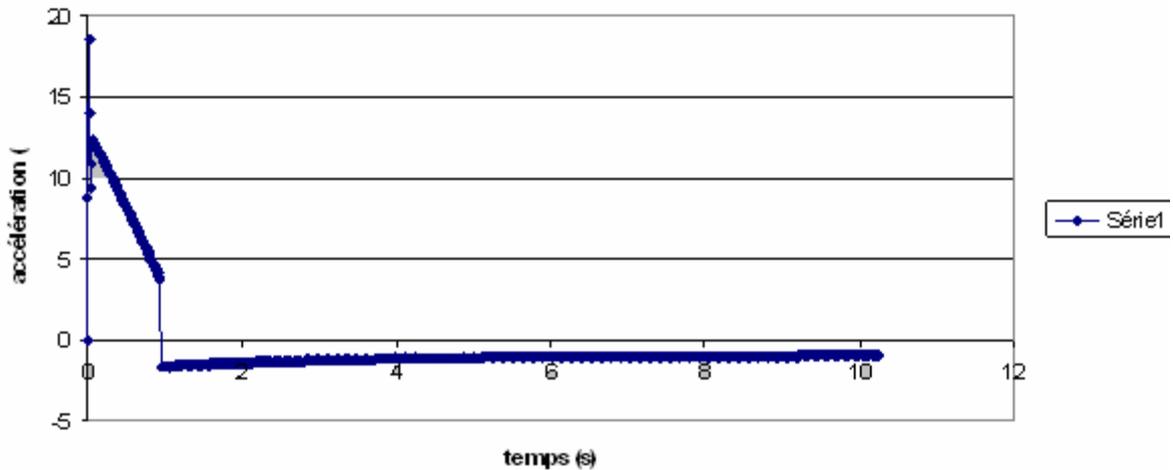


Figure 8 : Accélération en g selon Z en fonction du temps

De plus, nos prévisions sur le roulis nous entraînent à dire que celui-ci sera nul si les ailerons sont bien équilibrés.

	Gain théorique (mV/g)	Sensibilité (V)	Sensibilité (g)
Voie X	38,6	± 3	± 2
Voie Y	38,6	± 0,036	± 82
Voie Z	3,52	± 0,13	± 23

Les valeurs récupérées pendant le vol sont données en fréquence. Nos prévisions ont été établies en accélération puis converties en tension à partir des coefficients électriques vérifiés sur les circuits, des coefficients d'amplification des accéléromètres (donnés par le datasheet) et des coefficients issus du traitement du signal avec modulation.

FREQUENCE → TENSION → ACCELERATION → VITESSE → POINT CINEMATIQUE

Remarque : Nous n'avons malheureusement pas eu le temps d'étalonner les voies et nous ne savons donc pas la relation exacte de proportionnalité tension/accélération.

De plus, le modèle utilisé est plan. Il n'est pas garanti que la trajectoire réelle s'effectue sur un plan. La présence de vent a toutes les chances de sortir la fusée de son plan. Le modèle retenu n'est valable qu'avant l'ouverture du parachute, ce qui limite nos prévisions à la première phase de vol.

On a pu, à l'aide ce fichier, déterminer approximativement le temps de culmination que nous avons par la suite affiné avec TRAJEC.

Nous gardons également quelques inquiétudes au sujet de la saturation des signaux. Les accéléromètres ayant déjà volés, nous pouvons également émettre des doutes quand à leurs résultats.

IV.2. Vol de la fusée

Pour lancer notre fusée, nous nous sommes rendus à Saintes le samedi 6 juin 2006 où a eu lieu une campagne de tir de fusée organisée par l'AJSEP.

Nous sommes arrivés vers 9h où nous attendaient les organisateurs de l'évènement. Nous avons dû qualifier notre fusée pour qu'elle puisse voler selon les conditions décrites dans le cahier des charges. Cette qualification se déroule en plusieurs étapes, elle comprend des vérifications de spécifications techniques autant sur l'architecture de la fusée que sur le concept de notre expérience. Par exemple il faut vérifier la bonne tenue à la flèche de la fusée, la tenue à la torsion, la compatibilité avec la rampe de lancement. Il faut aussi faire des essais portant sur le fonctionnement de notre expérience : nous avons dû vérifier que les cartes de mesures d'accélération et la communication fonctionnaient correctement avec le camion.

L'étape finale de la qualification est le vol simulé : la chronologie du montage fusée et du vol est reconstituée pour voir s'il n'y a aucune faille.

Ensuite vient le vol et sa mise en place.

La rampe de lancement est placée sur un pré inondable, le long de la Charente. Pour des raisons de sécurité, seulement deux personnes de l'équipe sont autorisées à mettre en place la fusée sur la rampe. Ils suivent alors une procédure étudiée au préalable pour éviter toute confusion.



Illustration 9 : Mise en place de la fusée dans la rampe

Une fois que la fusée est prête à être tirée, un artificier (seul près de la rampe) place en dernier lieu le propulseur dans son logement, ainsi que le système de mise à feu télécommandé. La fusée est alors en phase de tir.

Un décompte final est prononcé, en fonction d'un critère vitesse de vent autorisant ou non une courte fenêtre de tir. Le tir est donné et on observe le vol nominal de la fusée avec ouverture du parachute et transmission des données vers le camion.



Illustration 10 : le décollage de la fusée



Illustration 11 : récupération de la fusée

La fusée est retombée sur le sol, à environ 300m du pas de tir. Les artificiers enlèvent les restes du moteur et nous remettent notre fusée. Son état est bon, l'ogive en mousse a amorti le choc et tout est en état de marche.

IV.3. Reconstitution de la trajectoire

Les données qui nous ont été rendues par le camion du CNES sont en fréquence sur les quatre voies en fonction d'un pas de calcul que nous ne pouvions pas exploiter sans le transformer en temps.

Nous avons donc fixé notre démarrage du vol à $t = 0s$ ce qui correspondait au numéro de la mesure 3170 pour le CNES. De même pour l'atterrissage $t = 28s$ correspondait à 25415. Afin de nous conforter dans nos équivalences nous avons étudié la vidéo du vol pour chronométrer.

Afin de retranscrire les données en fréquence, en tension puis en accélération, nous avons déterminé la relation de linéarité ($U = a \cdot f + b$) entre fréquence et tension à l'aide de nos tests :

	Fout minimum ($V_{in} = 6V$)	Fout centrale ($V_{in} = 2,4V$)	Fout maximale ($V_{in} = 0V$)
Voie Gyro	330 Hz	410 Hz	492 Hz
Voie Z	998Hz	1230 Hz	1479 Hz
Voie Y	3422 Hz	45040 Hz	5047 Hz
Voie X	10400 Hz	12800 Hz	15370Hz

Tableau 2 : relation de linéarité entre fréquence et tension

La voie correspondant au gyromètre nous a donné les résultats les plus exploitables.

On trace ce que l'on obtient en fonction d'un pas de temps reconsidéré : $12,75 \cdot 10^{-4}s$ entre deux mesures.

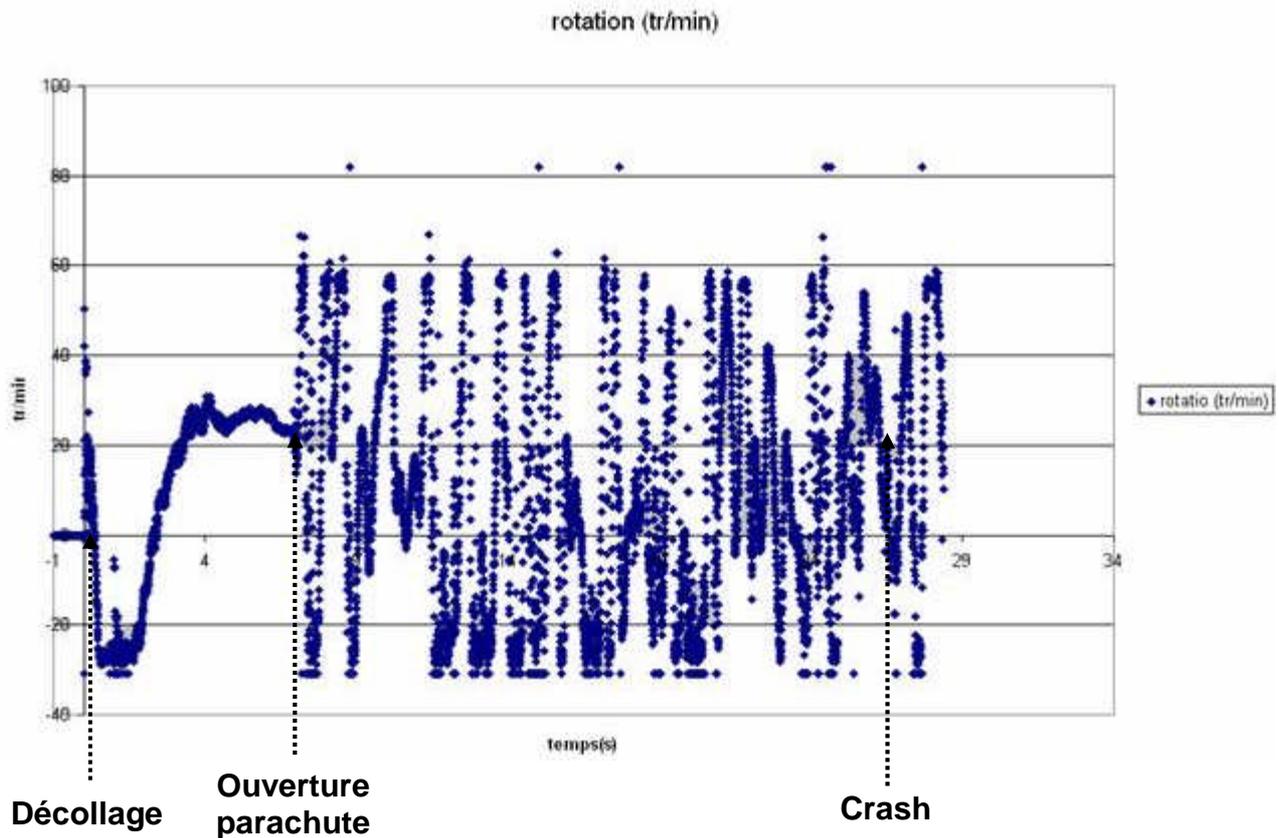


Figure 9 : Graphe obtenu à l'aide du gyromètre

Ce graphe issu du gyromètre représente la vitesse angulaire de la fusée.

Après l'ouverture du parachute, les valeurs varient de -30 tr/min à $+60$ tr/min, ce qui n'est pas symétrique : ceci est dû au positionnement du parachute et de son anneau anti-torque. Sa position excentrée ne permet pas à la fusée de réaliser un tour complet : on a un phénomène d'élasticité.

Les variations entre le négatif et le positif représentent les portions de tours que la fusée réalise ; lorsque la courbe passe par l'axe 0, la fusée tourne dans l'autre sens par rapport à son axe.

De plus, on constate qu'elle ne tourne pas à vitesse constante, cela est dû aux oscillations autour de la position d'équilibre de l'anneau anti-torque (emmêlement puis démêlement du fil de pêche).

- Même Pas Peur -

En tous les cas le roulis de la fusée n'est pas nul comme nous aurions pu le prévoir, les ailerons ne devaient pas être parfaitement équilibrés.

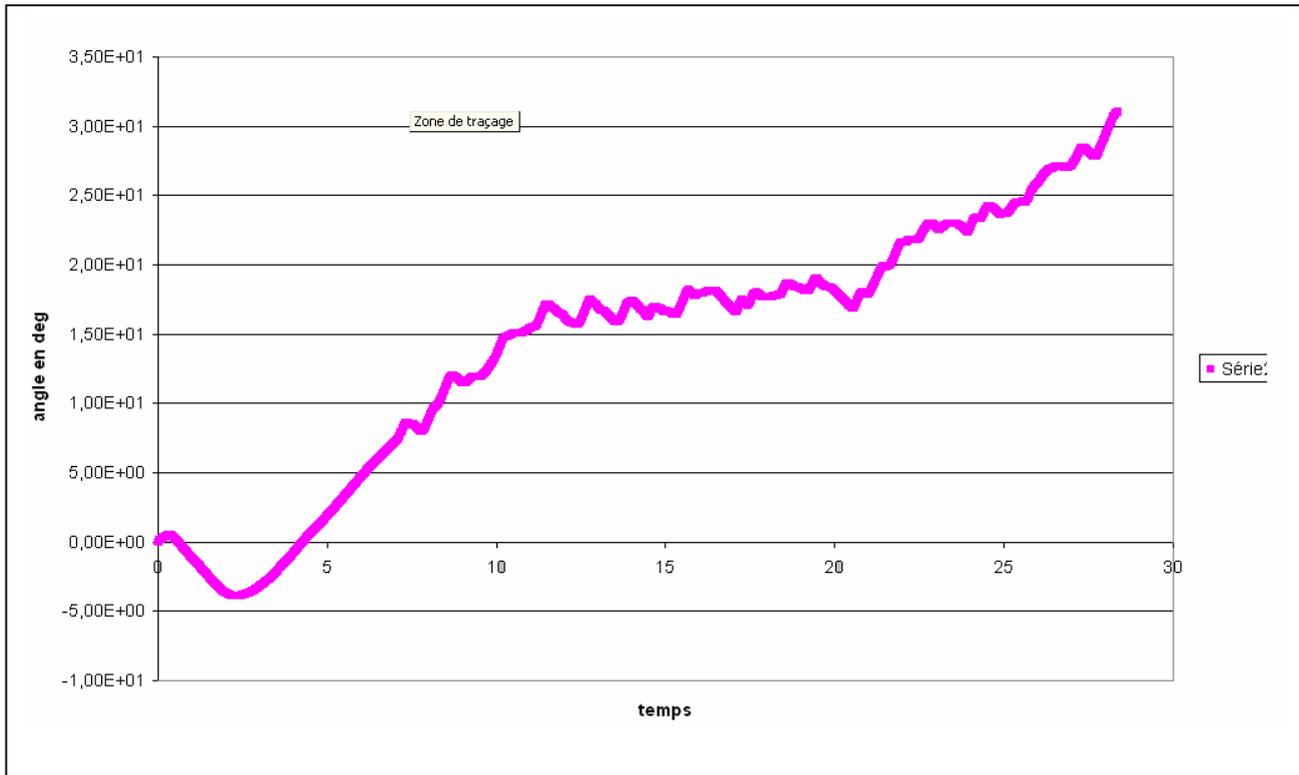


Figure 10 : Angle de roulis de la fusée

Sur ce graphe on peut voir exactement l'angle de rotation de la fusée. Elle réalisera au maximum 30° par rapport à sa position initiale, ce qui était difficilement visible à l'œil nu.

A priori, on ne s'attendait pas à beaucoup de roulis vu la géométrie des ailerons réalisés (symétrie bien respectée).

En ce qui concerne les accéléromètres les résultats sont nettement moins exploitables.

- Accélération suivant x :

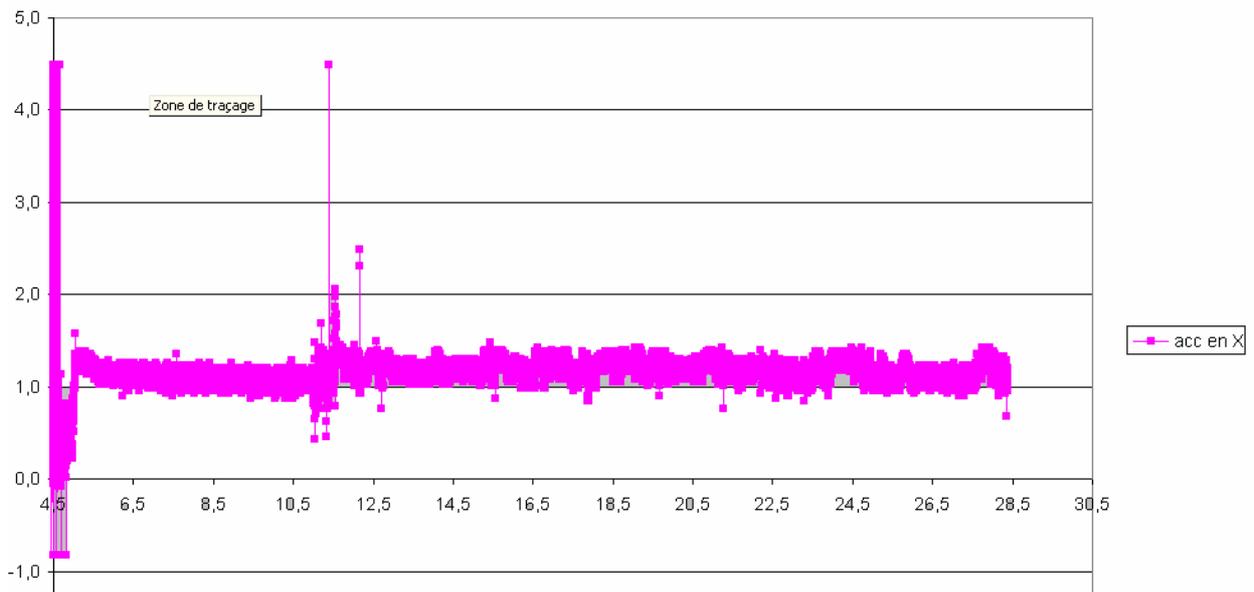


Figure 11 : Accélération suivant l'axe X

On constate la chronologie : décollage – ouverture parachute – impact au sol.

On retrouve une accélération à peu près constante d'environ 1g. Nous l'interprétons par la présence d'un vent fort le jour du lancement ou par un problème d'offset.

On constate par moment des parties inexploitable en raison des trop fortes accélérations (saturation au décollage et pic à l'ouverture du parachute).

- Accélération suivant y :

Nous avons dû effectuer un offset de 75g en prenant pour hypothèse : accélération transversale nulle pour $t = 0$ s. La chronologie est visible (Cf annexe 9).

Les phénomènes de saturation et pics sont également visibles.

- Accélération suivant z :

Cette accélération suivant l'axe de la fusée aurait dû nous donner le plus d'information pour reconstituer la trajectoire.

Nous offsetons le capteur à 1g car nous considérons qu'il ne voit que le poids dans la rampe.

Remarque : on néglige l'inclinaison de la rampe étant donné de la qualité de la mise en position des cartes dans la fusée.

Malheureusement, cette voie n'a pas été optimisée et parfaitement calibrée en raison du retard du rendu des cartes électroniques. Nous ne pouvons nous attendre qu'à des résultats de type qualitatifs.

Éléments pour une étude plus approfondie :

Voici quelques pistes sur lesquelles nous aurions aimé travailler mais où le temps nous a fait défaut :

- Vérification de l'état des capteurs
- Détermination des gains accélération/tension : en imposant une accélération connue, on relève ainsi la valeur de tension ce qui aboutit à la connaissance du gain
- Récupération des données réelles sur la trajectoire (toutes corrections effectuées)
- Retour aux grandeurs mécaniques réelles (vitesse et point cinématique)
- Reconstitution de la trajectoire/ comparaison avec modèle

V. Apports personnels et bilan

V.1. Analyses des problèmes

1. Problèmes de compétences des sous traitants

Certains établissements scolaires ont très bien perçu le côté technique de nos exigences mais n'ont abordé la globalité du projet que de façon superficielle. Par exemple, la production de documents techniques associés à la réalisation des pièces (Cenon) a posé problème. Nous sommes conscient que la structure du projet peut paraître complexe pour des jeunes (jalonnement, spécifications...) mais nous avons souhaité jouer ce jeu en particulier avec leurs enseignants.

2. Problème d'implication des sous traitants

Les relations avec les autres établissements ont parfois été distantes. Cela vient du fait que les jeunes travaillent uniquement sur une partie localisée de la fusée et ont des difficultés à percevoir l'importance de leur travail

3. *Problèmes de réalisation interne à l'ENSAM*

Nous avons remarqué qu'il n'est pas toujours évident d'obtenir de la disponibilité du personnel de l'ENSAM. Cependant, certaines personnes se sont réellement impliquées et ont participé à la réussite de ce projet, au point de vue réalisation.

4. *Amélioration à apporter*

Peut être que le choix des établissements devrait prendre plus en considération leur aptitude à tenir le rôle sous-traitants. Les collégiens de Jean-Zay par exemple sont très efficaces dans le travail manuel mais ne sont pas vraiment aptes à tracer seuls des plans ni à rédiger un dossier justificatif.

Il faut insister encore plus sur les procédures de qualification avec les sous traitants en début de projet et s'assurer qu'elles seront suivies en permanence.

5. *Amélioration technique*

Les interrupteurs que l'on a retenus permettent de connaître sans ambiguïté l'état théorique des parties électroniques. Mais suite à la qualification, il nous semble indispensable d'avoir des contrôles visuels de type LED qui détecteraient une défaillance.

Pour des futurs ingénieurs, il était intéressant de partir sur une coque en composite (intérêts techniques). Cependant l'objectif était de remplir le cahier des charges qui ne stipulait pas de choix dans les matériaux. Le tube en PVC répond à ces exigences.

La structure tiges+étages été bien adaptée car flexible, elle permet un certain degré de liberté lors de l'insertion dans le tube. Néanmoins la solution de collage des tiges sur la structure de liaison (en PVC) nécessite une bonne connaissance en collage (Araldite 90).

V.2. Bilan par rapport aux exigences de départ.

Le bilan est globalement positif car le lancement s'est effectué comme prévu : le projet à bien été multi établissements.

La partie télémessure n'était cependant pas développée jusqu'à un niveau de performance satisfaisant. La réalisation a débuté trop tard.

La partie réalisée par Jean Zay était incomplète par rapport à nos attentes que l'on avait pris soin de valider ensemble.

V.3. Avenir pour les autres projets

Le développement de la fusée peut être envisagé de DEUX façons :

- optimisation de la masse pour obtenir une altitude plus importante
- expérimentation à bord : vidéo embarquée, enregistrement de données en vol (problèmes de poids),

Il faut se fixer des procédures de qualification avec le sous-traitant en début de projet et s'assurer qu'elles seront suivies en permanence.

Le cahier des charges doit constituer un juge de référence. Toute modification de spécifications doit avoir une trace écrite de telle sorte qu'il y ait toujours convergence entre attentes et réalisations. Il est important que cette procédure soit mise en place dès le début du projet, car le passage de relais entre les deux équipes a fait apparaître un certain flottement dans les spécifications techniques.

CONCLUSION

La fusée PEGASE 204 a donc fait l'objet d'étude et de travail pour un nombre élevé d'intervenants qui ont de près ou de loin apporté leur contribution à un objectif commun : le lancement à Saintes le 6 mai 2006. Cette date étant fixe, une organisation du travail, notamment par jalonnement, a été nécessaire pour s'assurer de la tenue des délais. Outre la technique associée aux différentes parties de la fusée, ce travail a permis aussi de se confronter à des exigences telles que la gestion documentaire, ou l'analyse de risque. Quoique retardée par la fin du travail de définition qu'il a fallu clore, la partie fabrication/préparation au vol a constitué le coeur de notre travail.

Un suivi particulièrement proche de nos sous traitants et de la nécessité de fiabiliser les sous-systèmes a donc constitué un travail soutenu sur tout le semestre. Ce projet représentant un volume d'heures très conséquent, il aurait été souhaitable que l'on puisse bénéficier d'un plus grand nombre de créneaux horaires dédiés et de façon plus régulière.

Nous concluons ce rapport en retenant le caractère très enrichissant de ce projet et en remerciant l'ensemble des personnes y ayant contribué pour garantir le succès du lancement.

BIBLIOGRAPHIE

- **Ouvrage**

- **Rapport de projet**
 - *Rapport de projet fuséex WASABI 199*. ENSAM de Bordeaux. Non daté
 - *Rapport de projet fuséex APOLLO 200*. ENSAM de Bordeaux. Non daté
 - *Rapport de projet fuséex THUNDER 202 Version 1.1*. ENSAM de Bordeaux. Non daté
 - *Rapport de la première partie du projet mini-fusée Version 2.0*. ENSAM de Bordeaux, 2006, 34p.

- **Ouvrage électronique**
 - Etienne MAIER et Frédérique MARTEAU. *Cahier des charges pour minifusées Cariacou Version 2.1*. France. CNES, Planète science
 - Olivier BOIREAU, Alain DARTIGALONGUE, Philippe DECAUDIN, Jean LAMOURE, Pierre LEBRUN, Francis LESEL, Olivier LIMAUX. *Cahier des charges pour fusées expérimentales mono étage Version 2.1*. France. CNES, Planète science
 - Gil DENIS. *Le vol de la fusée*. France. CNES, Planète science. Octobre 1999
 - *Emetteur de télémesure à modulation de fréquence TOUCAN*. France. CNES, Planète science. Janvier 1998
 - *Mode d'emploi du programme calculant la trajectoire et la stabilité Trajec 2.22*. France. CNES, ANSTJ. Octobre 1999
 - *Guide d'aide à l'utilisation du logiciel Trajec. Version 2.0*. France. CNES, ANSTJ
 - *La gestion d'un projet de fusée expérimentale Version 1 - Cahier ANSTJ, septembre 1999*

- **Site Internet**
 - <http://www.ajsep.com>
 - <http://www.planete-science.org/espace/>
 - www.radiospares.fr

GLOSSAIRE

AJSEP	Association Jeunesse Sciences Espace Passion Adhérente de l'association "Planète-Sciences". Composée d'une trentaine de personnes (principalement des employés ou retraités de Snecma Propulsion Solide) qui mènent ces activités d'animation auprès des jeunes à titre bénévole
Anneau anti-torche	Anneau percé de trous dans lesquels passent les suspentes. Il empêche l'emmêlement des suspentes lors de l'ouverture du parachute
Araldite	Colle à deux composants, constituée d'une résine époxy et d'un durcisseur
CATIA	Logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) créé au départ par la société Dassault Aviation
CDC	Cahier Des Charges (équivalent au STB)
Centre de poussée	Point matériel où, en théorie, tous les efforts extérieurs s'appliquent sur la fusée
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
Compartiment	Partie de la fusée dédiée à un sous-système unique et isolé
Culmination	La fusée est à culmination lorsqu'elle atteint son altitude maximale
Datasheet	Document donnant les références d'un composant électronique
Emerillon	Anneau permettant l'accroche des suspentes du parachute
Fichier .dxf	Sigle de Drawing eXchange Format, est un format créé par la société Autodesk servant à échanger des fichiers DAO ou CAO entre systèmes CAO n'utilisant pas le même format de fichier natif
Finesse	Rapport entre la longueur et le diamètre d'une fusée
Gel coat	Gel (dans notre cas orange) auto lissant, permettant un parfait respect de la forme et de l'état de surface de la pièce maîtresse. Le gel coat, tant qu'il n'est pas sec est miscible avec la résine époxy
Gyromètre	Capteur électromécanique, dont le carter (élément sensible) possède un degré de liberté en rotation (autour de l'axe X de sortie), par rapport à un boîtier dont on veut mesurer l'angle de rotation autour d'un axe dit d'entrée Y
Instabilité	Comportement d'une fusée pour laquelle les perturbations d'incidence ne sont pas compensées mais accentuées. C'est la cas lorsque le centre de poussée est situé au-dessus au centre de gravité
Marge statique	Distance entre le centre de gravité et le centre latéral de poussée d'une fusée. Cette distance est un des critères

	principaux de stabilité d'une fusée
Mat de verre	Fibre de verre de tissage grossier. Dans notre cas le mat de verre est de densité surfacique 400 g.m ²
Mé laminé	Aggloméré dont les deux surfaces (supérieures et inférieures) sont recouvertes de plastic
Modulation	La modulation peut être définie comme le processus par lequel un message est transformé de sa forme originale en une forme adaptée à la transmission
Microprocesseur PIC	Le PIC (Programmable Interface Controller) est en fait un microordinateur complet puisque son boîtier contient un CPU, une mémoire RAM, une mémoire EEPROM et des entrées-sorties
Minifusée	Objets propulsés avec des moteurs d'impulsion comprise entre 10 et 160 Newton-secondes pour lesquels l'objectif principal est la réalisation d'un système de récupération lui permettant de revenir au sol sans être endommagé par le choc lors de l'impact. Certains projets minifusées embarquent des expériences. On parle alors de Minifex (minifusée expérimentale)
Phase balistique	Partie au vol durant laquelle la fusée n'est soumise qu'à son poids et à la résistance de l'air
Phase propulsée	Partie du vol durant laquelle le propulseur communique une force de poussée à la fusée
Pièce maîtresse	Pièce originale servant de modèle pour réaliser le moule en composite
Planète Science	Assure la formation des animateurs, le support technique, les lancements des minifusées et fusées expérimentales
Portance	Composante de la résistance de l'air perpendiculaire à l'axe longitudinal de la fusée
Prise BNC	On trouve ce type de prise pour les liaisons audio entre source et traitement, ainsi qu'entre une source vidéo composite et un diffuseur compatible vidéo composite. Cette prise peut transporter un signal numérique ou analogique.
Prise jack	Un jack est normalement une prise (ou embase : l'élément femelle d'un ensemble fiche/prise). Dans certains cas, <i>jack</i> désigne alternativement l'un ou l'autre des éléments : <i>fiche male</i> ou <i>prise femelle</i> , dans un ensemble de connecteurs apairés
Roulis	Axe longitudinal autour duquel un appareil tourne
Servomoteur	Un servomoteur est un ensemble complet de mécanique et d'électronique, qui contient : un moteur à courant continu (CC), une carte électronique, un réducteur de vitesse, un potentiomètre, un axe dépassant hors du boîtier avec différents bras ou roues de fixation

- Même Pas Peur -

Snecma	La Société nationale d'étude et de construction de moteurs d'aviation est une société française, récemment fusionnée avec la société Sagem afin de créer le groupe Safran, spécialisée dans la fabrication d'équipements et de moteurs pour l'industrie aéronautique. Elle équipe notamment des Airbus, des Boeing et les Rafale
Stabilité	Caractère d'une fusée qui retrouve son équilibre initial lorsqu'elle est mise en incidence
STB	Spécification Technique du Besoin (équivalent au CDC)
Tirage (d'un moule)	Réalisation d'un exemplaire de la pièce. La pièce obtenue est identique dans ses formes à la pièce maîtresse. Pour ce qui est de sa matière cela dépend des matières utilisées
Tout numérique	Tour dont le déplacement de l'outil est commandé électroniquement ; cela permet d'obtenir des formes complexes avec une extrême régularité
TRAJEC	Programme qui dispose de deux fonctions principales : - calcul de la trajectoire d'une fusée. - vérification de la stabilité d'une fusée
VCO	Voltage Control led Oscillator Les V.C.O. encore appelés "traducteurs tension fréquence" sont des oscillateurs généralement sinusoïdaux dont la fréquence de fonctionnement peut être modifiée, dans une certaine gamme, par une tension variable appliquée à leur entrée

INDEX

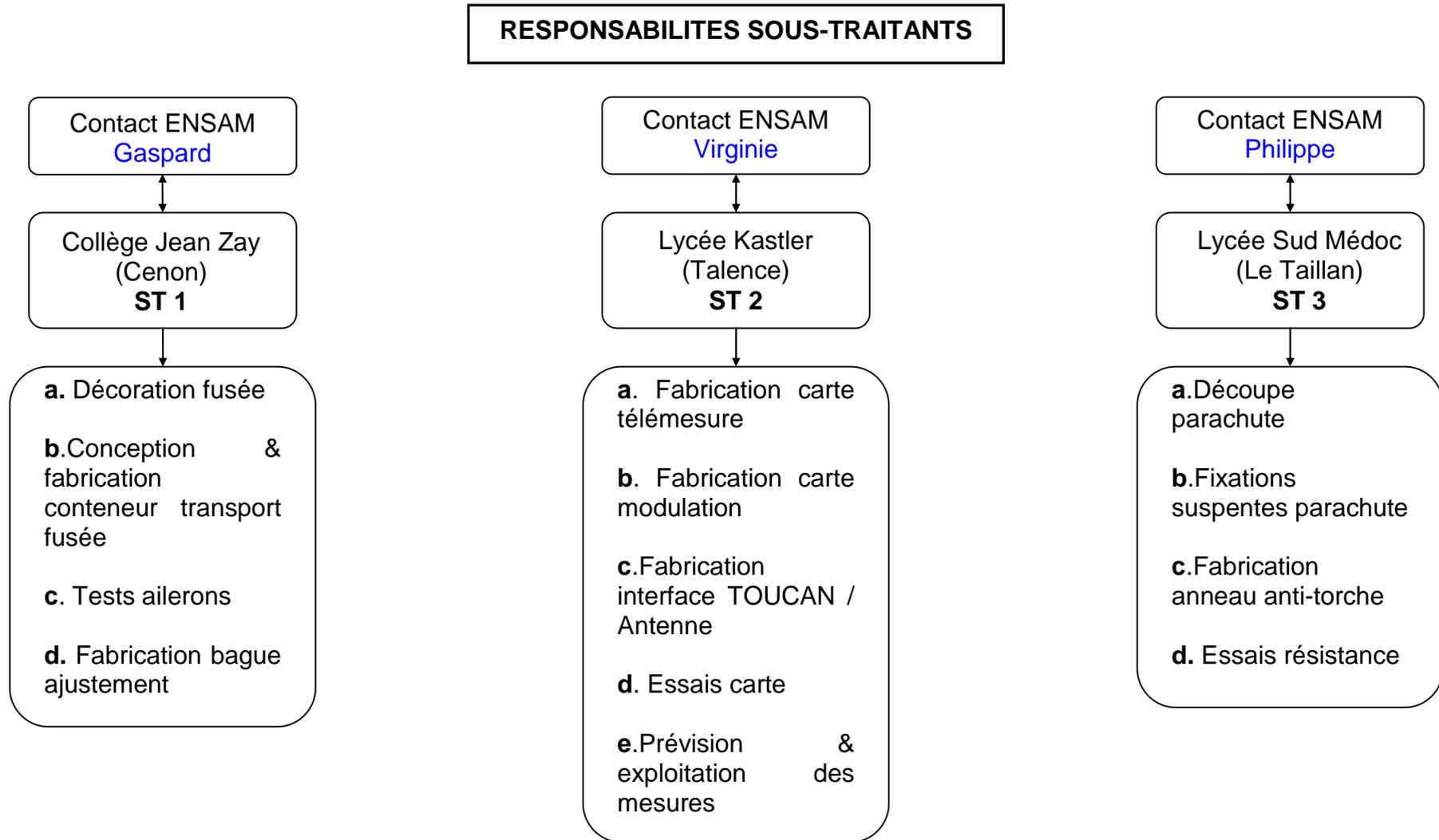
AJSEP, 3, 5, 9, 24, 37, 70
anneau anti-torche, 70
araldite, 22, 29, 70
CATIA, 17, 19, 61, 64, 70
centre de poussée, 70
chronologie, 25, 28, 48
CNES, 6, 15, 26, 31, 70
datasheet, 24, 70
émerillon, 70
finesse, 70
gyromètre, 13, 14, 26, 27, 70
marge statique, 71
modulation, 38, 71
portance, 53, 71
prise BNC, 14, 71
prise jack, 60, 71
roulis, 14, 27, 71
servomoteur, 60, 71
Snecma, 12, 70, 72
stabilité, 37, 72
TRAJEC, 18, 23, 24, 39, 40, 72
VCO, 14, 15, 36, 56, 58, 72

ANNEXES

1.	COMPTES RENDUS DES REVUES	37
2.	RESPONSABILITES DES SOUS TRAITANTS	38
3.	DOCUMENT MAITRE	39
4.	LES PLANNINGS	43
5.	MATRICE DES CONTRAINTES.....	48
6.	PLAN B	55
7.	SCHEMAS DES CARTES ELECTRONIQUES	58
8.	CONTRAINTES A RESPECTER POUR LA TELEMESURE.....	62
9.	GRAPHIQUE DE L'ACCELERATION SUIVANT Y ET Z.....	63
10.	DOSSIER DE DEFINITION TECHNIQUE SOUS SYSTEME EJECTION.....	64
11.	GRAFCET DE MISE EN FONCTIONNEMENT FUSEE SUR LE PAS DE TIR	70
12.	GRAFCET DE TEST DE LA PORTE AU NIVEAU DE LA ZONE DE PREPARATION	72

1. Comptes rendus des revues

2. Responsabilités des sous traitants



3. Document maître

Description	Désignation	Date de création/modification
1. Analyse risques		
• Equipe 1		
Matrice des contraintes parachute	Matrice des contraintes parachute 1.0	6/02/06
Analyse des risques	ANALYSE DES RISQUES final 1.0	12/11/2005
	ANALYSE DES RISQUES 1.0	30/11/2005
Fiche risques	fiche risques forts 1.0	1/11/2005
	fiche risques forts top ten 1.1	12/11/2005
	fiche risques forts top ten 1.2	30/01/2006
	Risques faibles top ten 1.0	25/04/2006
Matrice des contraintes globales	matrice des contraintes globales 1.0	4/01/06
• Equipe 2		
Grafcet de lancement	grafcet de lancement 2.2.pdf	7/04/06
Plan de secours	plan de secours 2.0.doc	31/03/06
	plan de secours 2.0.pdf	7/04/06
2. CR sous syst		
• ENSAM		
CDC minif cariacou	CDC_minif_cariacou 2.0	21/10/04
	CDC_minif_cariacou 2.1	15/10/05
CDC fusex	CDC_fusex 2.0	21/10/04
	CDC_fusex 2.1	15/10/05
• Sous traitants		
Rédaction CDC équipe 1	STB+revues ss syst 1.0	12/02/06
o Jean Zay		
o Kastler		
Définitif	CDCK 2.0	23/02/06
Procédures de test	Procédure TEST 2.0.doc	26/03/06
o Sud Médoc		
Définitif	CDCSM 1.0	6/02/06
3. Définition détaillée		
• Photo HD_calque		
Photos calque	photo HD plans _anneau indexation 2.0	11/03/06
	photo HD plans _eject-para 2.0	
	photo HD plans_ensemble 2.0bis	
	photo HD plans_ensemble 2.0	
	photo HD plans_fixation cartes telem2.0	
	photo HD plans_interpt-ejct 2.0	
• Partie parachute		
Détail fabrication	Parachute Sud Médoc 1.5	6/02/06
Plan de conception anneau anti torche	anneau 1.0	28/02/06
	anneau anti-torche 2.0	10/03/06
• Partie sous syst éjection		

- Même Pas Peur -

Dossier de définition technique	dossier de définition_éjection 2.0	10/03/06
• Partie télémessure		
Devis énergétique, poids, prix	devis-telemesure 2.0	11/03/06
Schémas câblage, élec, devis énergétique, masse	KASTLER_télémessure 2.0	11/03/06
Emplacement piles	Piles sur toucan 2.0	20/03/06
Schémas électroniques	carte_Capteurs 2.0	11/03/06
	carte_Libre 2.0	11/03/06
	carte_VCO 2.0	11/03/06
	sch_Cablage 2.0	11/03/06
• Partie basse		
	CENON 2.0	11/03/06
4. Dossier justificatif		
Qualification parachute	qualification parachute 1.0	6/02/06
Dossier justificatif	dossier justificatif 1.0	11/02/06
Justification choix structure tiges+étages	Justificatif Structure 2.0	10/03/06
Modification du système éjection	Modifications_éjection 2.0	10/03/06
• Masse&centrage		
Calcul masse et finesse	DMC 130306 2.0.xls	13/03/06
	DMC_revue 130306 2.0.pdf	13/03/06
5. Planning		
Planning résumé pdf	Plannings 1.0	09/02/06
	Plannings 2.0	10/03/06
Planning comparatif	Pprevisionnel 1.0	16/11/06
	Pcomparatif 2.0	9/03/06
Planning ENSAM	PE 1.0	Non existant
	PE 2.0	10/03/06
	PE 2.1	28/04/06
Planning Jean Zay	PJZ 1.0	26/01/06
	PJZ 2.0	10/03/06
Planning Kastler	PK 1.0	26/01/06
	PK 2.0	9/03/06
Planning Sud Médoc	PSM 1.0	14/12/06
	PSM 2.0	10/03/06
6. Caractéristiques du vol		
Manuel logiciel trajec	manuel_trajec	Octobre 1999
Notice d'utilisation logiciel trajec	notice_utilisation_trajec	25/04/05
Notes sur la version 2.4	lisezmoi.v24	2/01/06
• Equipe 1		
○ Expérience		
	accélération selon axe fusée1.0.csv	16/01/2006
	accélération z.nb	1/11/2005
	Analyse fourier accélération axe fusée.nb	16/01/2006
	fourier fusée.nb	26/10/2005
	simulation vol fusée1.0.xls	1/02/2006
	trajectoire 1.0.xls	16/01/2006
	trajectoire1.1.xls	16/12/2005
• Equipe 2		
Premier essai trajec	trajec 2.0	1/03/06
Essai 2	resultat trajec 2.1	2/06/06
Essai 3	resultat trajec 2.2	2/06/06
7. Autres documents		

- Même Pas Peur -

• Avant projet		
Masse minifusée	masse minifusee 1.0	16/11/05
	masse minifusee 1.1	3/02/06
	masse centrage 1.0	3/02/06
Partie parachute	AvP Parachute 1.0	3/11/06
Partie propulsion	AvP Propulsion 1.0	3/11/06
Partie télémessure	AvP Télémessure 1.0	3/11/06
Plan fusée	fusée plan 1.0	3/11/06
• CR visites		
Forme imposée CR	Trame_CR_visite	11/10/05
<ul style="list-style-type: none"> o Internes o Sous traitants 		
Jean Zay		
1e visite [équipe1]	CRJZ 1.0	13/01/06
2e visite [équipe1]	CRJZ 1.1	2/02/06
1e visite [équipe2]	CRJZ 2.0	28/04/06
2e visite [équipe2]	CRJZ 2.1	28/04/06
Kastler		
1e visite [équipe1]	CRK 1.0	29/11/05
2e visite [équipe1]	CRK 1.1	29/11/05
3e visite [équipe1]	CRK 1.2	11/01/06
1e visite [équipe2]	CRK 2.0	23/02/06
Sud Médoc		
1e visite [équipe1]	CRSM 1.0	6/02/06
2e visite [équipe1]	CRSM 1.1	6/02/06
o Suiveurs		
Réunion 1 : Présentation du sujet	CRvisite n°1	16/12/05
Réunion 2 : Revue d'objectif système	CRvisite n°2	16/12/05
Réunion 3 : Revue d'objectif système	CRvisite n°3	16/12/05
Réunion 4 : Revue de conception système	CRvisite n°4	10/02/06
Réunion 5 : Revue de conception système	CRvisite n°5	29/03/06
• Devis financier		
Partie télémessure	Devis financier kastler 2.0	10/03/06
• Docs AJSEP		
CDC Toucan	CDC_TOUCAN p14 - 20	21/10/2004
Conditionneurs de signaux	conditionneurs_signaux	Edition mars 2002
Conditions de sécurité	conditions_secureite	Edition avril 1991
Exple de planning	exemple_de_planning	?
Livret d'initiation	fusee_lambda	Edition 1994
Gestion projet	gestion_projet_fusex	Sept 1999
Intégration d'une fusée	integration_fusee	Oct 1999
Législation microfusées	legislation_microfusees	Oct 1999
Multiplexage en fréquence	multiplexage_en_fréquence	Oct 1999
Propulseurs spaciaux	propulseurs_spaciaux	Fev 2002
Stabilité dynamique	stabilité_dynamique	Août 2000
Emetteur toucan	toucan	Mars 1993
Transmission des phases de vol	transmission_phases_vol	Mars 1993
Vol de la fusée	vol_fusee	Oct 1999
• Documentation		
Compte rendu estaca	compte rendu estaca	9/11/05
Géométrie différentielle	géométrie différentielle	11/10/05
o Partie éjection		
	ex systeme ejection pneumatique	27/10/2005
	jackmalefus%C3%A9e	11/01/2006
	LR03%20ultra%20M3	11/01/2006
	LR6%20ultra%20M3	11/01/2006
	doc servomoteur	30/01/06
	entretoises	17/02/06

- Même Pas Peur -

	jackfusée	11/01/06
○ Partie télémesure		
AOP	amplificateur_operationnel 2.0	11/10/05
Modulation de fréquence	CSE020_FM 2.0	9/11/05
• Gestion documentaire		
Choix de l'appellation des documents	Gestion_documents 2.0.doc	13/03/06
• Organisation équipe		
Contacts	Contacts	24/02/06
Equipe 1	Organisation 1.0	26/01/06
Equipe 2	Organisation 2.0.doc	11/02/06
	Organisation 2.0.pdf	11/02/06
• Powerpoint		
○ Fond d'écran		
	sinop_minif modif	17/01/06
	sinop_minif modif2	17/01/06
○ Equipe 1		
	Diapo Kastler 1.0	13/10/05
	telemesure 1.0	17/01/06
	telemesure revue 1.0	17/01/06
	soutenance minif 1.0	17/01/06
	soutenance minif 1.1	18/01/06
○ Equipe 2		
Oral mi parcours	Jalon1_fuseex 2.0	29/03/06
• Rapport final		
Guide rédaction (Mr Philip)	Guide de rédaction du rapport	11/01/06
○ Equipe 1		
Annexes		16 et 17/01/06
Rapport final	RAPPORT FUSEE1.0.doc	3/02/06
○ Equipe 2		
Rapport final	rapport_2.0	24/05/06

4. Les plannings

- **Cadrage Planning du Projet**

Revue système "MEME PAS PEUR"	juin	juillet	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet
faisabilité du projet													
accord école d'ingénieur			★										
accord sur 3 établissements			★										
déclaration projet													
phase de définition préliminaire													
étude système													
établissement des CC pour ss syst													
revue d'objectif système					★								
phase de définition détaillée													
revue d'objectif ss système													
revue de conception ss système													
revue de conception système													
phase de qualification													
revue de qualification ss système													
revue de qualification système													
lancement													
revue d'exploitation													

- **Revue systèmes**

L'équipe projet aura en charge de présenter les éléments techniques et matériels à chacune des quatre échéances :

1. **Revue d'objectif système**

Evaluation de l'aptitude du groupe à tenir les objectifs qu'ils se sont fixés dans le strict respect d'un cahier des charges.

Documents à produire :

1. Un avant projet de la fusée, masses, centrage et inertie
2. Un organigramme des tâches
3. Un planning prévisionnel
4. Une analyse risque projet
5. Une spécification par sous système

2. **Revue de conception système**

Evaluation de la maturité de la conception du projet pour être prêt le jour prévu du lancement

Documents à produire :

1. Une définition détaillée de toute la fusée, plans masse centrages systèmes électriques
2. La justification vis-à-vis de chacun des critères du cahier des charges (études théoriques, TRAJEC, ou essais de mise au point)
3. Le planning mis à jour
4. L'analyse du risque projet mis à jour
5. Les comptes rendus des revues de conception sous systèmes

6. Les prévisions de mesures et de caractéristiques du vol

3. Revue de qualification système (*)

** en préparation à celle menée sur le site de lancement, la seule apte à autoriser le vol*

Vérification du respect par le projet réalisé de chacun des critères du cahier des charges

Documents à produire :

1. La fusée prête pour le vol, finitions incluses
2. Une définition détaillée mise à jour de toute a fusée, plans masse centrages systèmes électriques
3. La justification mise à jour vis-à-vis de chacun des critères du cahier des charges (études théoriques, TRAJEC, ou essais de mise au point)
4. L'analyse du risque projet mis à jour
5. Les comptes rendus des revues de qualification sous systèmes
6. Les prévisions de mesures et de caractéristiques du vol mises à jour

4. Revue d'exploitation système

Capitalisation de l'expérience acquise

Documents à produire :

1. Un support de présentation de 10min maxi par établissement impliqué dans le projet
2. Le rapport projet du système et de chaque sous systèmes

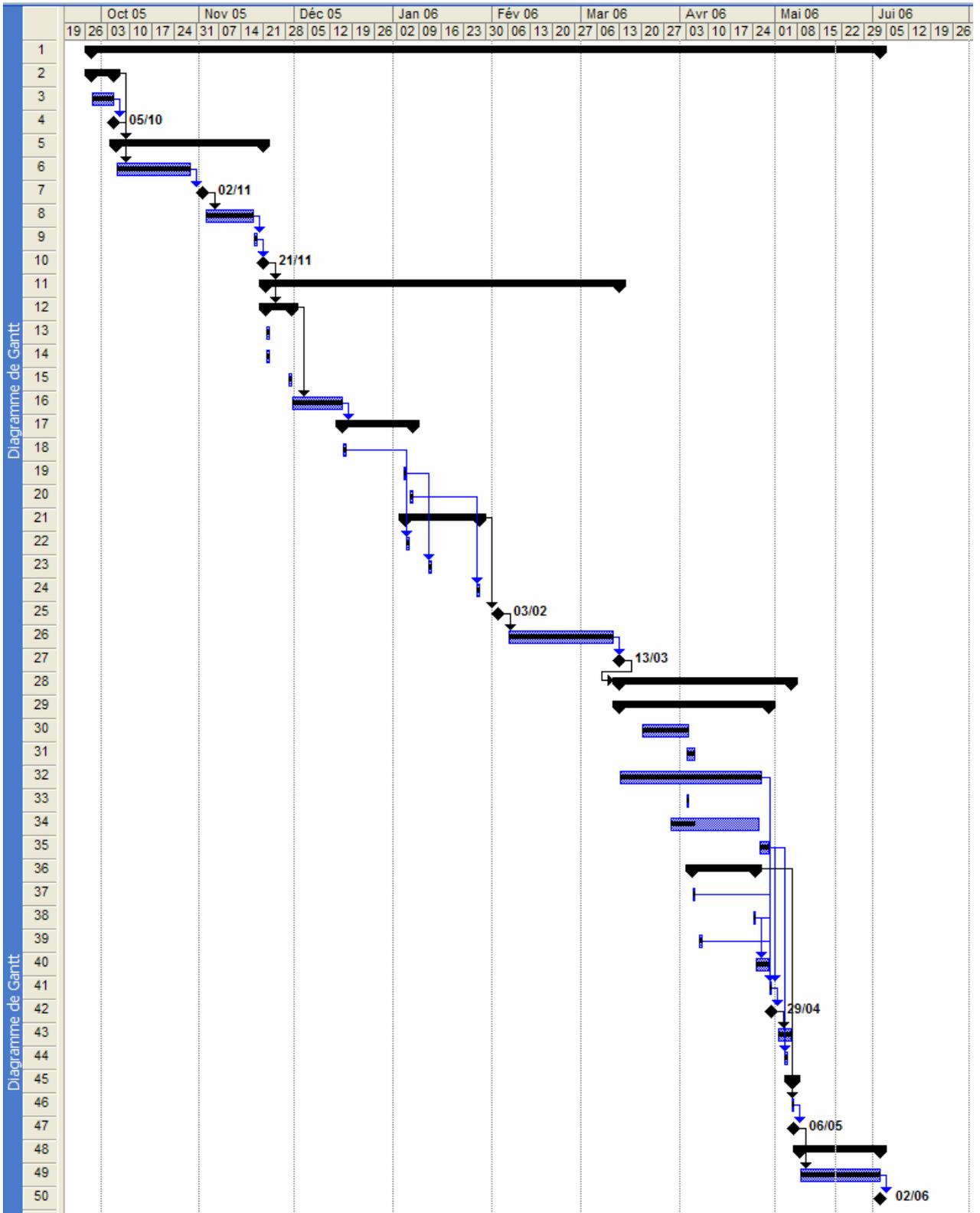
o Revues sous système

Il est du ressort de l'équipe projet "système" de spécifier leur besoin et de conduire les revues sous ensemble, dont les objectifs sont similaires mais les fournitures adaptées à l'âge et la compétence des autres établissements. Pour cela, l'équipe projet "système" devra faire un compte rendu de chaque revue sous système.

• **Planning ENSAM**

	📌	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs
		☐ Fusée "même pas peur"	180 jours	Mer 28/09/05	Ven 02/06/06	
1	✓	☐ Prise de connaissance du sujet	5 jours	Mer 28/09/05	Mer 05/10/05	
2	✓	Connaissance du projet	5 jours	Mer 28/09/05	Mar 04/10/05	
3	✓	Réunion 1 : Présentation du sujet	0 jour	Mer 05/10/05	Mer 05/10/05	3
4	✓	☐ Phase de définition préliminaire	32 jours	Jeu 06/10/05	Lun 21/11/05	2
5	✓	Etablissement avant-projet	17 jours	Jeu 06/10/05	Ven 28/10/05	4
6	✓	Réunion 2 : Revue d'objectif système	0 jour	Mer 02/11/05	Mer 02/11/05	6
7	✓	Corrections avant-projet	11 jours	Jeu 03/11/05	Jeu 17/11/05	7
8	✓	Pré revue devant enseignants	1 jour	Ven 18/11/05	Ven 18/11/05	8
9	✓	Réunion 3 : Revue d'objectif système	0 jour	Lun 21/11/05	Lun 21/11/05	9
10	✓	☐ Phase de définition détaillée	79 jours	Mar 22/11/05	Lun 13/03/06	10
11	✓	☐ Remise CDC sous traitants	6 jours	Mar 22/11/05	Mar 29/11/05	10
12	✓	Remise CDC Kastler	1 jour	Mar 22/11/05	Mar 22/11/05	
13	✓	Remise STB Sud Médoc	1 jour	Mar 22/11/05	Mar 22/11/05	
14	✓	Remise STB Jean Zay	1 jour	Mar 29/11/05	Mar 29/11/05	
15	✓	Préparation revue d'objectif sous système	12 jours	Mer 30/11/05	Jeu 15/12/05	12
16	✓	☐ Revue d'objectif sous-système	16 jours	Ven 16/12/05	Ven 06/01/06	16
17	✓	Revue d'objectif Kastler	1 jour	Ven 16/12/05	Ven 16/12/05	
18	✓	Revue d'objectif Sud Médoc	1 jour	Mer 04/01/06	Mer 04/01/06	
19	✓	Revue d'objectif J. Zay	1 jour	Ven 06/01/06	Ven 06/01/06	
20	✓	☐ Revue de conception sous-système	17 jours	Jeu 05/01/06	Ven 27/01/06	
21	✓	Revue de conception Kastler	1 jour	Jeu 05/01/06	Jeu 05/01/06	18
22	✓	Revue de conception Sud Médoc	1 jour	Jeu 12/01/06	Jeu 12/01/06	19
23	✓	Revue de conception J. Zay	1 jour	Ven 27/01/06	Ven 27/01/06	20
24	✓	Réunion 4 : Revue de conception système	0 jour	Ven 03/02/06	Ven 03/02/06	21
25	✓	Révision de la réunion 4	25 jours	Lun 06/02/06	Ven 10/03/06	25
26	✓	Réunion 5 : Revue de conception système	0 jour	Lun 13/03/06	Lun 13/03/06	26
27	✓	☐ Phase de qualification	41 jours	Lun 13/03/06	Ven 05/05/06	27
28	✓	☐ Fabrication	35 jours	Lun 13/03/06	Ven 28/04/06	
29	✓	Commande et réception des tiges	11 jours	Lun 20/03/06	Lun 03/04/06	
30	✓	Fabrication des étages	3 jours	Lun 03/04/06	Mer 05/04/06	
31	✓	Réalisation du sous système éjection	33 jours	Lun 13/03/06	Mer 26/04/06	
32	✓	Fabrication de l'ogive en bois	1 jour	Lun 03/04/06	Lun 03/04/06	
33	✓	Fabrication du corps composite	20 jours	Mer 29/03/06	Mar 25/04/06	
34	✓	Fabrication de la fusée plan B	3 jours	Mer 26/04/06	Ven 28/04/06	
35	✓	☐ Revue de qualification sous-système	14 jours	Mer 05/04/06	Lun 24/04/06	
36	✓	Revue de qualification Sud Médoc (remise partie parachute)	1 jour	Mer 05/04/06	Mer 05/04/06	
37	✓	Revue de qualification Kastler (remise partie télémétrie)	1 jour	Lun 24/04/06	Lun 24/04/06	
38	✓	Revue de qualification Jean Zay (remise partie basse)	1 jour	Ven 07/04/06	Ven 07/04/06	
39	✓	Réalisation câblage + tests partie télémétrie	4 jours	Mar 25/04/06	Ven 28/04/06	38
40	✓	Assemblage et essais fusée complète	1 jour	Sam 29/04/06	Sam 29/04/06	35;38;39;32;37
41	✓	Revue de qualification système	0 jour	Sam 29/04/06	Sam 29/04/06	41
42	✓	Finition de la partie télémétrie et de l'éjection parachute	4 jours	Mar 02/05/06	Ven 05/05/06	42
43	✓	Peinture coque + habillage (logos & informations capteurs)	1 jour	Jeu 04/05/06	Jeu 04/05/06	35
44	✓	☐ Lancement	1 jour	Sam 06/05/06	Sam 06/05/06	
45	✓	Pré-qualification	1 jour	Sam 06/05/06	Sam 06/05/06	36
46	✓	Lancement	0 jour	Sam 06/05/06	Sam 06/05/06	46
47	✓	☐ Phase d'exploitation	19 jours	Mar 09/05/06	Ven 02/06/06	
48	✓	Exploitation des résultats	19 jours	Mar 09/05/06	Ven 02/06/06	47
49	✓	Revue d'exploitation	0 jour	Ven 02/06/06	Ven 02/06/06	49

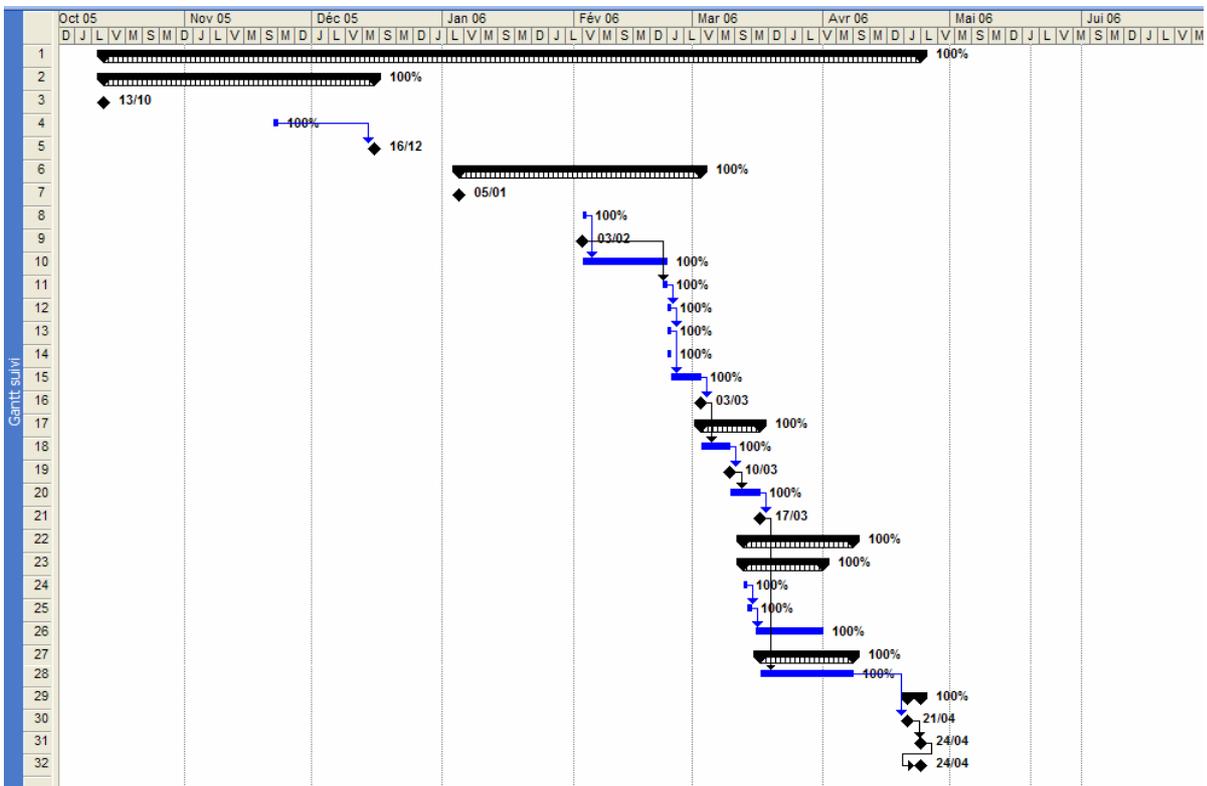
- Même Pas Peur -



• **Planning sous-traitants**

1. Kastler

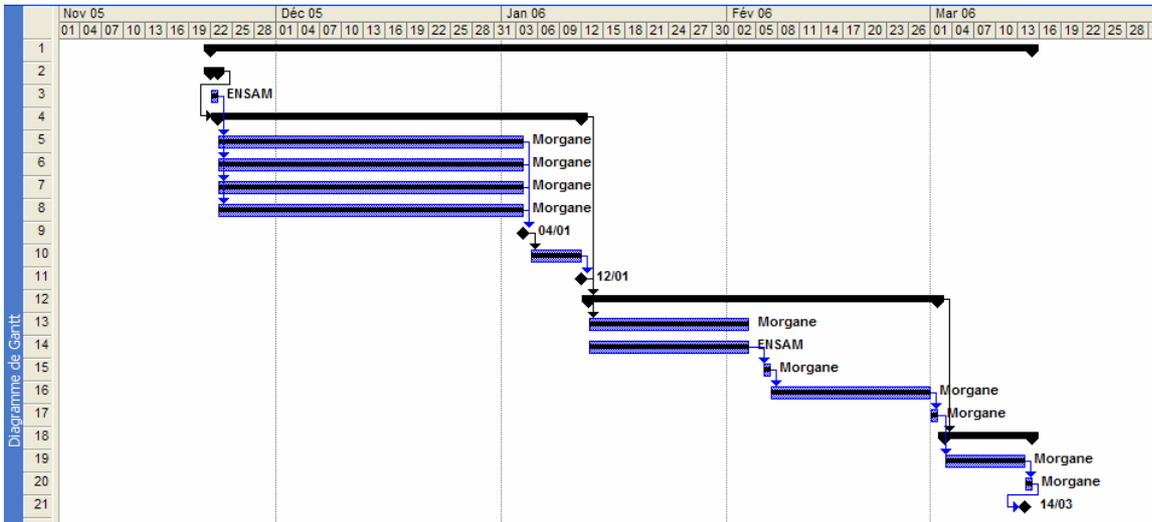
	📌	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs	Noms ressources
1	✓	☐ Télémessure [Kastler]	137 jours	Jeu 13/10/05	Lun 24/04/06		
2	✓	☐ STB	46 jours	Jeu 13/10/05	Ven 16/12/05		
3	✓	Première visite : Présentation du projet	0 jour	Jeu 13/10/05	Jeu 13/10/05		étudiants;ENSAM
4	✓	Prise de connaissance du STB	1 jour	Mar 22/11/05	Mar 22/11/05		étudiants;ENSAM
5	✓	Revue d'objectif sous système	0 jour	Ven 16/12/05	Ven 16/12/05	4	étudiants;ENSAM
6	✓	☐ Conception	41 jours	Jeu 05/01/06	Ven 03/03/06		
7	✓	Revue de conception sous système	0 jour	Jeu 05/01/06	Jeu 05/01/06		étudiants;ENSAM
8	✓	Remise du schéma électrique	1 jour	Ven 03/02/06	Ven 03/02/06		étudiants
9	✓	Réunion 4 : Revue de conception système	0 jour	Ven 03/02/06	Ven 03/02/06		Mr Belly;ENSAM
10	✓	Corrections du schéma électrique	14 jours	Ven 03/02/06	Mer 22/02/06	8	Mr Belly
11	✓	Réunion Mr Belly	1 jour	Mer 22/02/06	Mer 22/02/06	9	Mr Belly;ENSAM
12	✓	Première visite équipe 2	1 jour	Jeu 23/02/06	Jeu 23/02/06	11	Mr Belly;étudiants;ENSAM
13	✓	Remise STB définitif, validation planning	1 jour	Jeu 23/02/06	Jeu 23/02/06	12	Mr Belly;étudiants;ENSAM
14	✓	Remise tests émetteur Toucan	1 jour	Jeu 23/02/06	Jeu 23/02/06		Mr Belly
15	✓	Correction schéma électrique + nomenclature + évaluation prix de revient + masse + tests Toucan	5 jours	Ven 24/02/06	Jeu 02/03/06	13	étudiants
16	✓	Remise du schéma électrique définitif + nomenclature + évaluation prix de revient + masse + tests Toucan	0 jour	Ven 03/03/06	Ven 03/03/06	15	étudiants
17	✓	☐ Réalisation	10 jours	Ven 03/03/06	Ven 17/03/06	16	
18	✓	Réalisation du plan de câblage	5 jours	Ven 03/03/06	Jeu 09/03/06	16	étudiants
19	✓	Remise du plan de câblage	0 jour	Ven 10/03/06	Ven 10/03/06	18	étudiants
20	✓	Détermination dimensions extérieures cartes + points de fixation + Réalisation du circuit imprimé	5 jours	Ven 10/03/06	Jeu 16/03/06	19	étudiants
21	✓	Remise dimensions extérieures cartes + points de fixation + Réalisation du circuit imprimé	0 jour	Ven 17/03/06	Ven 17/03/06	20	étudiants
22	✓	☐ Tests Kastler	20 jours	Lun 13/03/06	Ven 07/04/06		
23	✓	☐ Partie antenne	15 jours	Lun 13/03/06	Ven 31/03/06		
24	✓	Remise de la coiffe ou matériau similaire à Kastler + plaque support percée + antenne	1 jour	Lun 13/03/06	Lun 13/03/06		ENSAM
25	✓	Soudure de l'antenne	1 jour	Mar 14/03/06	Mar 14/03/06	24	Mr Belly
26	✓	Réalisation des tests (interactions antenne/coiffe)	12 jours	Jeu 16/03/06	Ven 31/03/06	25	Mr Belly
27	✓	☐ Partie télémessure	16 jours	Ven 17/03/06	Ven 07/04/06		
28	✓	Montage, câblage + tests	16 jours	Ven 17/03/06	Ven 07/04/06	21	étudiants
29	✓	☐ Remise du produit	1 jour	Ven 21/04/06	Lun 24/04/06		
30	✓	Remise des cartes à Mr Belly	0 jour	Ven 21/04/06	Ven 21/04/06	28	étudiants
31	✓	Remise des cartes à l'Ensam + ensemble antenne	0 jour	Lun 24/04/06	Lun 24/04/06	30	Mr Belly
32	✓	Revue de qualification	0 jour	Lun 24/04/06	Lun 24/04/06	31	



- Même Pas Peur -

- Sud Médoc

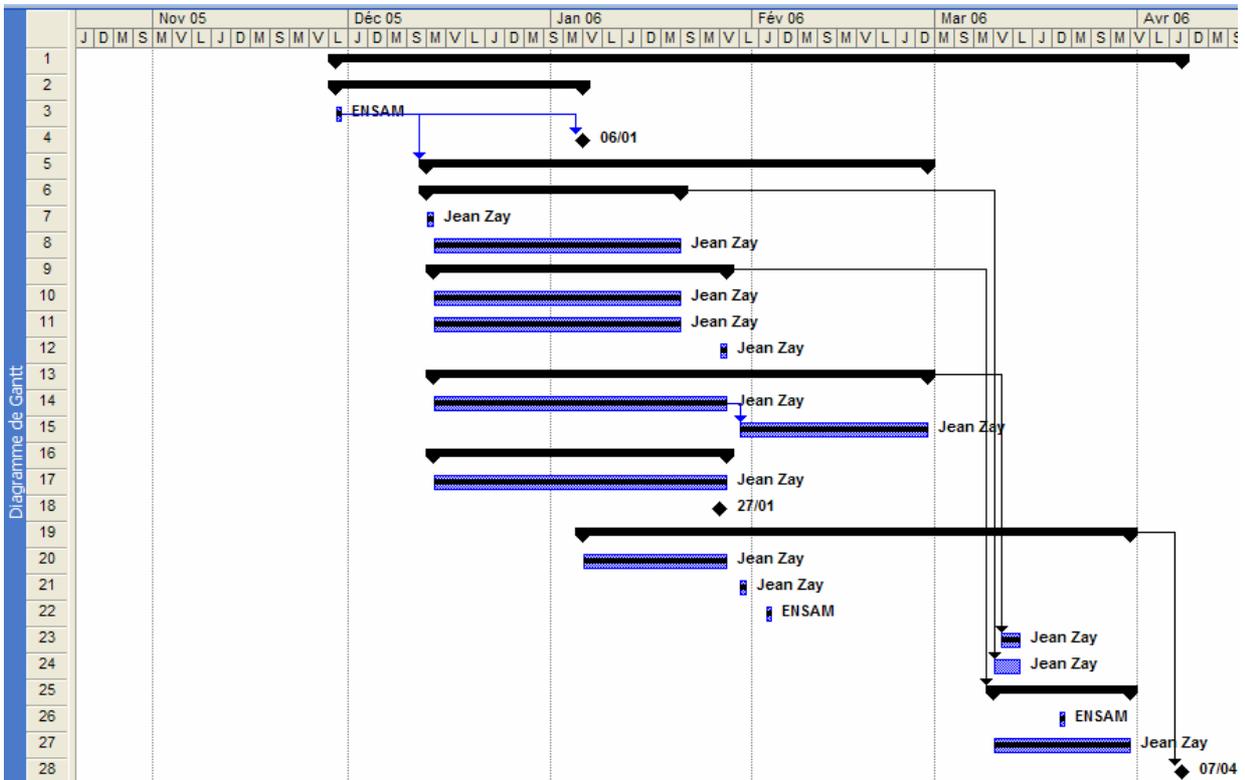
	📌	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs	Noms ressources
1	✓	☐ Sous système parachute	81 jours	Mar 22/11/05	Mar 14/03/06		
2	✓	☐ STB	1 jour	Mar 22/11/05	Mar 22/11/05		
3	✓	Remise du STB	1 jour	Mar 22/11/05	Mar 22/11/05		ENSAM
4	✓	☐ Phase de définition	36 jours	Mer 23/11/05	Jeu 12/01/06	2	
5	✓	Dessin de définition	30 jours	Mer 23/11/05	Mar 03/01/06	3	Morgane
6	✓	Matériau de l'anneau anti torche	30 jours	Mer 23/11/05	Mar 03/01/06	3	Morgane
7	✓	Choix du tissu du biais	30 jours	Mer 23/11/05	Mar 03/01/06	3	Morgane
8	✓	Planning de fabrication du parachute	30 jours	Mer 23/11/05	Mar 03/01/06	3	Morgane
9	✓	Revue d'objectif sous système	0 jour	Mer 04/01/06	Mer 04/01/06	5,6,7,8	Morgane;ENSAM
10	✓	Remise du plan de conception de l'anneau	5 jours	Jeu 05/01/06	Mer 11/01/06	9	
11	✓	Revue de conception sous système	0 jour	Jeu 12/01/06	Jeu 12/01/06	10	
12	✓	☐ Fabrication du parachute et de ses fixations	34 jours	Ven 13/01/06	Mer 01/03/06	4	
13	✓	Choix d'un nouveau matériau pour l'anneau anti torche	16 jours	Ven 13/01/06	Ven 03/02/06	11	Morgane
14	✓	Remise des matériaux (hors matériau anti torche)	16 jours	Ven 13/01/06	Ven 03/02/06		ENSAM
15	✓	Découpage du parachute	1 jour	Lun 06/02/06	Lun 06/02/06	14	Morgane
16	✓	Création ourlets, pose œillets	16 jours	Mar 07/02/06	Mar 28/02/06	15	Morgane
17	✓	Accrochage des suspentes	1 jour	Mer 01/03/06	Mer 01/03/06	16	Morgane
18	✓	☐ Phase de qualification	8 jours	Ven 03/03/06	Mar 14/03/06	12	
19	✓	Essais de qualification du parachute	7 jours	Ven 03/03/06	Lun 13/03/06	17	Morgane
20	✓	Remise des produits et des plans	1 jour	Mar 14/03/06	Mar 14/03/06	19	Morgane
21	✓	Revue de qualification sous système	0 jour	Mar 14/03/06	Mar 14/03/06	20	Morgane;ENSAM



- Même Pas Peur -

- Jean Zay

	📘	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs	Noms ressources
1		▢ Partie basse [Jean Zay]	94 jours	Mar 29/11/05	Ven 07/04/06		
2	✓	▢ STB	28 jours	Mar 29/11/05	Ven 06/01/06		
3	✓	Remise du STB	1 jour	Mar 29/11/05	Mar 29/11/05		ENSAM
4	✓	Revue d'objectif sous système	0 jour	Ven 06/01/06	Ven 06/01/06	3	ENSAM;Jean Zay
5	✓	▢ Conception	55 jours	Mar 13/12/05	Lun 27/02/06	3	
6	✓	▢ Système de transport	29 jours	Mar 13/12/05	Ven 20/01/06		
7	✓	Schémas partie système de transport	1 jour	Mar 13/12/05	Mar 13/12/05		Jean Zay
8	✓	Conception détaillée	28 jours	Mer 14/12/05	Ven 20/01/06		Jean Zay
9	✓	▢ Ailerons, logement moteur et assemblage sous ensemble	33 jours	Mer 14/12/05	Ven 27/01/06		
10	✓	Conception logement moteur	28 jours	Mer 14/12/05	Ven 20/01/06		Jean Zay
11	✓	Conception liaison encastrement aileron / logement moteur	28 jours	Mer 14/12/05	Ven 20/01/06		Jean Zay
12	✓	Prévision de la masse	1 jour	Ven 27/01/06	Ven 27/01/06		Jean Zay
13	✓	▢ Support de maintenance	54 jours	Mer 14/12/05	Lun 27/02/06		
14	✓	Schéma support de maintenance	33 jours	Mer 14/12/05	Ven 27/01/06		Jean Zay
15	✓	Conception détaillée	21 jours	Lun 30/01/06	Lun 27/02/06	14	Jean Zay
16	✓	▢ Peinture / Décoration	33 jours	Mer 14/12/05	Ven 27/01/06		
17	✓	Remettre plan mini fusée (couleurs + emplacement logos)	33 jours	Mer 14/12/05	Ven 27/01/06		Jean Zay
18	✓	Revue de conception sous système	0 jour	Ven 27/01/06	Ven 27/01/06		ENSAM;Jean Zay
19		▢ Réalisation	60 jours	Ven 06/01/06	Jeu 30/03/06		
20	✓	Choix du nom de la fusée	16 jours	Ven 06/01/06	Ven 27/01/06		Jean Zay
21	✓	Réalisation du prototype (envoi photos, réalisation tests tenue)	1 jour	Lun 30/01/06	Lun 30/01/06		Jean Zay
22	✓	Remise prototype pièce liaison corps / partie basse (en pvc)	1 jour	Ven 03/02/06	Ven 03/02/06		ENSAM
23	✓	Réalisation support de maintenance	1 jour	Ven 10/03/06	Lun 13/03/06	13	Jean Zay
24	✓	Réalisation système de transport	2 jours	Ven 10/03/06	Lun 13/03/06	6	Jean Zay
25	✓	▢ Ailerons, logement moteur et assemblage sous ensemble	15 jours	Ven 10/03/06	Jeu 30/03/06	9	
26	✓	Remise pièce définitive liaison corps / partie basse en pvc	1 jour	Lun 20/03/06	Lun 20/03/06		ENSAM
27	✓	Réalisation ailerons, logement moteur	15 jours	Ven 10/03/06	Jeu 30/03/06		Jean Zay
28	✓	Revue de qualification sous système (remise de la partie basse)	0 jour	Ven 07/04/06	Ven 07/04/06	19	Jean Zay;ENSAM



- Même Pas Peur -

Dates Prévisionnelles	Assemblage (Jean Zay)	Télémessure (Kastler)	Parachute (Sud Médoc)
	Tâches Dates réalisées	Tâches Dates réalisées	Tâches Dates réalisées
05/10/2005	Réunion 1 : Présentation du projet 05/10/2005	Réunion 1 : Présentation du projet 05/10/2005	Réunion 1 : Présentation du projet 05/10/2005
02/11/2005	Réunions 2/3 02/11/2005	Réunions 2/3 02/11/2005	Réunions 2/3 02/11/2005
21/11/2005	Revue Objectif Système 21/11/2005	Revue Objectif Système 21/11/2005	Revue Objectif Système 21/11/2005
22/11/2005	Remise de CDC Jean Zay 29/11/2005	Remise de CDC Kastler 22/11/2005	Remise de CDC Sud Médoc 22/11/2005
06/12/2005	Revue Objectif ss syst 06/01/2006	Revue Objectif ss syst 16/12/2005	Revue Objectif ss syst 04/01/2006
13/01/2006	Revue Conception ss syst 27/01/2006	Revue Conception ss syst 05/01/2006	Revue Conception ss syst 12/01/2006
14/01/2006	Réunions 4/5 27/01/2006	Réunions 4/5 27/01/2006	Réunions 4/5 27/01/2006
	Revue Conception Système 13/03/2006	Revue Conception Système 13/03/2006	Revue Conception Système 13/03/2006
04/02/2006	Fin fabrication coque et structure interne 28/04/2006	Fin fabrication coque et structure interne 28/04/2006	Fin fabrication coque et structure interne 28/04/2006
18/02/2006	Remise coque pour peinture /		
25/02/2006		Fin fabrication télémessure 21/04/2006	Fin fabrication parachute 01/03/2006
11/03/2006	Remise produits partie basse 07/04/2006	Remise produits télémessure 24/04/2006	Remise produit parachute 05/04/2006
14/03/2006	Revue Qualification ss syst 07/04/2006	Revue Qualification ss syst 24/04/2006	Revue Qualification ss syst 05/04/2006
18/03/2006	Fin tests partie basse 29/04/2006	Fin tests télémessure 03/05/2006	Fin tests parachute 05/05/2006
25/03/2006	Essai fusée complète 29/04/2006	Essai fusée complète 29/05/2006	Essai fusée complète 29/05/2006
01/04/2006	Réunion 6 29/04/2006	Réunion 6 29/04/2006	Réunion 6 29/04/2006
	Revue Qualification Système	Revue Qualification Système	Revue Qualification Système
08/04/2006	Révisions pré Qualification sem 18	Révisions pré Qualification sem 18	Révisions pré Qualification sem 18
01/05/2006	Qualification 06/05/2006	Qualification 06/05/2006	Qualification 06/05/2006
01/05/2006	Lancement 06/05/2006	Lancement 06/05/2006	Lancement 06/05/2006

4. Planning comparatif

Légende :

partie propre au sous système
partie ensam
date butoire

5. Matrice des contraintes

MATRICE DES CONTRAINTES GLOBALE							
Code fonction (CdC planète sciences)	Description fonction	Critère d'appréciation	Valeur	Gestion de la fonction			
				ENSAM	Kastler	Jean Zay	Sud Médoc
GN1	Ne présenter aucun danger pour les personnes ou l'environnement			Aurélie			
GN2	Prévoir interrupteur de mise à la masse pour chaque inflammateur			Aurélien			
GN3	Etre compatible avec la rampe Idéfix		Rampe Idéfix 4 patins uniquement	Aurélie			
GN3	Permettre l'accès aux commandes une fois en place		Position adéquate des commandes	Aurélie			
GN4	Prévoir une autonomie suffisante	Voltage + Courant délivré par piles	Télémesure: > 45 min (CdC fusée expérimentale, MES2), Minuterie: t = 15min U max = 5V I max = 250mA	Virginie			
GN4	Présence d'un interrupteur marche-arrêt	possibilité pour l'utilisateur d'agir sur l'alimentation du système	position de l'interrupteur (ouvert / fermé)	Virginie			
GN5	Connaître l'état de la fusée à tout moment	présence d'un indicateur pour les différents états de la fusée	Etiquettes de position des interrupteurs	Viginie			

- Même Pas Peur -

VL1	Fournir une chronologie au responsable de lancement	Savoir qui fait quoi et quand le jour du lancement	Calquée sur la fiche technique N°5	Aurélien			
VL2	Prévoir l'installation du propulseur	Permettre une mise et un maintien en position rapide et simple du propulseur	Centrage, maintien et plaque de poussée suffisante				
VL3	Assurer un bon dimensionnement et une bonne fixation des ailerons	Alignement, répartition et résistance	Angle maxi entre axe fusée et axe aileron = 5 °, test de résistance des fixations, test de résistances ailerons				
VL4	Assurer la stabilité de la fusée en vol	Vérifications sur TRAJEC	voir CdC p 8	Pierre			
VL5	Respecter la flèche maximum	Test décrit dans le CdC p 11	flèche < 1%	Aurélien			
VL6	Ne perdre aucun élément de la fusée en vol	Fixation de tous les éléments au corps de la fusée, conception parachute	Pouvoir secouer la fusée sans endommagements internes et externes, test attache parachute	Aurélien			
RC1	Ralentir efficacement la fusée pour retour au sol	Conception du parachute	Vitesse atterrissage entre 5 et 15 m/s				
RC2	Déclencher l'ouverture du parachute à culmination	Réglage minuterie	Temps minuterie déterminé avec TRAJEC	Virginie			

- Même Pas Peur -

RC3	Résistance du système de récupération	Choc de l'ouverture	test: résistance à une masse de 6,6 kg				
RC4	Permettre ouverture trappe au bon moment	Ne pas s'ouvrir sans être commandée, s'ouvrir malgré les contraintes de vol	Renfort structure, tests décrits dans CdC p 13	Aurélie			
RC5	Retour de la fusée dans le gabarit de lancements défini	Respect d'une masse minimale, compatibilité terrain / fusée	M mini = 1,4kg (propulseur compris)	Aurélien			
TEL5	Respecter les normes	Réglementation internationale des télécommunications, normes en vigueur pour la télémétrie, normes électroniques	Norme IRIG 20%				
OBJ2 METH1	Effectuer des mesures répondant aux objectifs de l'expérience	Grandeurs physiques mesurées	Accélération suivant 3 axes orthogonaux dont un selon l'axe de la fusée et vitesse angulaire suivant l'axe de la fusée	Kevin (intégration capteurs) Aurélien (axe de la fusée)			
OBJ2 METH2,3,4	Donner des résultats exploitables	Gamme de mesure, précision, erreurs de mesure	Rotation max de 1 tr/s pour le gyromètre	Kevin			
IRIG1 TEL8	Etre contrôlable facilement	Présence de cavaliers, présence d'une interface contrôle TOS	Cela entre chaque élément de la chaîne de mesure, prise BNC sans modifier la structure système				
DEF1,2 REA1,2,3	Fournir des informations sur le vol de la fusée	Données enregistrées	Suffisantes	Kevin			

- Même Pas Peur -

IRIG2,3,4 MES2 TEL5,6,8	Emettre un signal pouvant être reçu dans de bonnes conditions	Excurtion en fréquence sur chaque voie IRIG Fréquences centrales des bandes IRIG Amplitude de tous les canaux IRIG utilisés Tension d'alim émetteur Tension de modulation Puissance HF émise TOS
-------------------------------	---	--

± 20 %
Respectant la norme
La même à ± 10 %
Entre 8 et 15 V
Entre 0 et 5 V
> 150 mW
<2

--	--	--	--

6. Plan B

I. ETUDE PRELIMINAIRE

Idée retenue : corps en PVC, ogive rapportée et allègement interne

éléments	Masse	encombrement	caractéristiques	Renvoi
Corps PVC	634g	802 mm	compressible	1
Ogive bois	50 g (estimation)	150 mm	compressible	2
Partie propulsion	440 g (tt compris)	138 mm	incompressible	3
Partie télémessure	375 g+72 g (antenne)	400 mm	retirable	4
Partie éjection/para	249 g	320 mm	incompressible	5
Bague de Centrage	160 g	Inclus ailleurs	incompressible	6
Pièce de Centrage	39 g	Inclus ailleurs	incompressible	7
Structure interne	114 g	802 mm	compressible	8
Eléments de liaison	50g		estimation	9

1) le tube issu du commerce possède les caractéristiques suivantes :

Densité : 1,4

Diamètres : 57-63mm

Épaisseur : 3 mm

Longueur : 802 mm (calculée à partir du haut des ailerons - sans ogive)

Longueur incompressible : 350 mm (gain maxi 56%)

Masse = 634g

→ possibilité de diminution

2) Densité : 0,55

Usinée à partir de la géométrie initialement retenue.

→ autre alternative : utilisation de la mousse, modifier l'encombrement initial.

3) Partie en cours de réalisation, conception arrêtée et NON remplaçable,

→ conservée quoiqu'il arrive

4) Non indispensable pour obtenir l'autorisation de tir. Peut être retirée en dernier recours.

Cette partie constitue un tout, il n'est pas envisageable de repenser une conception allégée de certains éléments

→ possibilité de retrait total de cette partie

5) Partie qui tiendra les délais : le parachute est en bonne voie (SUD MEDOC), la partie éjection est quasiment terminée (ENSAM)

→ partie absolument nécessaire car elle conditionne le lancement d'après le cahier des charges. Toute modification sur cette partie est totalement proscrite.

6) Et 7) ces pièces garantissent la stabilité de la fusée car elle dispose le centre de poussée au niveau de l'axe de la fusée

→ pas de modifications envisageables ici.

- 8) cette partie peut être raccourcie en parallèle du tube, on peut même réduire sa fonction au maintien de la partie éjection/parachute si la partie télémétrie disparaît

Longueur initiale : 802 mm

Longueur incompressible : 330 mm (longueur gagnée : 59%)

Cette structure est composée de rondelles composites (nida) et de tige carbone. On peut donner une estimation de la masse susceptible d'être gagnée : 50%

- 9) Eléments de liaison et colle : basée sur des estimations. On ne peut pas envisager de gagner sur cette partie. Les liaisons assurent les interactions entre les sous parties et la tenue globale de la fusée.

→ pas de possibilités à partir de cette piste

II. CONCLUSION

Les idées retenues sont :

- Substitution du corps composite par un corps PVC
- Réduction de la longueur de la fusée
- Suppression de la partie télémétrie (par souci d'encombrement et de masse)

III. APPLICATION

Masse avec le corps PVC en respectant la géométrie actuelle de la fusée (1120 mm de Long) :

$634+50+440+375+72+249+160+39+114+50 = 2183 \text{ g}$

Or le cahier des charges impose une masse maxi de 1700g

Masse à retirer au minimum : 483 g

Rem : la définition peu précise de ce plan B nécessite d'introduire de marges de sécurité à ce niveau

Solution :

- Suppression de l'antenne = 72g
- Suppression de la télémétrie = 249g
- Diminution de 25% de la longueur du tube = 158,5 g (30% → 190g, 55% → 348g)
- Diminution structure interne à 50% : 57g

D'où les caractéristiques fusées B obtenus :

Gain en longueur	Masse gagnée	Nouvelle masse	Ecart CdC	Nouvelle longueur	Finesse (L/D)
B1 → 25%	536g	1646g	3 %	919 mm	14,5
B2 → 30%	568g	1615g	5 %	879 mm	13,9
B3 → 55%	669g	1514g	11%	679 mm	10,8

Rappel: $finesse = \frac{L}{D}$ avec $D = 63mm$

IV. VERIFICATION TRAJEC (ex : fusée B2)

Hypothèse :

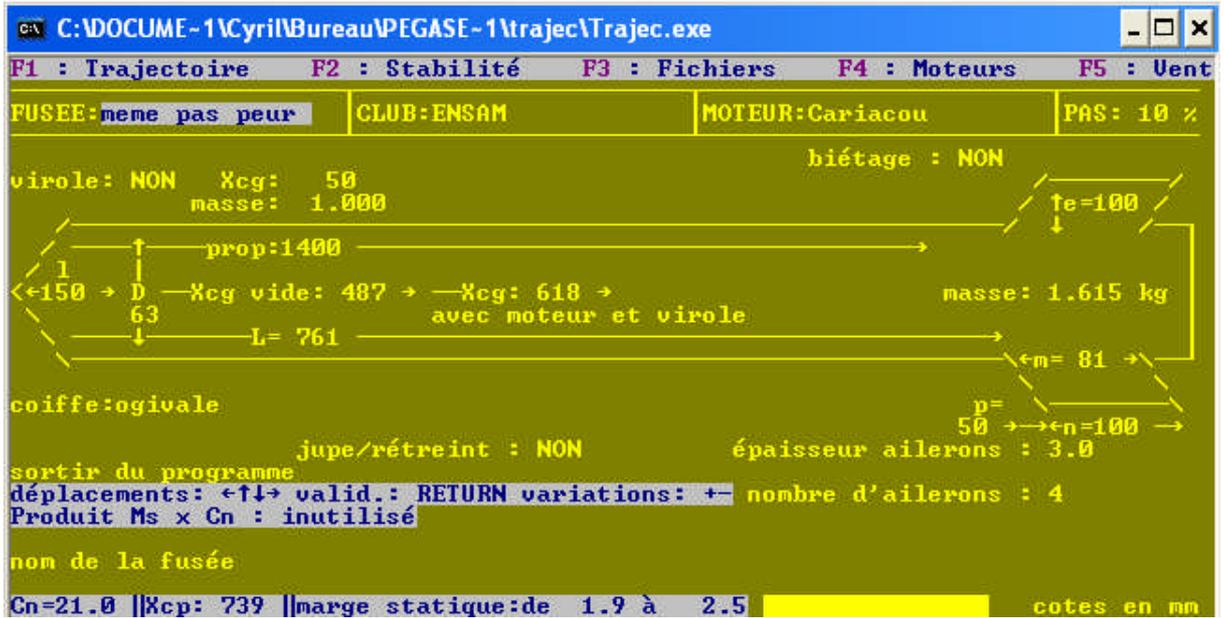
- Même Pas Peur -

Centre de gravité de la fusée B2 sans moteur a 40 % du bas du tube :

$$138+20+10+ 0.4*(0.7*802) = 392 \text{ mm}$$

(TRAJEC depuis l'ogive : 879 - 392 = 487 mm)

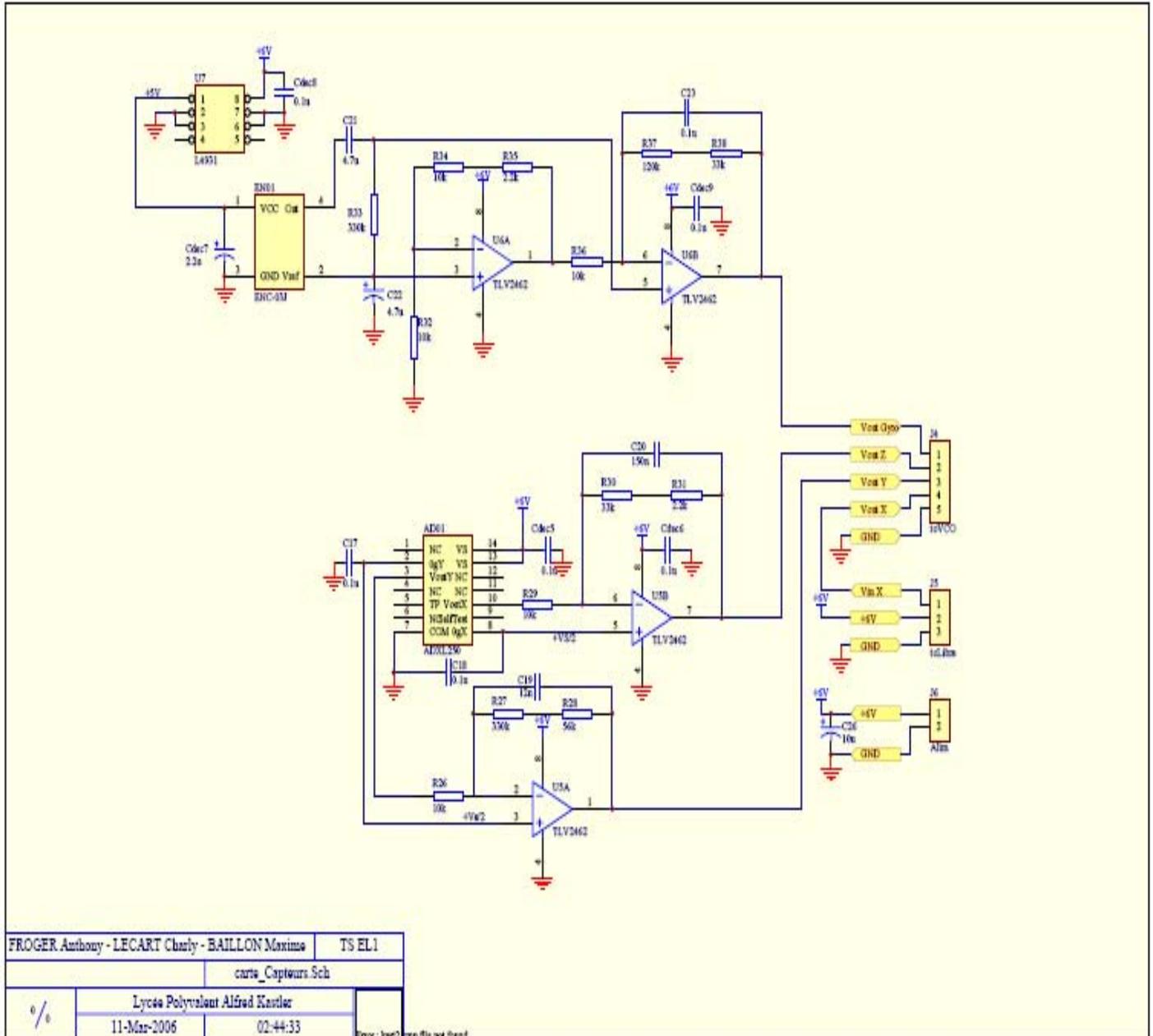
Longueur au dessus de la partie basse : 761 mm



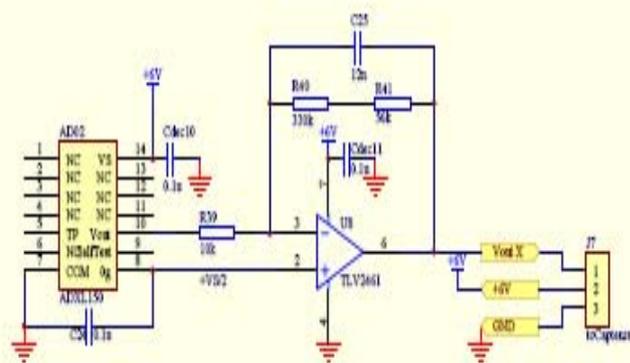
Critère	Valeur	Cdc minifusée	Qualification
Marge statique	1,9 à 2,5	1,5 à 6	OK
Portance	21	15 à 30	OK
Ms*P	39,9 à 52,5	Entre 30 et 100	OK

7. Schémas des cartes électroniques

- Carte Capteurs

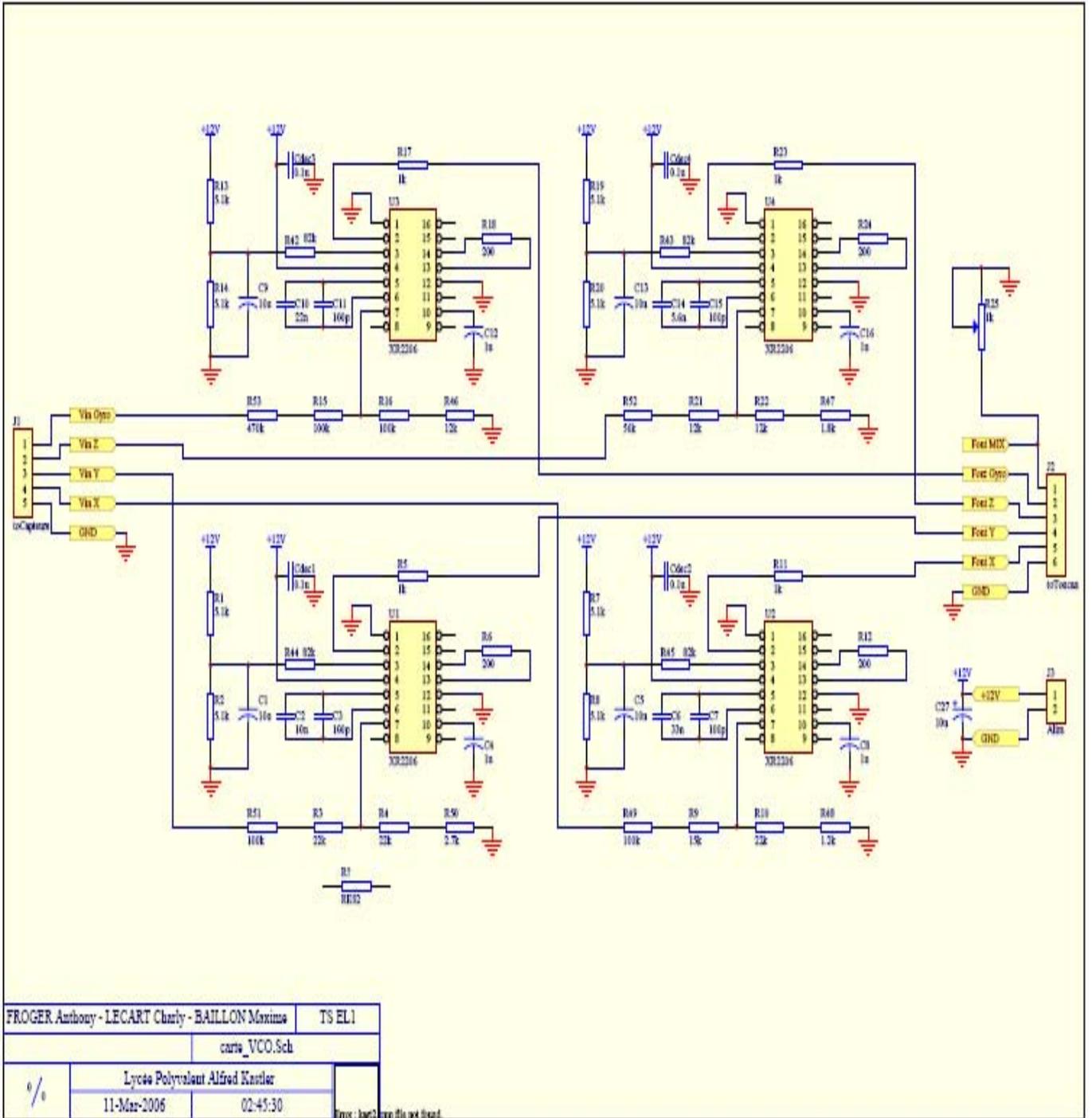


- Carte Libre :

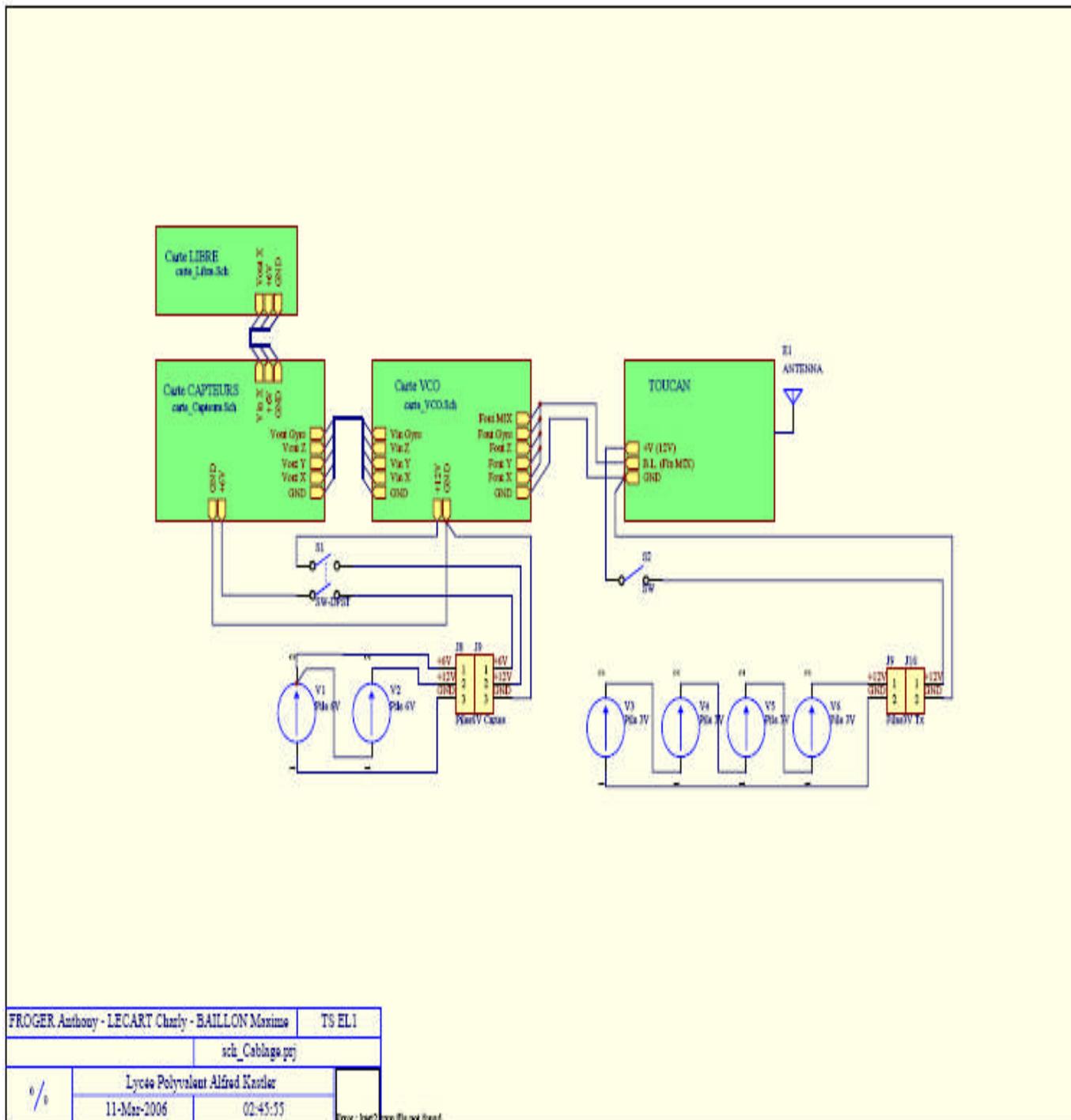


FROGER Anthony - LECART Charly - BAILLON Maxime		TS EL1
carte_Libre.Sch		
%	Lycée Polyvalent Alfred Kastler	
	11-Mar-2006	02:45:42

- Carte VCO



1. Schéma de câblage



8. Contraintes à respecter pour la télémessure

4. Télémessure analogique IRIG

IRIG 1 : Des points de test et des cavaliers doivent être présents entre chaque élément de la chaîne de télémessure : capteur, conditionneur, VCO, multiplexeur et émetteur.

IRIG 2 : L'excursion en fréquence sur chaque voie IRIG doit être de 20%

IRIG 3 : Les fréquences centrales des bandes IRIG utilisées doivent correspondre au tableau suivant :

$$F_{\min} < F_{\text{centrale}} < F_{\max}$$

	Fmin	Fcentrale	Fmax
Voie 1	320Hz	400 Hz	480 Hz
Voie 2	1040 Hz	1300 Hz	1560 Hz
Voie 3	3200 Hz	4000 Hz	4800 Hz
Voie 4	10400 Hz	13000 Hz	15600 Hz

IRIG 4 : Dans le cas de l'utilisation de plusieurs canaux IRIG, ils doivent tous avoir la même amplitude à 10% près.

MES 2 : La chaîne de mesure globale doit avoir une autonomie d'au moins 45 minutes

5. L'émetteur

TEL 5 : L'émetteur doit être capable de transmettre dans de bonnes conditions les données issues de l'expérience, en respectant la réglementation internationale des télécommunications.

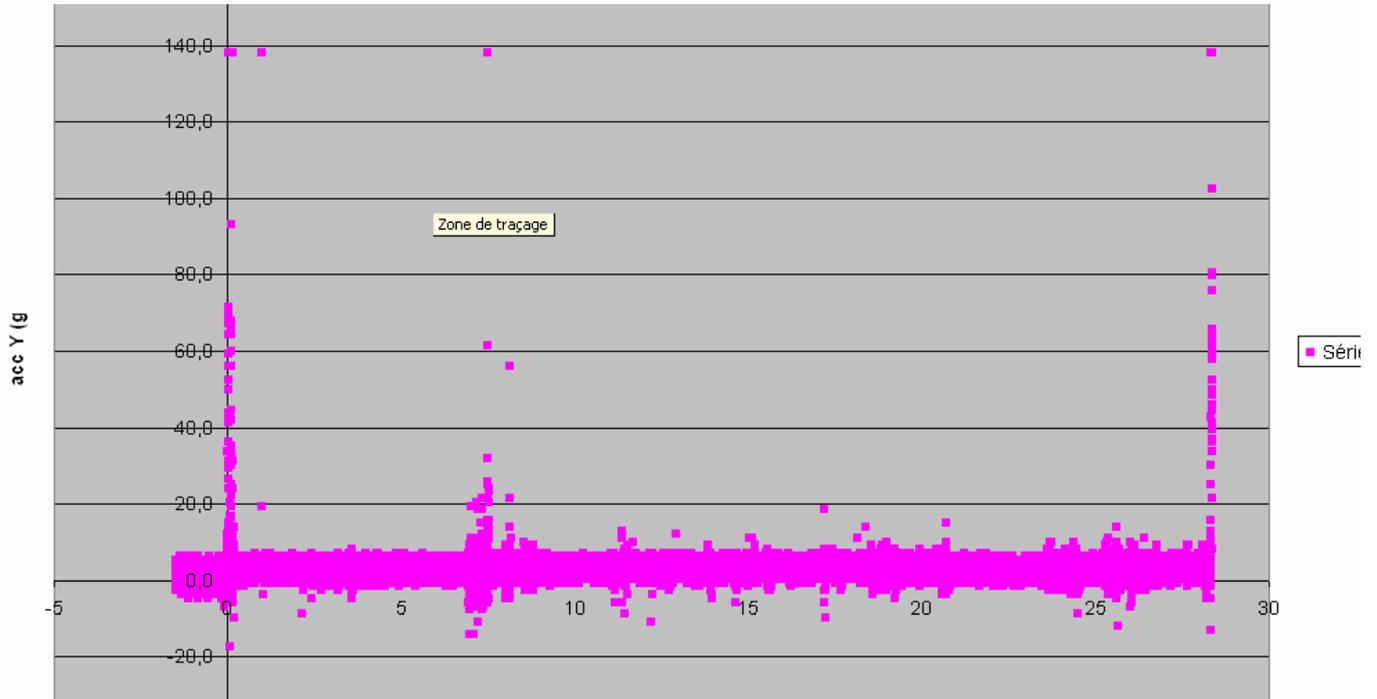
Cette condition est vérifiée dans le cas de l'utilisation correcte d'un émetteur fourni par PLANETE SCIENCES.

Ainsi pour le Kiwi, il faut notamment que :

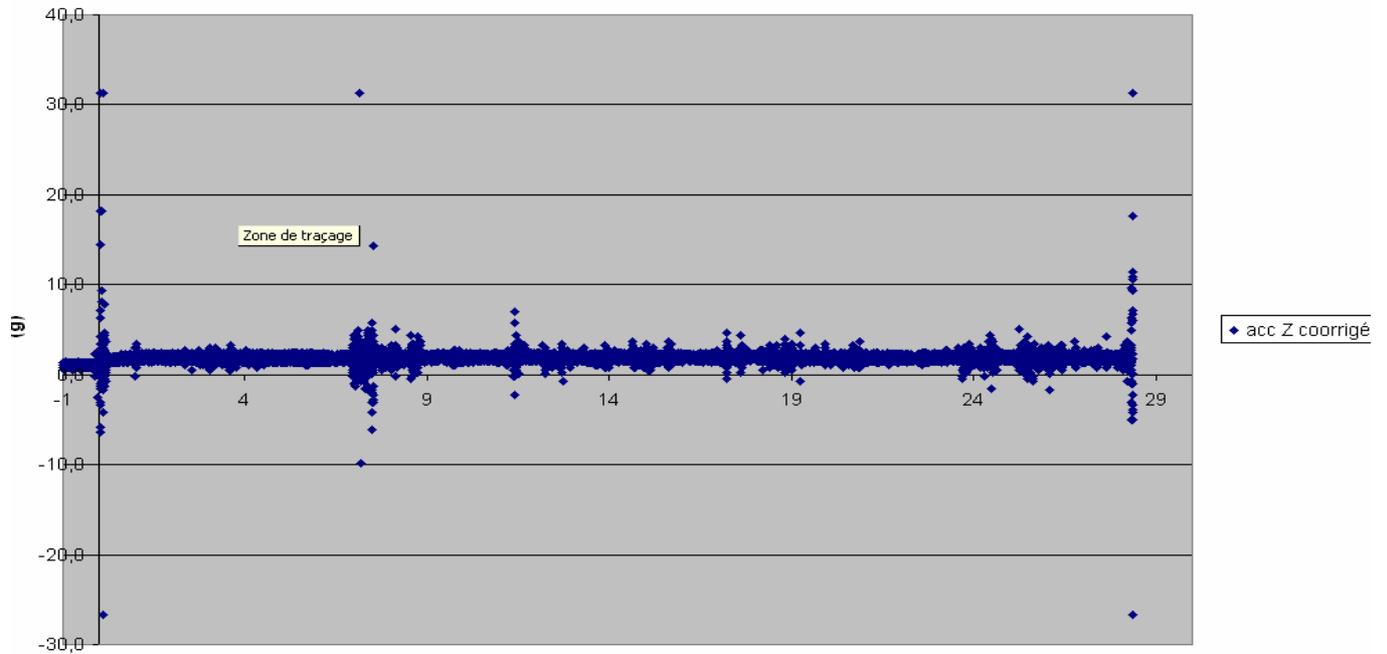
- l'alimentation de l'émetteur soit entre 7.5 et 14V
- la tension de modulation soit entre 0.1V et 5V crête à crête.

9. Graphique de l'accélération suivant y et z

2. Accélération suivant y (réoffseté) :



3. Accélération suivant z (réoffseté) :



10. Dossier de définition technique sous système éjection.

NOMENCLATURE DU SOUS-SYSTEME D'EJECTION

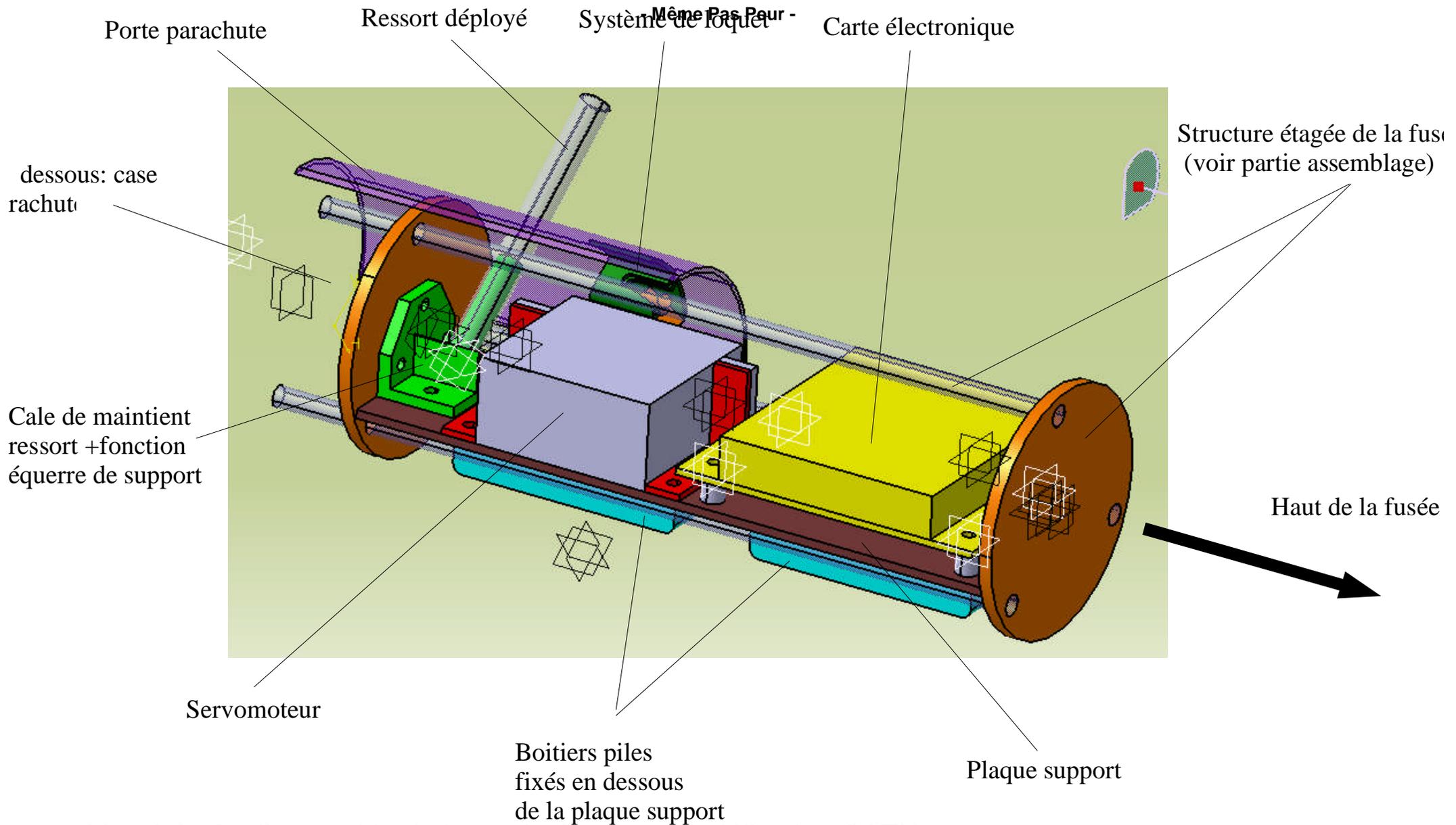
Ceci est la nomenclature de la partie éjection ; les pièces ont été soit achetées, soit fabriquées à l'ENSAM.

Le souci majeur pour la conception est le poids ; l'importance du choix du matériau des pièces et des formes sont capitaux : c'est pour cette raison qu nous avons choisi d'utiliser de la tôle d'aluminium pour les équerres. Pour certaines pièces complexes (par exemple pour la cale ressort) nous avons même utilisé le prototypage rapide qui permet de faire des pièces complexes et très légères.

NOMENCLATURE

Référence	Désignation	Quantité	Dimension
1	Carte minuterie	1	70*54*2
2	Carte support	1	150*40*2
3	Boitier piles LR04	2	voir doc
4	Servomoteur	1	voir doc
5	Entretoises (carte minuterie)	4	voir plan
8	tubes	3	D=5mm
9	Rondelle nid d'abeille	1	D=56mm, e=3mm
11	Equerre de liaison	3	voir plan
12	Boulons de fixation (vis + ecrous)	15	D=3mm
13	Cale ressort	1	voir plan
14	Ressort de compression	1	Dext= 6,8mm, Libre= 65mm, Lmini= 17,4mm, F= 6,57N, k= 0,14
15	Piles LR04	4	voir doc
16	Prise jack 2.5mm (mono)	1	voir doc
17	Trappe	1	h=220mm, périmètre corps 1/3
18	Interrupteurs	2	A choisir
19	Came	1	voir plan
20	Encoche	1	voir plan

Voici la nomenclature de la partie éjection, les paragraphes suivants concernent des précisions techniques ou des améliorations de cette partie.



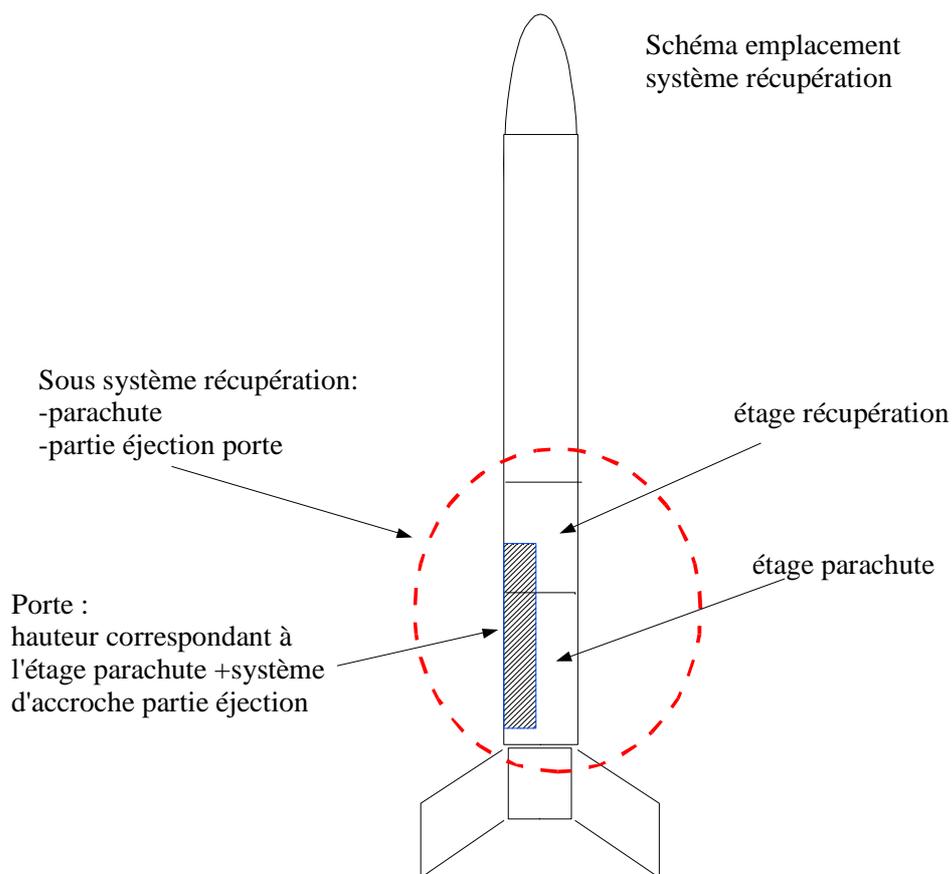
Vue éclatée d'ensemble de la partie éjection (modélisation CATIA)

Annexe du dossier de définition

Introduction au sous système éjection

Le sous-système éjection fait partie du processus technique de récupération de la fusée lors de son vol. Ce système doit permettre la libération de la porte de la case parachute au bout d'une temporisation correspondant au temps de culmination de la fusée.

Ce système est composé d'une carte électronique de commande, d'un servomoteur, et d'un système d'éjection par ressort ; tous ces éléments sont situés dans l'étage au dessus du parachute.



1. Modification du système de maintien du ressort d'éjection.

Le ressort d'éjection est une solution fiable et efficace pour assurer l'éjection de la porte de la case du parachute, ici c'est la mise en place du ressort qui est améliorée :

En effet, le maintien d'un ressort de compression uniquement par le bas me paraît une solution assez risquée, surtout quand on sait que le cahier des charges de la fusée stipule que tout sous système mécanique doit être susceptible de résister à une accélération correspondant à une fois et demi l'accélération de la fusée au décollage.

- Même Pas Peur -

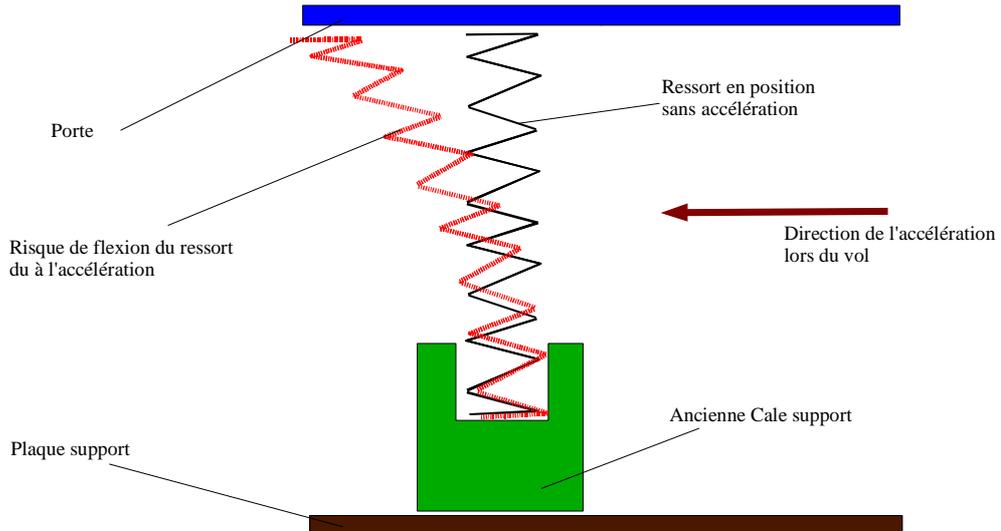
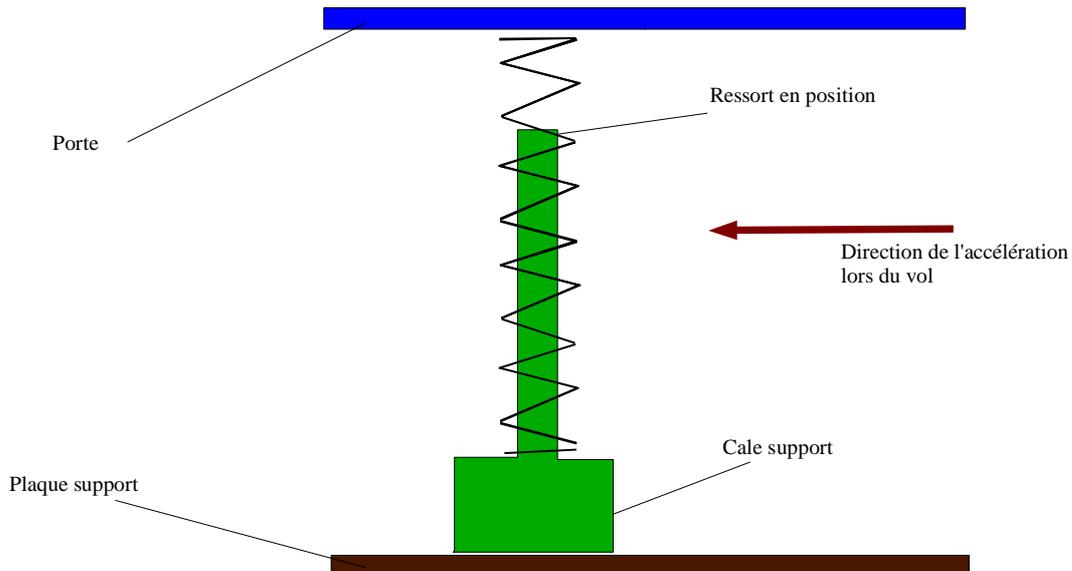


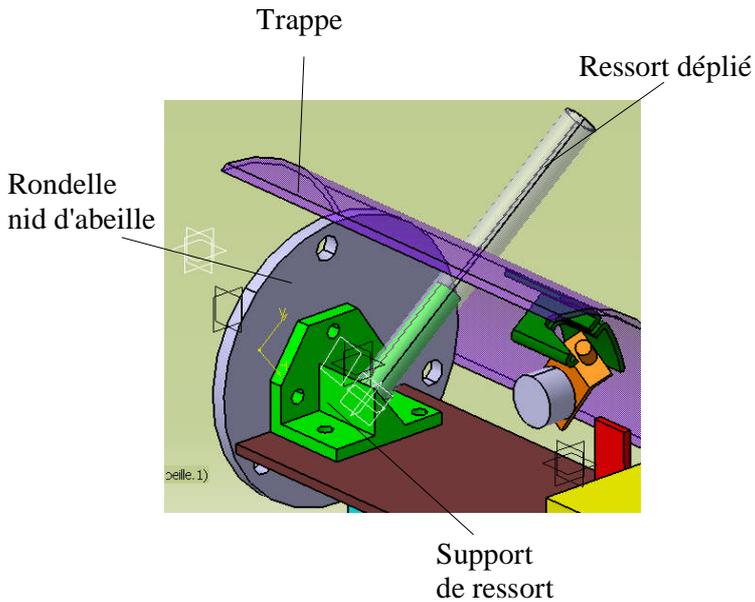
Schéma hypothétique de défaillance du système avant modification.

Partant de ce constat (qui se base sur des hypothèses de comportement non vérifié), je décide d'introduire un système de guide du ressort qui permettra, quelque soit l'accélération, de maintenir le ressort selon un axe radial à la fusée :



- Même Pas Peur -

Le fichier Assemblage sous CATIA spécifie l'état dimensionnel du ressort (ressort en position libre). Une photo du système cale +ressort permet d'apprécier la petite dimension de l'ensemble.



Après avoir modifié la pièce support de ressort, il convient de vérifier si la poussée du ressort est suffisante pour éjecter la porte :

Rappel : Force nécessaire à l'éjection=2N

Je mesure la distance entre la surface d'appui ressort et la porte (en bleu sur l'image), il vient : $D=36\text{mm}$

Alors la force est : $F=k \cdot (L_0 - D) = 0.14 \cdot (65 - 36) = 4.09\text{N} > 2\text{N}$ donc la modification est validée.

Compte tenu de la complexité de cette pièce, le choix du procédé de prototypage rapide a été retenu pour fabriquer la pièce.

Poids de la pièce (mesuré)=5g

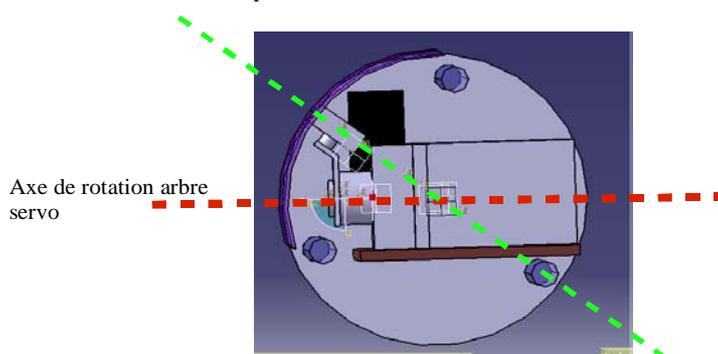
2. Système d'accroche de porte par loquet.

Le système de loquet a été étudié pour permettre une meilleure liaison entre la came fixée sur l'arbre de sortie du servomoteur et la porte.

Il convient de remarquer que le mouvement de cette came est particulier comme le montre le schéma suivant ; L'axe du servomoteur n'est pas situé perpendiculairement au plan médian de la porte, il en résulte un mouvement de rotation particulier lors du pivotement de la came.

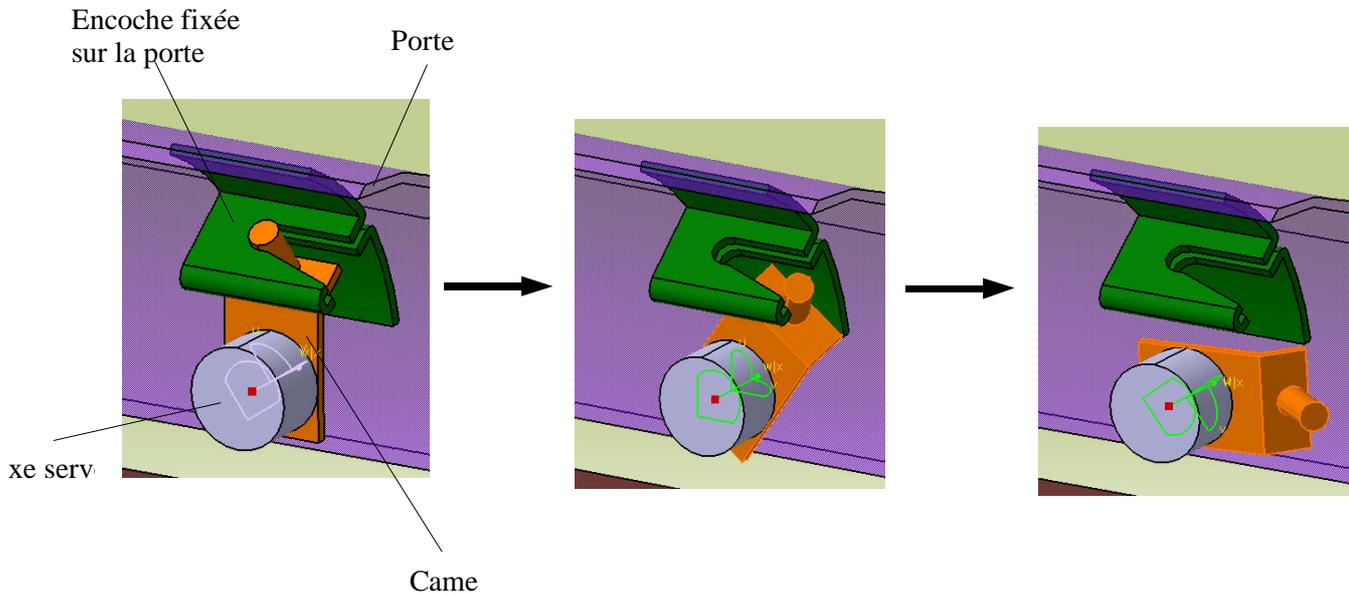
Plan médian de la porte

->voir schéma ci-dessous :



- Même Pas Peur -

Un système de loquet type portière automobile a été dessiné, avec un système en deux parties ; le contact établi entre la porte et la came est alors du type linéique puisque les surfaces de contact sont cylindriques :



Au point de vue poids du système, on choisit de la tôle d'aluminium pour la fabrication des pièces qui représente un compromis entre résistance mécanique et poids.

Volume des pièces encoche+came= $8,5 \cdot 10^{-7} \text{m}^3$

Masse volumique Aluminium= 2800kg/m^3

Poids système d'accroche= $V \cdot \rho = 5 \text{g}$

3. Positionnement du servomoteur

Afin de réduire sensiblement l'encombrement du système et de réduire son poids, le positionnement du servomoteur sera assuré par deux équerres en tôle d'aluminium (voir dossier de définition). Leur fixation sera assurée par des boulons de diamètre 3mm à la fois sur le servomoteur et sur la carte support.

Poids estimé des équerres :

Volume global équerres = $4,8 \cdot 10^{-7} \text{m}^3$

Masse volumique aluminium= 2800kg/m^3

Poids P des équerres= $2 \cdot V \cdot \rho = 3,5 \text{g}$

Poids P2 solution fixation servomoteur (équerres+8boulons)= $3,5+4=8 \text{g}$ (environ).

11. Grafcet de mise en fonctionnement fusée sur le pas de tir

Responsable partie éjection :
Philippe BOISSEAU
Matériel :
1 tournevis

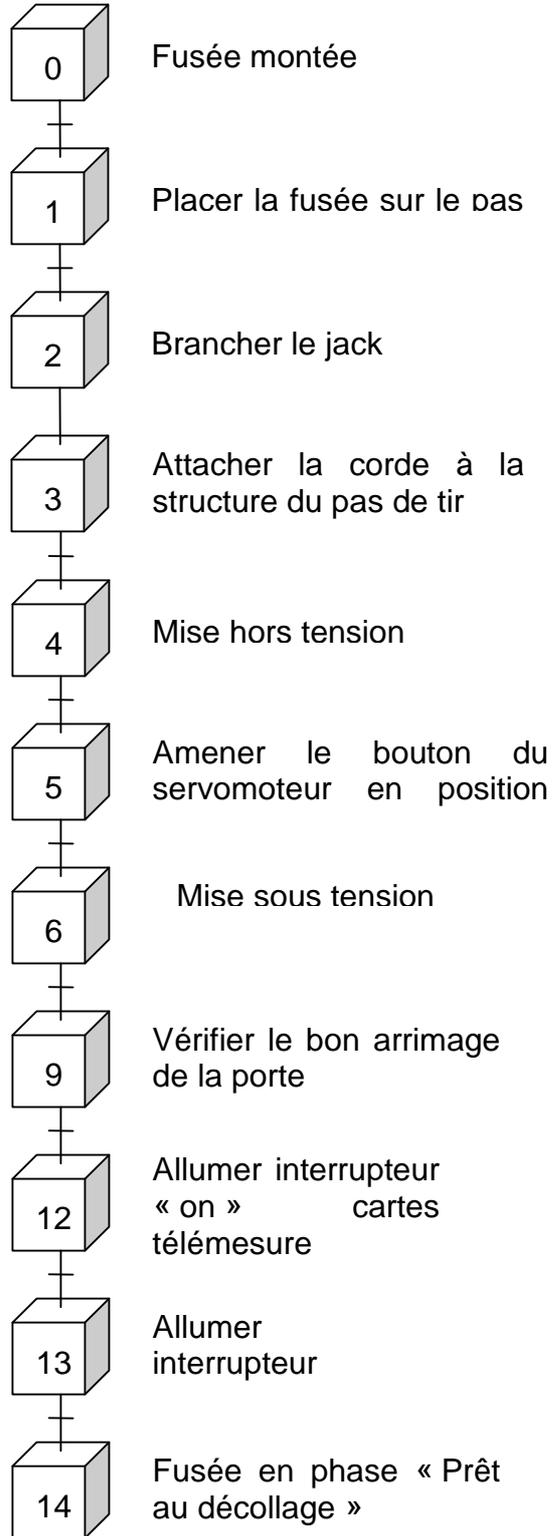
Opérateur interrupteurs :
A définir

Vérification du basculement par responsable de partie éjection.

Responsable partie télémétrie :
Virginie HAM
Matériel :
1 tournevis

Opérateur interrupteurs :
A définir

Vérification du basculement par responsable de partie télémétrie.



**Branche Grafcet
Décollage**

Ce grafcet recense les différentes opérations à effectuer une fois le montage de la fusée terminé.

Il prend en compte un petit test de vérification du fonctionnement de la partie éjection de porte. En effet il est difficile d'évaluer à l'avance (en phase de conception) si le système d'éjection fonctionnera. C'est pourquoi une dernière vérification en situation non réaliste est effectuée (la fusée ne vole pas au moment du test).

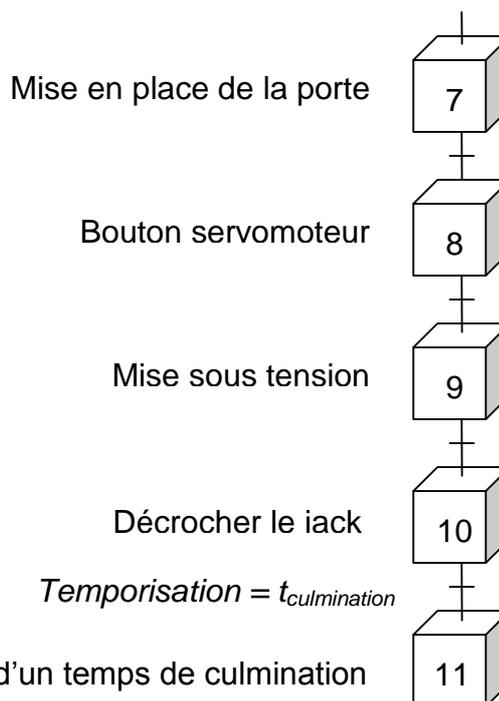
Ce grafcet ne représente aussi qu'une seule situation de vie : la situation normale parfaite ou tout est configuré correctement. Pour considérer les différents modes dégénérés concernant la partie éjection, une étude de ces différents états a déjà été effectuée par l'équipe précédente.

En ce qui concerne le déclenchement de la minuterie grâce au jack, le système d'arrimage a été réalisé comme énoncé à la revue de conception. Des tests d'arrachement manuels ont été effectués pour vérifier la bonne tenue mécanique du système. Il faudra veiller à arrimer le jack à la structure par la cordelette de façon à ce que celle-ci soit efficace (direction de corde le plus possible dans la direction de la fusée) mais en veillant à ne pas gêner le départ de la fusée sur la structure : le risque majeur est que la corde se sectionne et que le jack femelle parte avec la partie mâle et que le To de départ ne soit pas détecté.

Concernant la partie télémessure, une simple intervention sur les deux interrupteurs de marche, dans l'ordre prescrit par le grafcet suffit. On veillera tout de même en phase de montage à vérifier que la partie télémessure transmet les données au camion de réception des données.

12. Grafcet de test de la porte au niveau de la zone de préparation

Responsable
partie éjection :
Philippe
BOISSEAU



Vérifier que la porte s'ouvre au bout d'un temps de culmination

Zone de préparation de la fusée :

Personnes présentes : toutes

Opération à effectuer sur cette zone :

- test de l'ouverture porte en conditions (voir grafcet ci-contre)
- pliage et re-positionnement éventuel de l'ensemble parachute dans son logement fusée.
- mise en place de la porte parachute.
- test de la partie télémessure avec test de communication entre la fusée et le camion de réception.

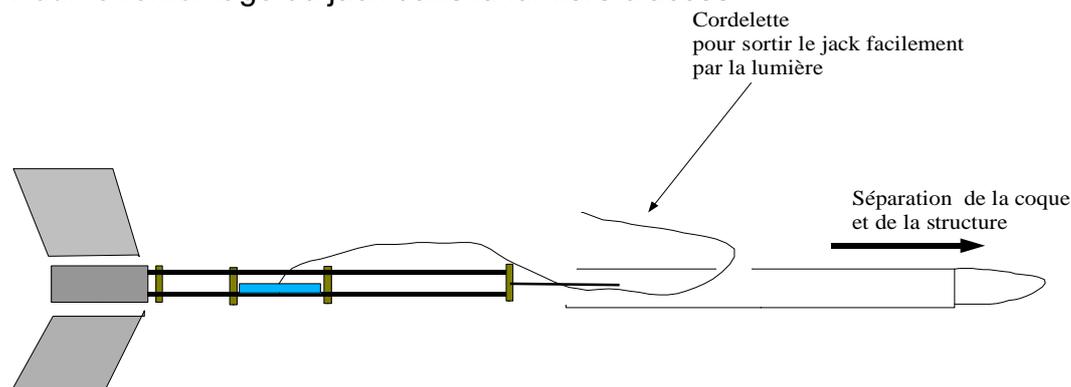
Si présence de pannes majeures :

- désolidariser et sortir l'ensemble structure+ systèmes de la coque

Pour cette opération et en vue de faciliter le remontage, il est

Nécessaire de :

- Décrocher la porte
 - accrocher le jack à la partie femelle, la corde sert de guide
- Pour le remontage du jack dans la lumière d'accès.



- Même Pas Peur -

- agir, réparer le système défectueux,

Exemple :remplacement du jeu de piles partie éjection par un jeu neuf pour le vol de la fusée (cette opération nécessite de sortir la structure).

Pour remonter les deux sous ensembles :

- Assembler les deux parties en prenant soin de ressortir le jack et l'antenne par l'orifice supérieur
- Solidariser les deux parties à l'aide d'un tournevis.