

COMPTE RENDU DU PROJET : F01-0607



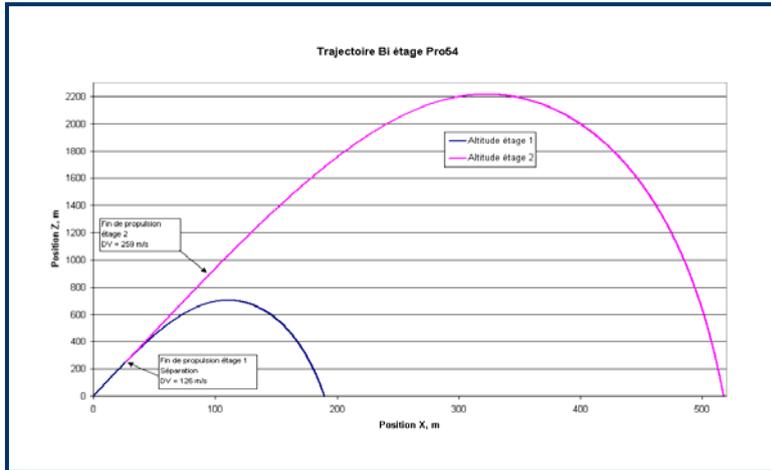
Responsable de projet : JOURDAN Guillaume

Année : 2006 - 2007

SOMMAIRE GENERALE

1.	Les objectifs d'AeroIPSA.....	3
2.	Les objectifs du projet F01-0607.....	3
3.	Principales caractéristiques et choix technologiques du projet.....	4
3.1.	Caractéristiques de la fusée :.....	4
3.1.1.	Les différentes parties de la fusée.....	4
3.1.2.	Les dimensions de la fusée.....	4
3.2.	Choix technologiques du projet.....	5
4.	Paramètres physiques à mesurer et les modules électroniques de sécurité.....	7
4.1.	Les différents paramètres mesurés dans la fusée.....	7
4.2.	Les différentes parties de sécurité de la fusée.....	7
5.	Lors de la campagne de lancement et du vol de la fusée.....	8
5.1.	Test et qualification de la fusée.....	8
5.2.	Vol de la fusée.....	8
5.3.	Réception des données de la fusée.....	8
6.	Résultats de l'expérience.....	9
6.1.	Système de vérification du bon fonctionnement du moteur.....	9
6.2.	Système de calcul de l'inclinaison de la fusée.....	10
6.3.	Conditions de sécurité pour la séparation des étages et allumage du second moteur.....	11
6.3.1.	Graphique des états des différentes conditions de sécurité.....	11
6.3.2.	Conclusion du graphe :.....	12
6.4.	Capteur de pression.....	13
6.5.	Logiciel de traitement des données en temps réel.....	13
6.6.	L'électronique de récupération.....	13
7.	Les choses à améliorer.....	14
8.	Les perspectives du projet.....	15

1. LES OBJECTIFS D'AEROIPSA



Le développement d'un nano lanceur bi-étage répond à un objectif de performances précis, exprimé en terme de vitesse, d'altitude et de charge utile. Notre volonté est de disposer pour juillet d'un lanceur offrant les conditions de sécurité suffisantes pour l'allumage du second étage. Cette ambition est des plus contraignantes, notamment pour le bilan de masse qui est le cœur de nos préoccupations.

Ceci suggère une structure composite résistante et légère, une électronique optimisée en encombrement et en consommation, de même qu'une intégration mûrement réfléchie.

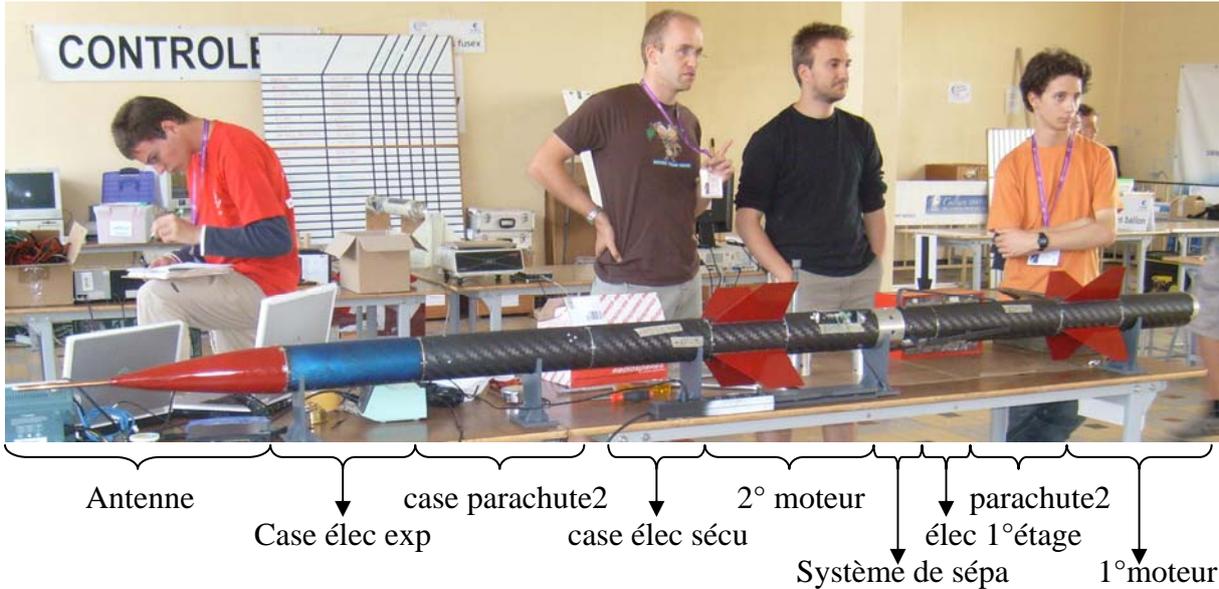
2. LES OBJECTIFS DU PROJET F01-0607

Le but de la fusée F01-0607 est de tester le système électronique de gestion du système de séparation des étages, de l'allumage du second moteur en toute sécurité et tout particulièrement le système permettant de déterminer l'angle d'inclinaison de la fusée par rapport à la rampe ainsi que le système qui permettait de vérifier que le moteur avait eu une poussée correcte.

3. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES ET CHOIX TECHNOLOGIQUES DU PROJET

3.1. Caractéristiques de la fusée :

3.1.1. Les différentes parties de la fusée



3.1.2. Les dimensions de la fusée

- dimensions de la fusée au complet, 1° et 2° étage assemblés :

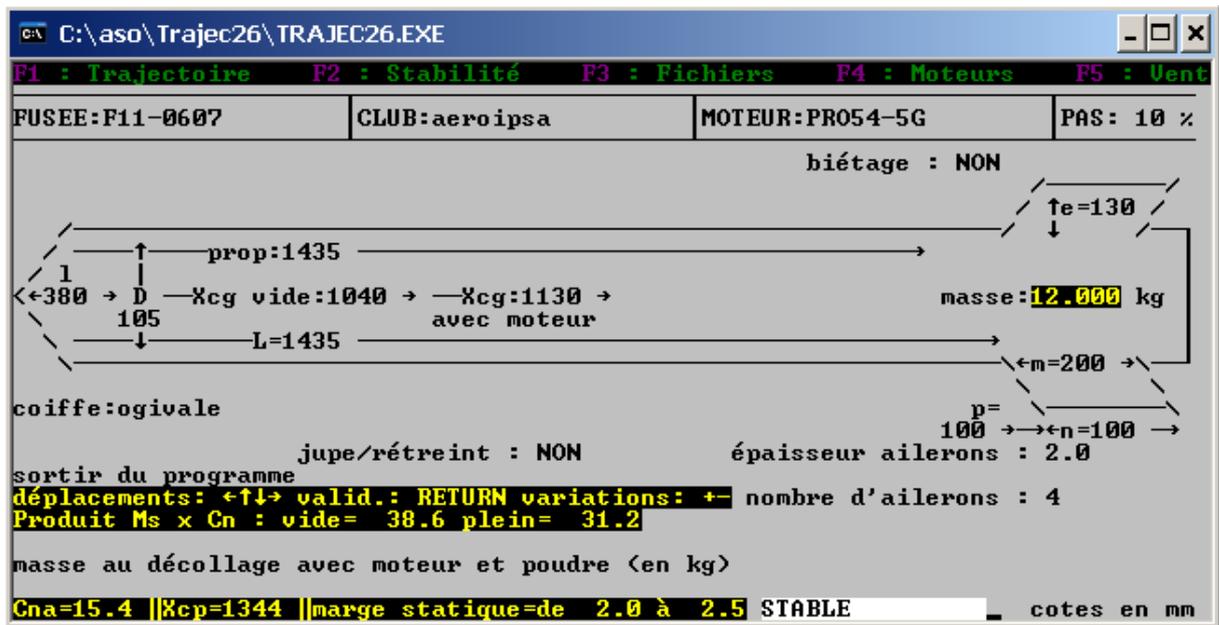
La fusée dans cette configuration a une longueur totale sans l'antenne de 3m et une envergure de 335mm pour un poids total de 18,320Kg

```

C:\aso\Trajec26\TRAJEC26.EXE
F1 : Trajectoire  F2 : Stabilité  F3 : Fichiers  F4 : Moteurs  F5 : Vent
FUSEE:f01-0607  CLUB:aero ipsa  MOTEUR:PRO54-5G  PAS: 10 %
←-----Lb=1435-----→  biétage : OUI
                          /te=130\  /te=130\
                          ↓           ↓
      prop:2500
      /-----\
      | 1 |-----|
      |←380→ D | Xcg vide:1620 → Xcg:1724 →  masse:18.320 kg
      | 105 |-----|
      |-----| L=2510
      \-----/
      coiffe:ogivale
                          \m=200\  \m=200\
                          p=-----p=
                          100 ←←n=100→ 100 →→n= 50 →
                          épaisseur ailerons : 2.0
                          jupe/rétraint : NON
                          2ème étage : 2.0
                          sortir du programme
                          déplacements: ←↑↓→ valid.: RETURN variations: +- nombre d'ailerons : 4
                          Produit Ms x Cn : vide= 65.8 plein= 49.8
                          2ème étage : 4
                          nom de la fusée
                          Cna=28.2 ||Xcp=1909 ||marge statique=de 1.8 à 2.3 STABLE
                          cotes en mm
  
```

- dimensions du 2^o étage

La fusée dans cette configuration a une longueur totale sans l'antenne de 2m et une envergure de 335mm pour un poids total de 12Kg



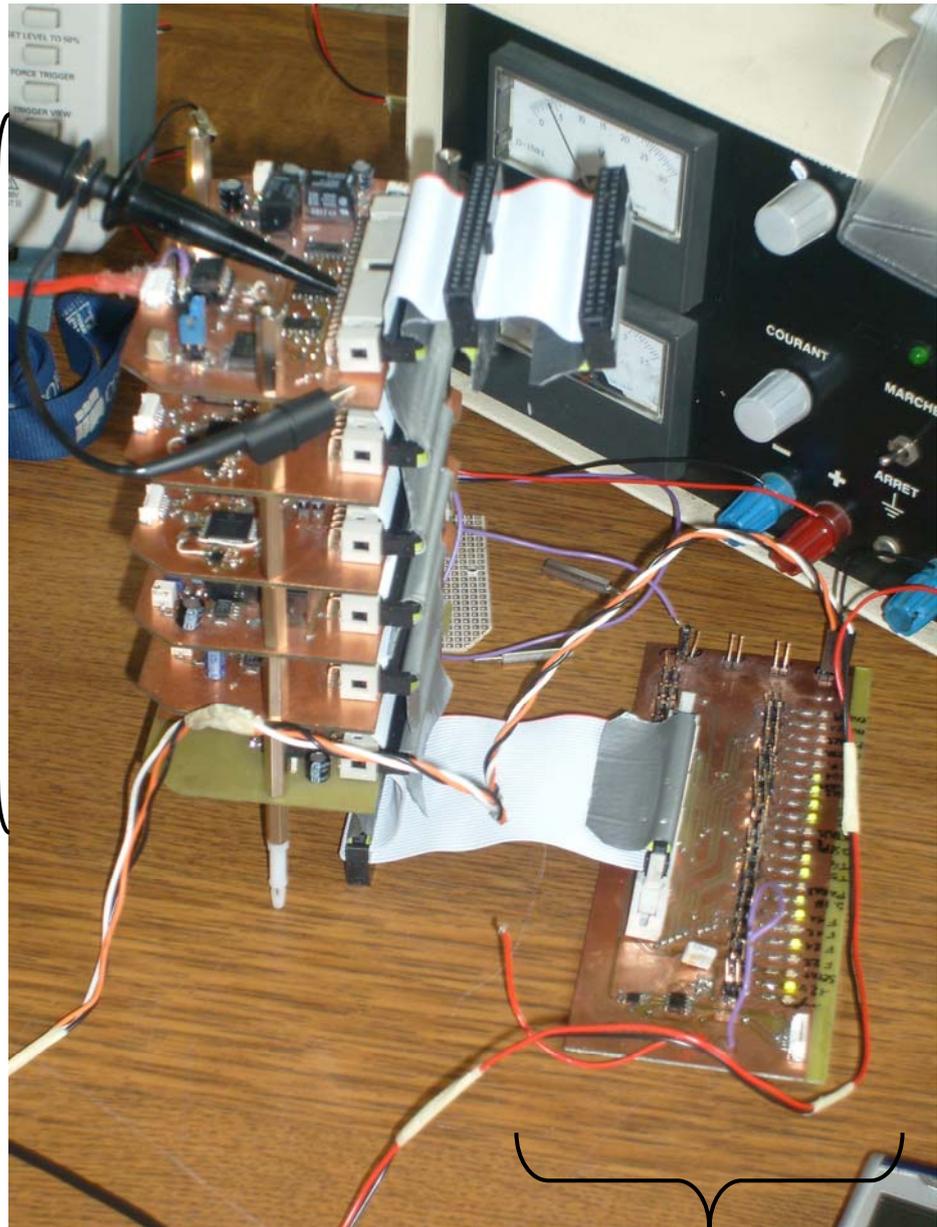
3.2. Choix technologiques du projet

Les principaux choix technologiques de la fusée F01-0607 sont dûs au principe de fusée bi étage :

- la partie mécanique : la particularité de ce projet étant l'intégration des deux moteurs PROG54-5G qui impose une certaine longueur ce qui pose la contrainte de la flèche de cette fusée. Cela rajoute un gros problème de masse à l'ensemble de la fusée
 - o la fusée a une structure porteuse en aluminium et des longerons en acier, ce choix a été fait afin de garantir la solidité de la fusée tout en permettant de pouvoir ajuster les dimensions des différentes parties (case élec, parachute, ...) sans toucher aux dimensions générales de la fusée.
 - o la peau est en matériaux composites : carbone et résine epoxyne
 - o un système de séparation des étages simple, afin de limiter le nombre de cas de panner possibles ; indispensable à la sécurité de la fusée.
- La partie électronique de sécurité : pour cette partie de la fusée, il faut une électronique fiable et rapide. Les principales particularités de l'architecture de l'électronique de sécurité étant :
 - o L'utilisation de composants CMS afin de réduire au maximum la taille et le nombre de cartes électroniques
 - o D'avoir un seul connecteur entre toutes les carte électroniques afin de limiter au maximum le nombre de fils et de connecteurs dans la fusée ce qui permet de réduire les risques de faux contacts et de court-circuits

- La partition de l'électronique en plusieurs modules indépendants afin d'assurer un maximum de sécurité et de fiabilité
- Mettre en place une série de sécurité pour maintenir la ligne de mise à feu du second moteur en court circuit pendant les différentes phases de mise en œuvre de la fusée et du vol.
- La fixation et la disposition de cartes ont été choisies afin de permettre de réduire au maximum son encombrement et le risque d'arrachement des composants lors du décollage.

Carte électronique
de sécurité de
la fusée



Carte test

4. PARAMETRES PHYSIQUES A MESURER ET LES MODULES ELECTRONIQUES DE SECURITE

Cette fusée avait pour but de mesurer et de tester les différentes parties du système de sécurité liés à la mise en œuvre du second moteur.

4.1. Les différents paramètres mesurés dans la fusée.

Les paramètres physiques mesurés au cours du vol sont :

- l'accélération longitudinale de la fusée,
- la vitesse angulaire des trois axes de la fusée
- la pression statique
- la pression dynamique

4.2. Les différentes parties de sécurité de la fusée

Les modules de l'électronique de sécurité testé en vol sont :

- le système permettant de vérifier si le moteur a poussé correctement, en faisant l'intégrale de l'accélération de la fusée
- le système de calcul de l'angle entre la fusée et l'axe de la rampe
- les différents séquenceurs
- la chaîne de télémessure de la fusée
- le logiciel de traitement des données en temps réel

5. LORS DE LA CAMPAGNE DE LANCEMENT ET DU VOL DE LA FUSEE

5.1. Tests et qualification de la fusée

Au cours de la campagne de lancement nous avons dû effectuer un certain nombre de tests électroniques et mécaniques :

- tests mécaniques :
 - o les tests et la qualification de la tenue mécanique ont été réussis. La structure prend un flèche de 19mm en configuration bi étage, flèche dû en grande partie au système de séparation des étages.
 - o Au cours de ces différents tests de séparation des étages, le moteur du système de séparation des étages s'est cassé, ce qui a entraîné l'impossibilité de lancer la fusée dans la configuration bi étage.
 - o Les tests de compatibilité moteur ont été réussis et l'adaptateur cariacou PRO54-5G pouvait jouer son rôle dans le cas d'un lancement bi étage
- tests électroniques
 - o au cours des tests de l'électronique de sécurité, nous avons trop vidé les batteries li-po entraînant l'impossibilité de pouvoir les recharger. Nous avons dû passer sur des piles 9V classiques.
 - o L'ensemble de l'électronique a été validé sans gros problèmes
 - o Les tests de sécurité liés à la ligne de mise à feu liée au second moteur ont été validés et approuvés avec succès par les pyrotechniciens du CNES
- tests de la chaîne de télémessure
 - o la chaîne de télémessure a été validée
 - o les tests de compatibilité et d'utilisation du logiciel de traitement des données de la fusée en temps réel a permis de montrer qu'il y avait une procédure très précise pour son fonctionnement et pour sauvegarder les données après réception

5.2. Vol de la fusée

La fusée a été lancée en configuration mono étage.

Elle a été lancée avec un moteur PRO54-5G et a effectuée un vol nominal sans aucun incident.

5.3. Réception de données de la fusée

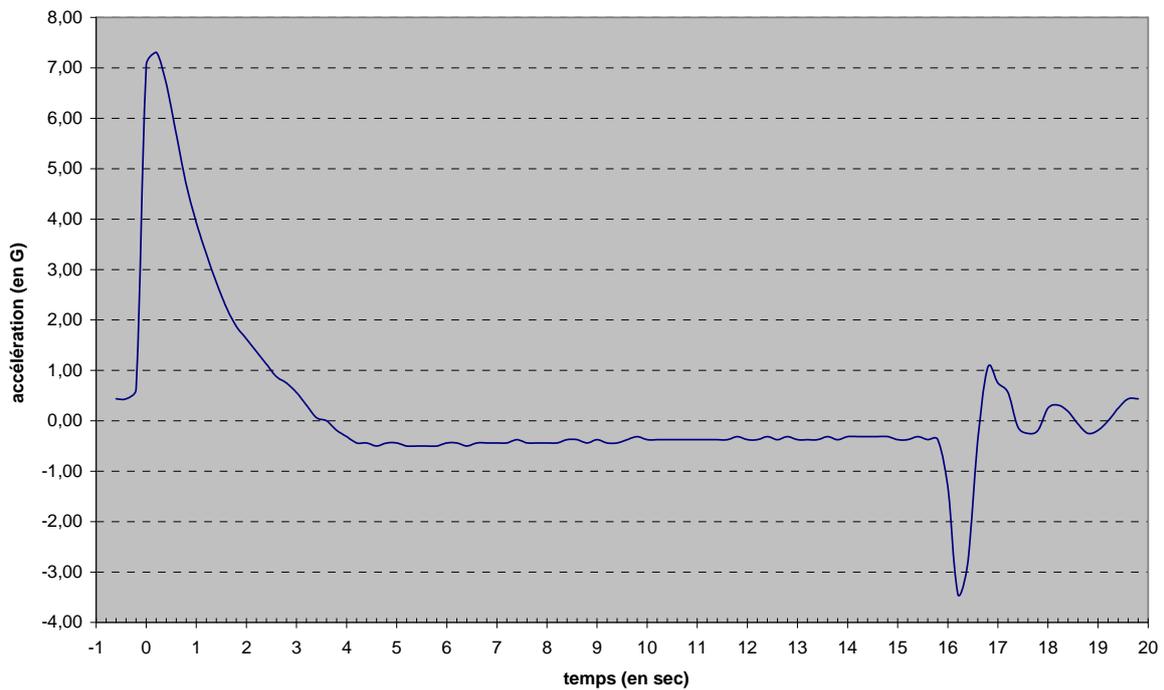
Au cours des différents tests de télémessure et de réception des données, nous avons vu qu'il fallait lancer le logiciel d'une façon bien précise afin de s'assurer son bon fonctionnement.

6. RESULTATS DE L'EXPERIENCE

6.1. Le système de vérification du bon fonctionnement du moteur

Pour vérifier le bon fonctionnement du moteur PRO54-5G, un système calculait l'intégrale de l'accélération subie au cours du vol à l'aide d'un microcontrôleur PIC et d'un accéléromètre. La valeur calculée en vol était comparée à la valeur calculée à l'aide de Trajec. On remarque une erreur d'environ 8% entre ces deux valeurs.

Courbe de poussée

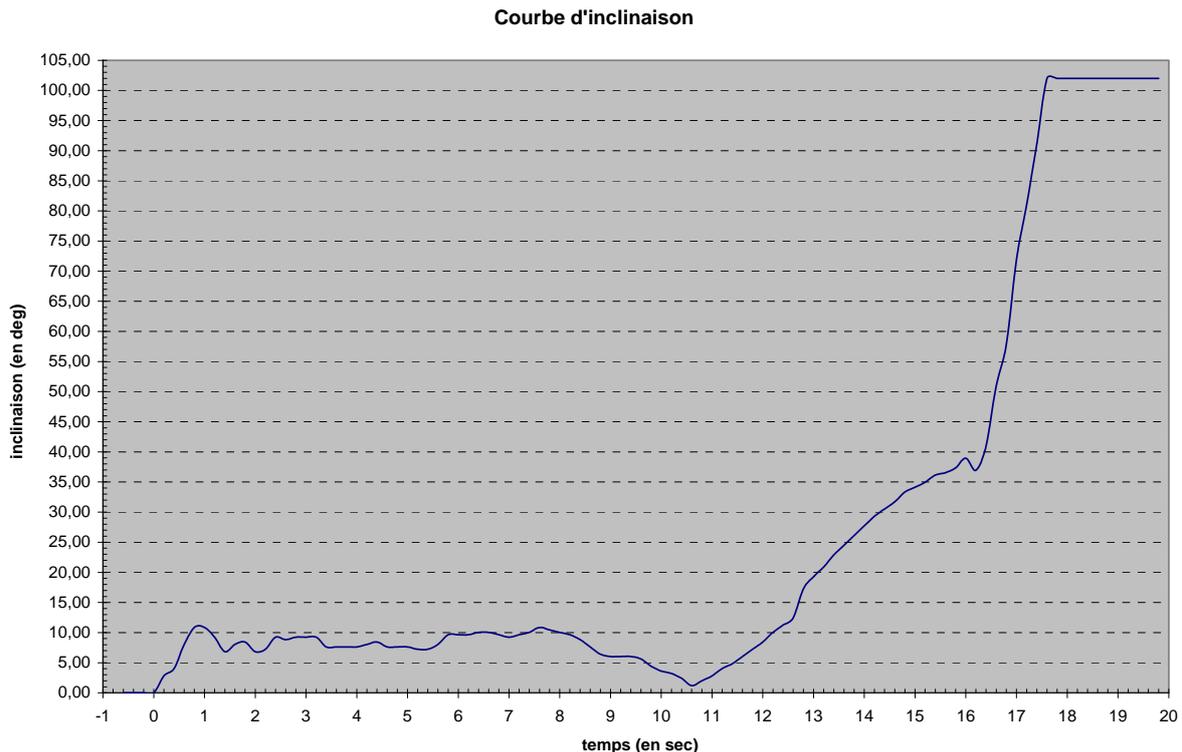


On peut noter que l'accélération maximale est de 7,3g et au moment du déploiement du parachute, la fusée a subi une décélération de 3g environ.

6.2. Le système de calcul de l'inclinaison de la fusée

Une des principales conditions de sécurité pour autoriser l'allumage du second moteur est de s'assurer que la fusée n'ait pas changé de trajectoire de plus de 10° . Pour cela nous avons un microcontrôleur et trois gyromètres. En couplant les données des trois gyromètres, nous pouvons calculer en temps réel l'inclinaison de la fusée par rapport à l'axe de la rampe, le microcontrôleur nous donnait 1 si la fusée était toujours dans les bonnes inclinaisons et 0 si on était sorti de sa trajectoire.

Données reçues sur l'inclinaison de la fusée par rapport à l'axe de la rampe.

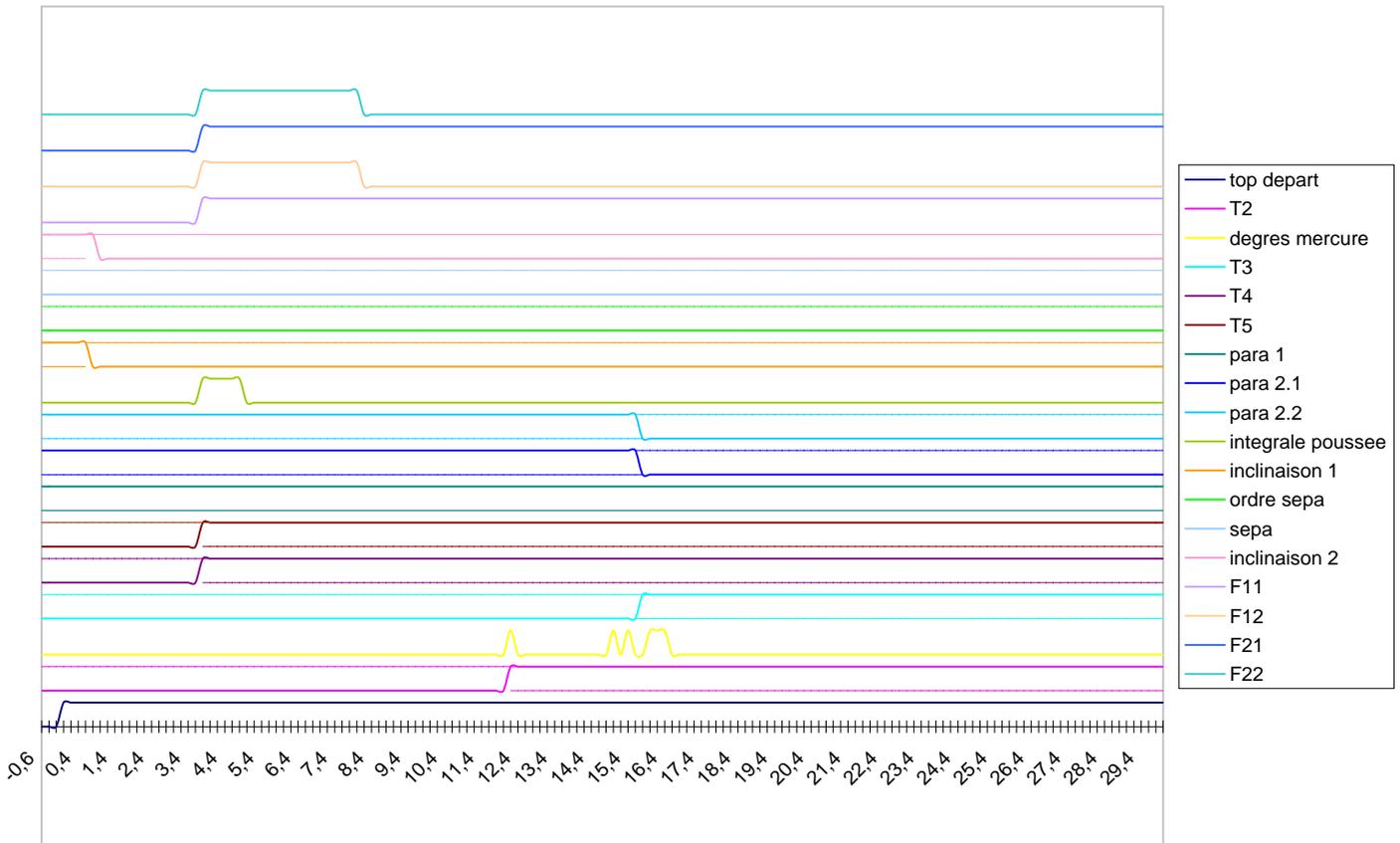


On peut noter que, très rapidement, la fusée a dépassé l'inclinaison maximum autorisée pour ensuite se remettre dans l'axe. A partir de 11 secondes de vol, on note une erreur relative dû à la précision des capteurs : les gyromètres ne prenaient pas bien les vitesses angulaires inférieures à $1,5^\circ/s$. Ce qui n'est pas gênant pour les 6 premières secondes du vol qui correspondent à la partie où la valeur des vitesses angulaires est plus importante.

Mais cette imprécision suggère des résultats non cohérents à partir de 10 s jusqu'à la fin. Cette période correspond au moment où la fusée arrive à culmination et a une vitesse angulaire plus faible.

6.3. Conditions de sécurité pour la séparation des étages et allumage du second moteur

6.3.1. Graphique des états des différentes conditions de sécurité



Explication de la légende du graphique :

- top départ : indique le décollage de la fusée
- T2 : minuterie qui déverrouille le degré a mercure, pour l'ouverture du para2. T2=12s
- Degrés mercure :
- T3 : minuterie de sécurité pour l'ouverture para2. T3=16s
- T4 : séquenceur de sécu pour permettre l'ordre de séparation des étages
- T5 : séquenceur de sécu pour permettre l'ordre de séparation des étages
- Para 1 : contacteur permettant de savoir si la porte du para 1 est ouverte
- Para 2.1 : contacteur permettant de savoir si la porte du para 2 est ouverte
- Para 2.2 : contacteur permettant de savoir si la porte du para 2 est ouverte (en double)
- Intégrale de poussée : système qui vérifie si le moteur a bien fonctionné
- Inclinaison 1 : système pour vérifier si la fusée n'a pas dévié de plus de 10° pour l'ordre de séparation
- Ordre de séparation :
- Sépa : contacteur permettant de vérifier si la séparation a bien été effectuée
- Inclinaison 2 : système pour vérifier si la fusée n'a pas dévié de plus de 10° pour l'ordre d'allumage moteur
- F11 : début du fenêtrage sécu pour allumage moteur
- F12 : fin du fenêtrage sécu pour allumage moteur
- F21 : début du fenêtrage sécu pour allumage moteur
- F22 : fin du fenêtrage sécu pour allumage moteur

Conditions à remplir pour :

- l'ordre de séparation des étages. Pour avoir l'ordre de séparation de étages il faut valider les conditions suivantes :
 - o séquenceur T4
 - o séquenceur T5
 - o para 1
 - o para 2.1 et para 2.2
 - o intégrale de poussée
 - o inclinaison 1

- l'ordre d'allumage du moteur. Pour avoir l'allumage du moteur il faut valider les conditions :
 - o ordre de séparation des étages
 - o contacteur permettant de vérifier si la séparation a bien été effectuée
 - o para 2.1 et para 2.2
 - o inclinaison 2
 - o fenêtrage F11-F12
 - o fenêtrage F21-F22

6.3.2. Conclusion du graphe :

Sur ce graphique on voit qu'il n'y a pas eu ordre de séparation des étages car la condition d'inclinaison n'a pas été validée.

On a la confirmation que l'intégrale de poussée a bien été validée et dans la bonne plage de temps. On remarque également que le système d'inclinaison 1 passe à l'état 0 car on est sorti de l'axe max d'inclinaison autorisé. Toutes les minuteriers se sont déclenchés correctement et au bon moment.

Il n'y aurait pas pu avoir d'allumage du second moteur car un certain nombre de conditions n'ont pas été remplies dans les temps : il manquait l'ordre de séparation et sa confirmation, ainsi que le système d'inclinaison 2 qui n'a pas été validé.

On peut confirmer avec certitude que le degré à mercure pour détecter l'apogée du vol de la fusée n'a pas fonctionné et que c'est la minuterie de sécurité T3 qui a donné l'ordre d'ouverture du parachute. La courbe du degré à mercure nous montre qu'il ne fonctionnait pas correctement.

6.4. Capteur de pression

Les données du capteur de pression dynamique ne sont pas exploitables suite à une fuite d'air entre le tube Pitot et le capteur de pression. Cette fuite est due à un tuyau qui s'est décollé lors du lancement de la fusée.

Mais nous pouvons estimer la vitesse max qu'a atteinte la fusée grâce au capteur d'accélération ; la fusée a atteint les 320Km/h environ.

6.5. Logiciel de traitement des données en temps réel

Le logiciel de traitement des données en temps réel a parfaitement bien fonctionné. Cela nous a permis de voir en temps réel si les conditions d'allumage du second moteur étaient validées ou pas.

6.6. L'électronique de récupération

La télémétrie a pu nous montrer que le parachute a été déclenché par la minuterie de secours et non par le système de détection d'apogée de la fusée lors de son vol.

7. LES CHOSES A AMELIORER

Au cours de cette campagne de lancement de fusée, nous avons noté certaines améliorations à effectuer et de nouveaux systèmes à mettre en œuvre afin d'augmenter les performances de la fusée mais aussi de limiter au maximum les risques liés à la mise en œuvre du second moteur. Les différentes améliorations de la fusée sont aussi bien au niveau électronique que mécanique :

- mise en place d'un système pour forcer les entrées ou sorties des cartes électroniques
- modifier les cartes d'alimentation afin d'empêcher de vider les batteries li-po au point de non retour et de limiter le nombre de tensions différentes afin d'optimiser la consommation d'énergie
- réduire le nombre de relais de l'électronique de sécurité afin de garantir une autonomie plus grande
- mettre un système simple et fiable pour garder l'ordre d'allumage du second moteur pendant une période d'une seconde afin de garantir le bon allumage du second moteur
- prévoir une nouvelle sécurité automatique et mécanique qui permettra la mise en court circuit de la ligne de mise à feu du second moteur. Elle s'activera dans le cas où toutes les conditions de sécurité ne sont pas remplies au cours du vol et après le temps max autorisant l'allumage du moteur
- réduire la masse totale de la fusée en redimensionnant certaines pièces.
- mettre au point une nouvelle électronique pour l'ouverture des systèmes de récupération. Ce système devra prendre en compte l'allumage ou non du second moteur afin de reparamétrer les minuteries en vol
- concevoir un système permettant l'assemblage des deux étages à l'horizontal, pour limiter le nombre de personnes utiles lors de la mise en œuvre des moteurs et de la fusée
- Améliorer le système d'inclinaison afin de le rendre plus précis

8. LES PERSPECTIVES DU PROJET

Le club AeroIPSA a pour perspective d'améliorer et d'optimiser la fusée bi étage bi moteur afin d'avoir une fusée fiable et présentant le moins de risques possibles à la mise en œuvre d'une telle fusée. Ce nouveau vecteur pourra permettre des vols en transsonique et par la suite supersonique afin de permettre des expériences plus poussées sur le comportement de l'aérodynamique à l'approche du mur du son ou toute autre expérience ayant besoin d'aller plus haut en altitude.



Dossier de conception du projet : F01-0607

1. Présentation	4
1.1. Objectif initial	4
1.2. Objectif F01-0607.....	4
2. Description de départ	5
2.1. Structure.....	6
2.1.1. Caractéristiques générales	6
2.1.2. 1 ^{er} étage.....	7
2.1.3. 2 ^{er} étage.....	8
2.1.4. Matériaux.....	9
2.2. Séparations.....	9
2.3. Système de récupération	10
2.3.1. 1 ^{er} étage.....	10
2.3.2. 2 ^{er} étage.....	10
2.4. Chronologie de la fusée	10
2.5. L'électronique	11
2.5.1. Générale.....	11
2.5.2. L'électronique de l'expérience.....	11
2.5.3. Électronique de sécurité.....	12
2.6. Raccordement de la ligne de mise à feu du 2 ^e moteur :	17
3. Étude de sécurité	18
3.1. Analyse par phase	18
3.1.1. Schéma des différentes phases de vol	20
3.1.2. Liste des cas de pannes simples	21
3.1.3. Conséquences des différents cas de pannes et leurs résolutions.....	25
3.1.4. Résumé des solutions techniques apportées par l'étude des simples pannes: ..	52
3.1.5. Étude des doubles pannes	54
3.1.6. Résumé des solutions techniques apportées par l'étude des doubles pannes: ..	55
3.2. Étude par bloc	57
3.2.1. Étude des cas de pannes simples.....	59
3.2.2. Résumé des solutions techniques apportées par l'étude des doubles pannes: ..	62
3.2.3. Etude des cas de doubles pannes.....	62
3.2.4. Résumé des solutions techniques apportées	63
3.3. Solution particulier pour les phase de récupération de la fusée.....	66
4. Stabilité et dimension final de la fusée.....	67
4.1. Stabilité de la fusée au complet sous traject 2.5	67
4.2. Stabilité du 2 étage sous traject 2.5.....	68
5. Système mécanique final	70
5.1. Conception.....	70
5.1.1. Les contraintes de conception	70
5.1.2. Outils de conception assistée par ordinateur.....	73
5.1.3. Caractéristiques générales	73
5.2. Système de séparation.....	75
5.2.1. Dimensionnement des ressorts d'éjection	76
5.2.2. Système de maintien des ressorts d'éjection.....	79
5.2.3. Système de verrouillage et déverrouillage du système de séparation	81
5.2.4. Ouvertures d'échappement	87
5.3. Ailerons.....	88
5.3.1. Ailerons du deuxième étage.....	88
5.3.2. Ailerons du premier étage.....	92

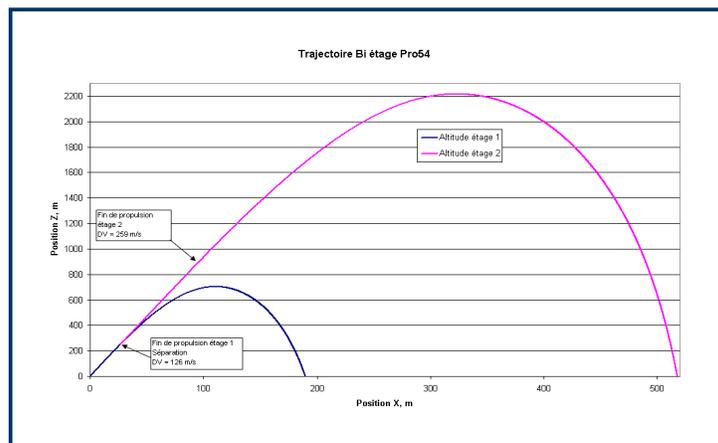
5.4.	Architecture du deuxième étage	96
5.4.1.	Architecture générale.....	96
5.4.2.	La coiffe.....	97
5.4.3.	Fixation du moteur	97
5.4.4.	Fixation du système de séparation	100
5.4.5.	Compartiment du parachute.....	101
5.5.	Architecture du premier étage.....	102
5.5.1.	Architecture générale.....	102
5.5.2.	Fixation du moteur	103
5.5.3.	Fixation du système de séparation	104
5.5.4.	Compartiment parachute.....	105
5.6.	Dimensions et effort des parachute 1 et 2.....	105
6.	Architecture électronique finale	106
6.1.	Architecture générale de l'électronique de sécurité.....	106
6.2.	Schéma et caractéristiques des séquenceur.....	107
6.2.1.	Caractéristique des séquenceurs.....	107
6.2.2.	Schéma des séquenceurs.....	107
6.3.	Intégrale de poussée et Inclinomètre	108
6.3.1.	Description des fonctions étudiées.....	108
6.3.2.	Solutions Techniques.....	115
6.3.3.	Simulation et schéma.....	123

1. Présentation

1.1. Objectif initial

AéroIpsa conduit deux projets ambitieux pour le lancement de Juillet 2007. Deux lanceurs qui se proposent de valider l'un le concept bi-étage, et pour le second le concept d'atterrissage vertical. L'objectif est donc de développer des technologies nouvelles et performantes pour la structure, la séparation, l'atterrissage et la propulsion, ainsi que d'assurer la plus grande fiabilité de ces systèmes grâce à un contrôle logiciel très stricte et éprouvé par de nombreux essais.

1.2. Objectif F01-0607



Le développement d'un nano lanceur biétage répond à un objectif de performances précis, exprimé en terme de vitesse, d'altitude et de charge utile. Notre volonté est de disposer pour juillet d'un lanceur offrant les conditions de sécurité suffisantes pour l'allumage du second étage, et permettant un vol transsonique culminant à plus de 2000 mètres. Cette ambition est des plus contraignantes, notamment pour le bilan de masse qui est le cœur de nos préoccupations.

Ceci suggère une structure composite résistante et légère, une électronique optimisée en encombrement et en consommation, de même qu'une intégration mûrement réfléchi. Ce lanceur sera également l'occasion d'éclairer le couplage moteur/structure grâce à une instrumentation adaptée. Une équipe de 15 étudiants et 2 enseignants sont investis dans ce projet.

Nous espérons à terme pouvoir lancer cette fusée avec deux pro54-5G, Pour cela cette année la fusée sera lancée avec un pro54-5G pour le 1 étage et un cariacou pour le 2 étage afin de valider l'électronique de sécurité. L'étude de sécurité sera effectuée pour un pro54-5G et un cariacou, mais la structure sera étudiée pour pouvoir accepter deux pro54-5G.

2. Description de départ

Lexique

Ces termes seront utilisés tout au long de l'étude de sécurité

Etage 1 : il s'agit de l'étage du bas de la fusée

Etage 2 : il s'agit de l'étage du haut de la fusée

Moteur 1 : il s'agira d'un Pro54-5G, c'est le moteur qui se trouve dans l'étage 1

Moteur 2 : il s'agira d'un cariacou, c'est le moteur qui se trouve dans l'étage 2

Temps des séquenceurs :

T1= temps de poussée du moteur 1

T2= temps de culmination +5 secondes

T3= temps de poussée du moteur 1 +4 secondes

T4=2 à 8 secondes

Parachute 1, para1 : il s'agit du parachute du 1 étage

Parachute 2, para2 : il s'agit du parachute du 1 étage

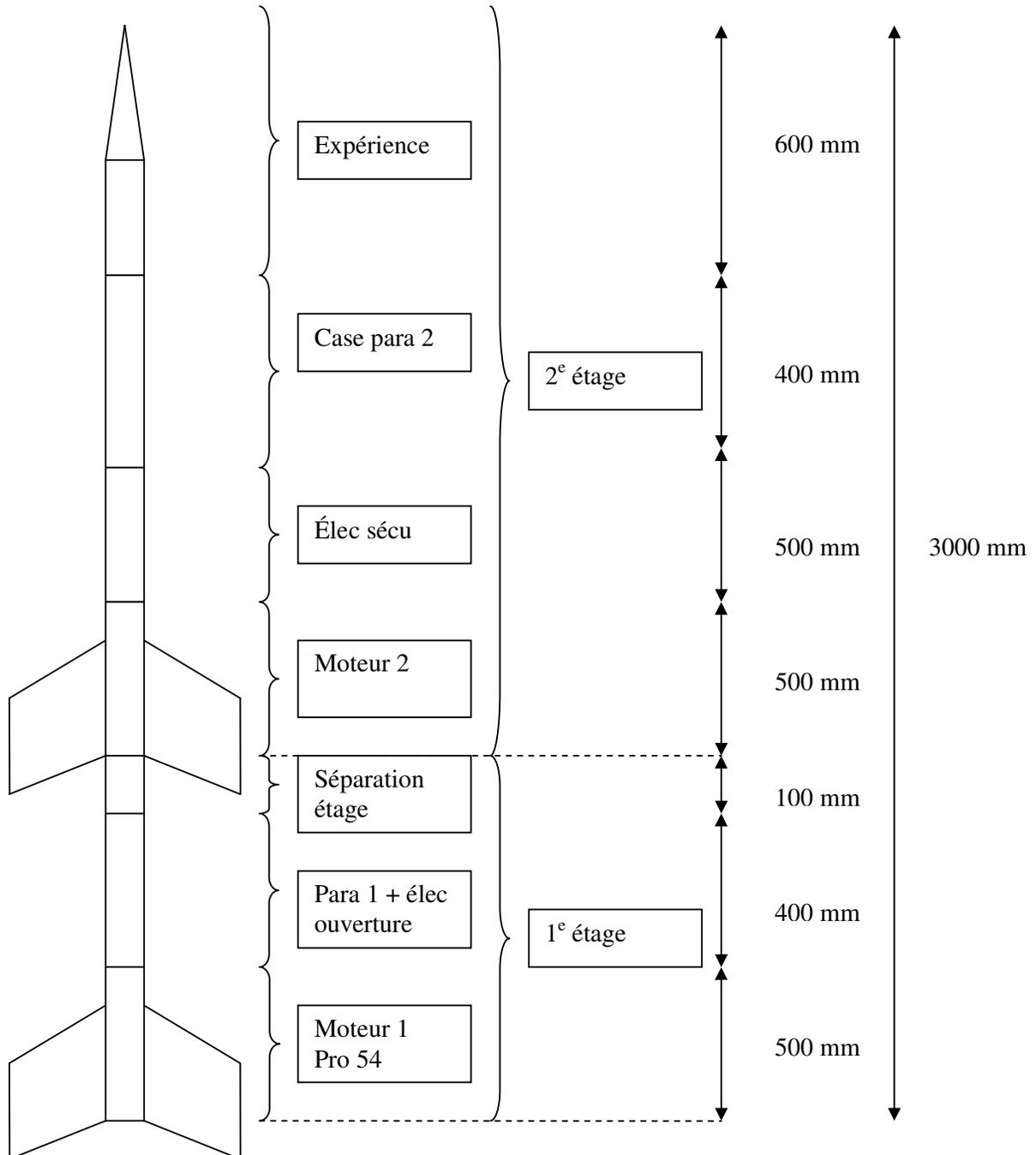
2.1. Structure

2.1.1. Caractéristiques générales

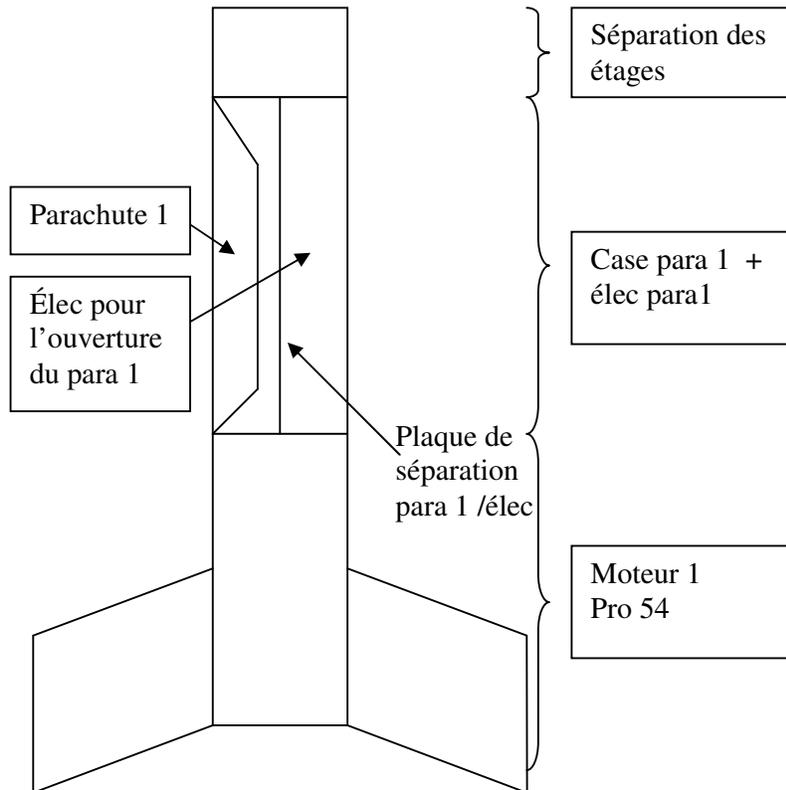
La fusée aura un poids d'environ 15 à 17kg.

Elle est destinée à pouvoir accepter à terme deux propulseurs Pro54-5G.

Le diamètre sera de 105mm pour une longueur de 3m environ.



2.1.2. 1^e étage



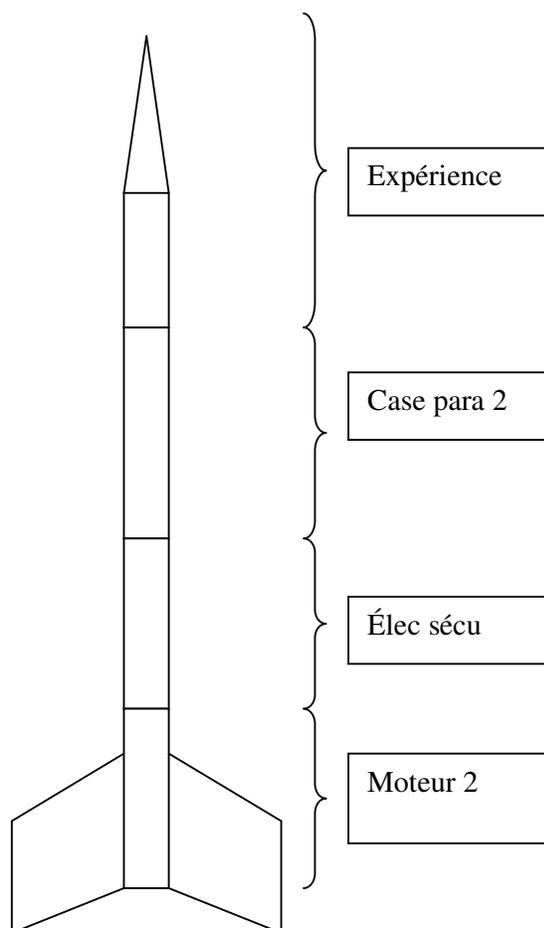
Le 1^e étage aura un poids de 5 à 6kg, un diamètre de 105mm pour une longueur de 1m
 Dans cet étage se trouvera le moteur 1 (type : PRO54-5G), le système de séparation inter-étage, le système d'ouverture du 1^e parachute destiné à la récupération de cet étage.

Il comportera un système de sécurité qui va permettre l'ouverture automatique du parachute 1 en cas de séparation des étages, comprenant son alimentation.
 L'ouverture de la porte est effectuée par une ventouse magnétique de tension inverse.

L'alimentation du système de séparation des étages sera également dans le 1^e étage, mais il sera commandé par le 2^e étage.

Cet étage aura une structure porteuse en aluminium, ainsi que la plaque de poussée et le système de séparation des étages ; la peau sera en carbone (peau semi-porteuse).
 Les ailerons et la jupe du moteur 1 seront en acier ou aluminium.

2.1.3. 2^e étage



Le 2^e étage aura un poids de 10 à 11kg, un diamètre de 105mm pour une longueur de 2m
 Dans cet étage se trouvera le moteur 2, le système d'ouverture du parachute 2, toute l'électronique de l'expérience et de la télémésure, et l'électronique de sécurité destinée à l'allumage du second moteur.

Electronique :

Chaque partie sera alimentée de façon indépendante.

Il y aura une communication des données de l'électronique de sécurité vers la télémésure, pour permettre de connaître en temps réel l'état de la fusée et du moteur 2.

Mécanique :

L'ensemble de la fusée aura une structure porteuse en aluminium et une peau en carbone semi-porteuse (reprise des efforts de couple).

Les ailerons et la jupe du second étage seront en acier ou aluminium.

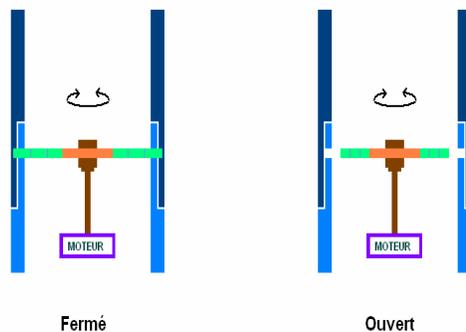
Les différentes pièces de jonction et la plaque de poussée seront en aluminium.

La coiffe sera en matériaux composites.

2.1.4. Matériaux

La fusée aura une structure porteuse avec une peau en carbone. Toutes les bagues de jonction, plaque de poussée et les renforts seront en aluminium. La peau du 1^e et 2^e étage et la coiffe seront en carbone. Les jupes du 1^e et 2^e étage et les ailerons seront en acier ou aluminium.

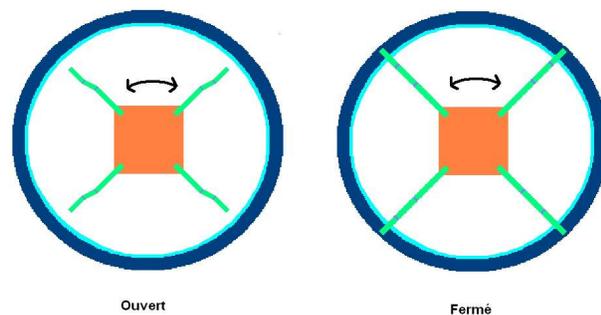
2.2. *Séparations*



Pour ce système de séparation il suffit d'un cerveau moteur.

Le principe est que l'étage inférieur rentre en partie dans l'étage supérieur en s'emboîtant avec un jeu négligeable, de façon à bien guider les deux morceaux lors de la séparation. Les deux étages sont tenus grâce à des goupilles. Lorsque le cerveau moteur tourne il rentre les goupilles et désolidarise donc les deux étages.

Ce système permet de bien répartir les efforts sur l'ensemble de la structure, mais aussi au niveau de la jonction des deux étages, car au niveau de l'emboîtement des deux étages il y a des forces de torsion, et sur les goupilles on retrouve une simple force de cisaillement.



2.3. Système de récupération

2.3.1. 1^e étage

Le 1^e étage sera équipé d'un parachute capable de pouvoir supporter les efforts dus à une ouverture à la vitesse maximale, et dimensionné pour permettre la descente du 1^e étage à une vitesse de 12,5 m/s.

L'ouverture du parachute 1 sera actionnée grâce à une ventouse magnétique à tension inverse.

2.3.2. 2^e étage

Le parachute du 2^e étage sera dimensionné pour pouvoir effectuer une descente complète de la fusée (étages 1 et 2) à une vitesse maximale de 15m/s.

L'ouverture du parachute 2 sera actionnée grâce à une ventouse magnétique à tension inverse.

2.4. Chronologie de la fusée

Ceci est le début de la chronologie de lancement de notre fusée bi-étage.

R15

- Plier et ranger les parachutes 1 et 2.
- Changer les batteries ou vérifier qu'elles soient chargées.
- Rassembler les outils nécessaires pour rassembler la fusée.

Tente club

- Vérifier que la modulation fonctionne.
- Vérifier qu'il n'y a pas de dysfonctionnement sur l'électronique de sécurité.

Descente sur rampe

- Mise en place du propulseur du 2^e étage.
- Mise en place de l'inflamateur du 2^e étage.
- Vérifier que la ligne de mise à feu soit bien en court-circuit à l'aide d'un multimètre.
- Raccordement de la ligne de mise à feu du 2^e étage au système de sécurité.
- Fermeture du système de séparation des deux étages.
- Mise en place du propulseur du 1^e étage.
- Levée de la rampe.
- Vérifier que la modulation fonctionne.
- Mise en place de la canne d'allumage du 1^e étage.
- Mise en œuvre de la fusée.
- Raccordement de la ligne de mise à feu du 1^e étage au système de sécurité.
- Mise à feu.

2.5. L'électronique

2.5.1. Générale

Pour une question pratique, nous allons concevoir les systèmes électroniques de façon indépendante afin de garantir un maximum de fiabilité.

Chaque partie aura une alimentation dédiée.

Il y aura trois principaux circuits électroniques qui seront :

- l'expérience qui regroupe toute la chaîne de mesure, depuis le capteur jusqu'à l'émetteur.
- la sécurité : c'est le système qui va gérer les différents cas de panne, séparation des étages, ouverture du ou des parachutes et autoriser ou non l'allumage du second moteur. Cette partie sera effectuée en porte logique pour une plus grande fiabilité.
- L'électronique d'ouverture du para 1 : il y aura un système pour gérer l'ouverture du parachute en cas de séparation non autorisée, dans le cas où le signal d'ouverture envoyé par l'électronique de sécurité n'est pas reçu. Il comportera une minuterie pour permettre au parachute de s'ouvrir au bout de quelques secondes après l'allumage du second moteur afin d'éviter que le parachute ne prenne feu.

La fusée est autonome une fois mise en fonctionnement, il y aura une prise jack pour garder l'inflamateur en court-circuit le temps que la fusée est en rampe, le déclenchement de l'électronique et la détection du décollage se fera par une série de capteurs d'accélération.

2.5.2. L'électronique de l'expérience

Il s'agit pour nous de restituer l'ambiance vibratoire et acoustique de la coiffe et de la comparer avec la source de perturbations que constitue le moteur (nous considérerons le moteur du 2^e étage). Deux types de capteurs sont possibles, accéléromètre ou capteur de vibrations. Dans le 1^{er} cas, la composante continue est prise en compte tandis que le capteur de vibrations n'est sensible qu'aux variations d'accélération et dispose donc d'une plus grande sensibilité. Deux capteurs de même type seront donc nécessaires dans la coiffe et autant au niveau du moteur. Ils devront être solidaires de la structure. Nous nous attendons à retrouver des perturbations de la propulsion mais aussi de l'aérodynamique, l'intérêt étant de pouvoir les quantifier l'une et l'autre et déterminer de qui – propulsion ou aérodynamique – est dimensionnant.

Nous souhaitons également développer un instrument de mesure de pression type Pitot afin de corrélérer la vitesse calculée par ce biais à la vitesse calculée par intégration de l'accélération. Pour cela, nous avons besoin de 2 capteurs de pression absolue et d'un capteur de température (température totale) dont les mesures nous permettront de connaître avec une grande précision (si la mesure l'est également) le mach et la vitesse de vol.

2.5.3. Électronique de sécurité

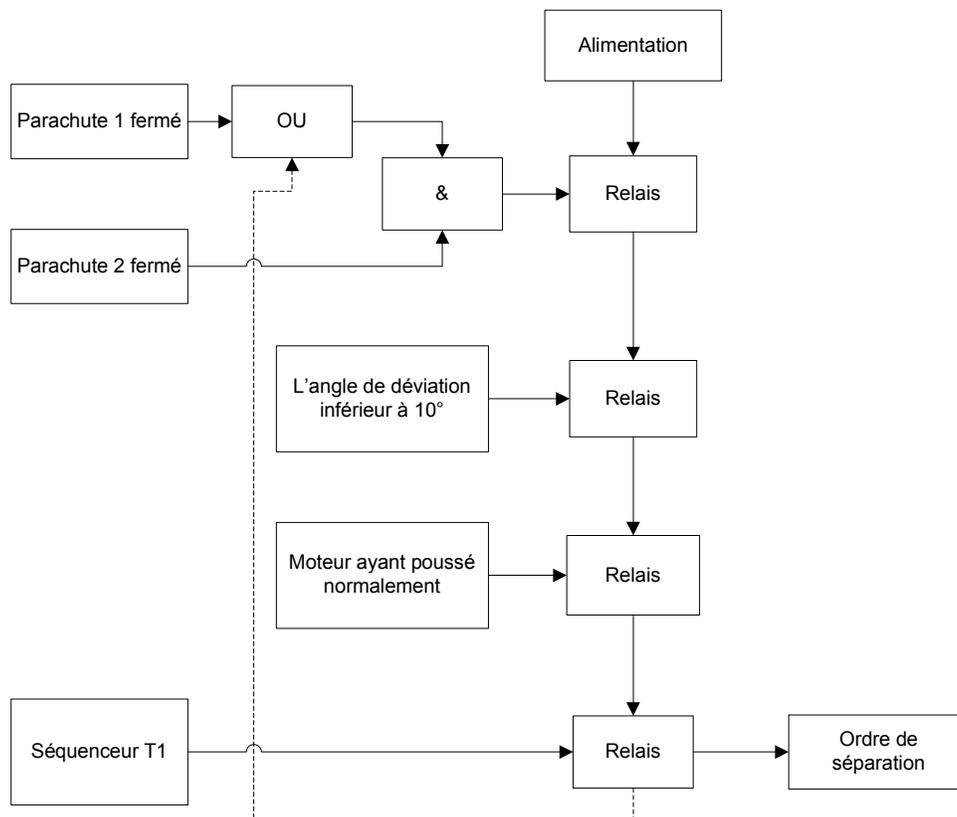
Pour le moment nous nous orientons sur ce type d'architecture d'électronique pour le système de sécurité.

Nous allons marquer les conditions à remplir avec le schéma électronique et chronogramme correspondant.

Note : pour tous les relais, leur position au repos est celle où le courant ne passe pas.

Séparation des étages :

- pour autoriser la séparation des étages il faut s'assurer :
 - que les parachutes 1 et 2 soient bien fermés : on laisse passer le courant tant que la case parachute est fermée.
 - temps de poussée du moteur 1 : une fois le temps de poussée validé, on laisse passer le courant qui va rester bloqué.
 - vérifier que le moteur est poussé correctement : on laisse passer le courant une fois qu'on a vérifié que le moteur est poussé correctement et reste bloqué.
 - un changement de l'angle entre l'axe longitudinal de la fusée et l'axe de la rampe doit être inférieur à 10° : on laisse passer le courant tant que l'angle n'est pas dépassé.
- schéma électronique pour la séparation des étages



- chronogramme pour la séparation des étages

Parachute 1 fermé				
Parachute 2 fermé				
L'angle de déviation inférieur a 10°				
Moteur ayant poussé normalement				
séquenceur				
séparation étage				
temps en secondes	0	1	3,6	sépa effectuée

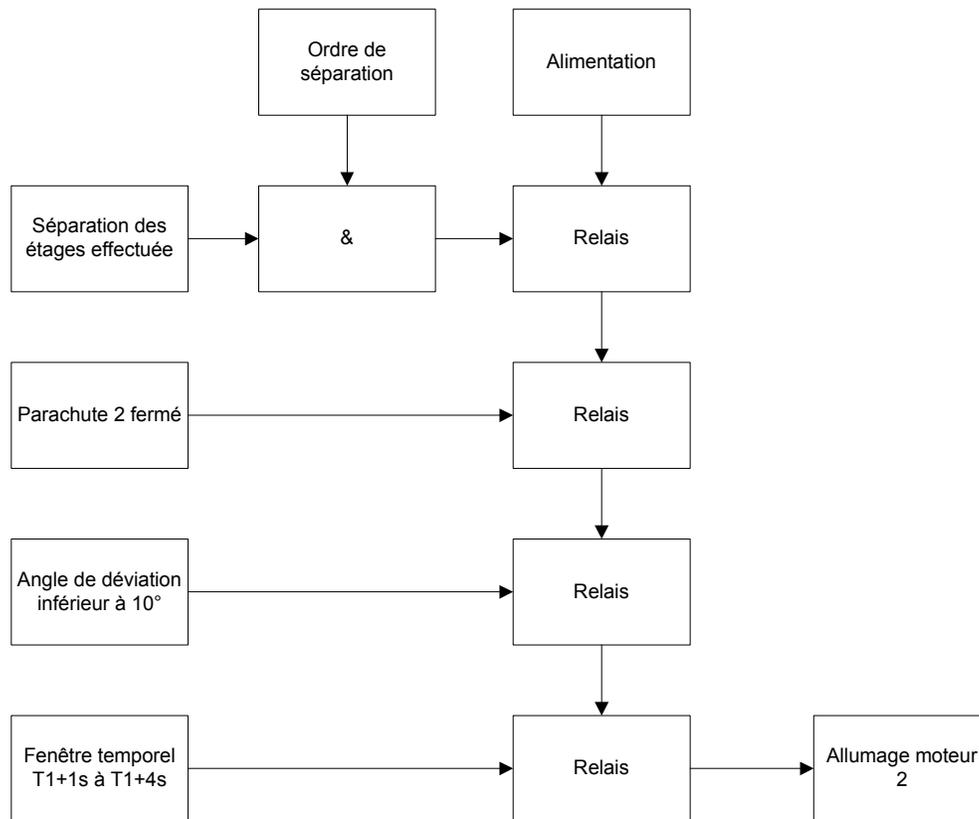
Allumage du 2^e moteur :

- pour autoriser l'allumage du moteur 2 il faut s'assurer :
 - d'avoir reçu l'ordre de la séparation des étages : on laisse passer le courant une fois l'ordre donné.
 - une bonne séparation des étages: on laisse passer le courant une fois l'ordre donné.
 - un changement de l'angle entre l'axe longitudinal de la fusée et l'axe de la rampe doit être inférieur à 10° : on ne laisse pas passer le courant une fois que l'angle est dépassé et une fois que l'angle est dépassé on ne peut pas refaire passer le courant sans réinitialiser l'électronique.
 - un fenêtrage temporel de T1+1s à T1+5s
(Temps de poussée du moteur 1+1s à temps de poussée du moteur 1+5secondes) : on laisse passer le courant dans la fenêtre temporel
 - s'assurer que le parachute 2 soit bien fermé : on laisse passer le courant tant que la case parachute est fermée.

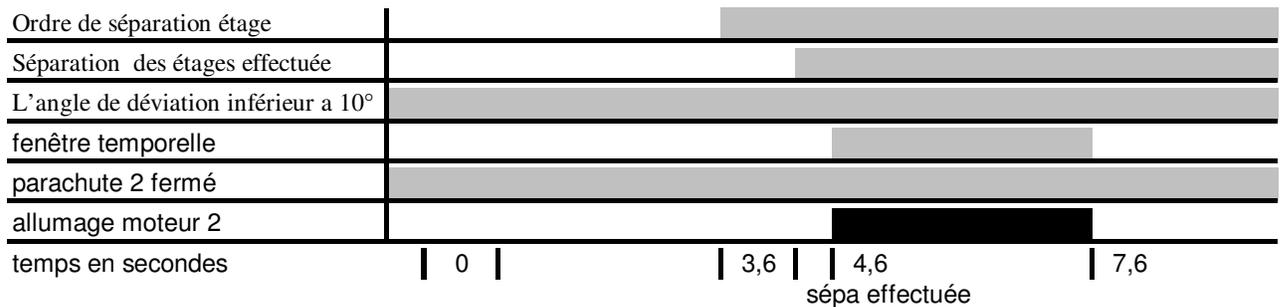
Les temps de la fenêtre temporel sont choisis de la façon suivante :

- T1+1s : nous préférons laisser 1s de plus pour permettre un certain délai pour la séparation des étages.
 - T1+4s : pour une raison de sécurité nous préférons ne pas laisser un délai trop long sur la possibilité d'allumage du moteur 2, mais on lui laisse 3s pour être sûr d'avoir un allumage correct.
- (/!\ Le fenêtrage temporel n'est pas encore définitif /!\)

- schéma électronique pour l'allumage du 2^e moteur



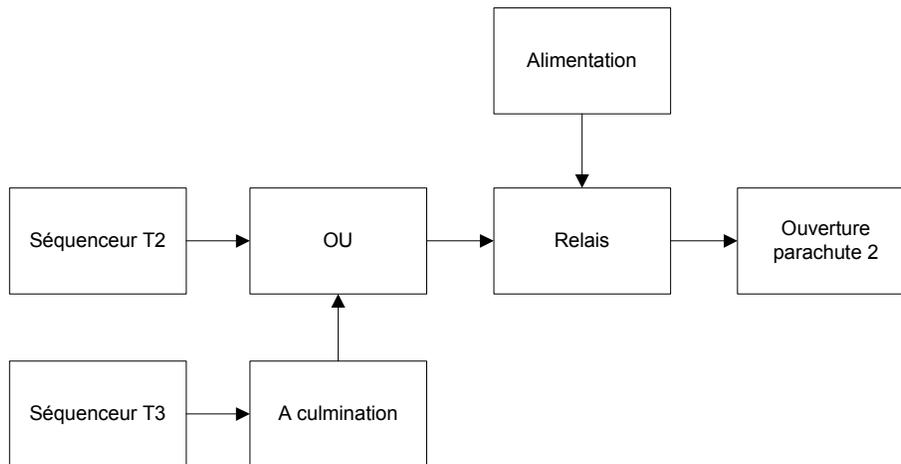
- chronogramme pour l'allumage du 2^e moteur



Ouverture parachute 2 :

- pour l'ouverture du parachute 2 :
 - la minuterie 1 laisse passer le courant à T3= temps de poussé du moteur 1 + 4s
 - la minuterie 2 laisse passer le courant à T2= temps de culmination + 5s
 - à culmination : on laisse passer le courant une fois la culmination atteinte

- schéma électronique pour l'ouverture parachute 2



Ouverture parachute 1 :

- pour l'ouverture du parachute 1 il faut :
 - que la séparation des étages se soit effectuée : on laisse passer le courant à partir de la séparation.
 - que la minuterie se soit déclenchée lors de la séparation des étages, $T4 = 2s$ à $8s$: on laisse passer le courant après le délai T.
- schéma électronique pour l'ouverture parachute 1

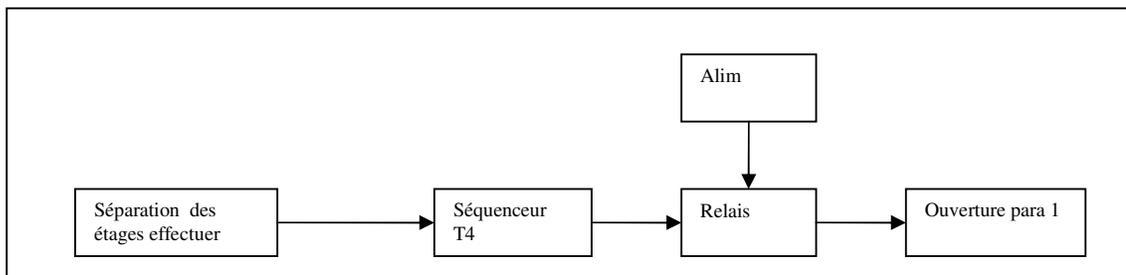
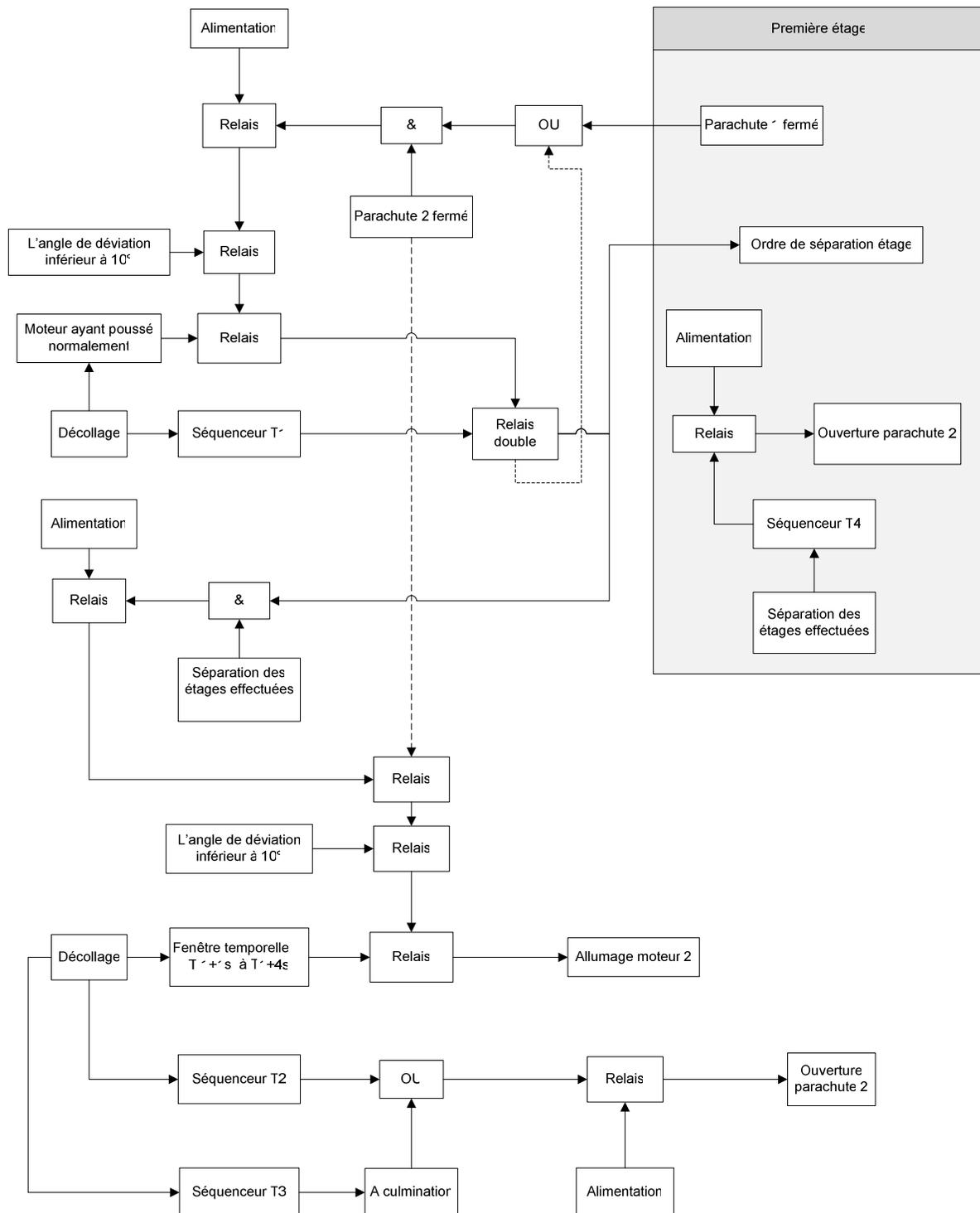


Schéma électronique complet du système de sécurité :



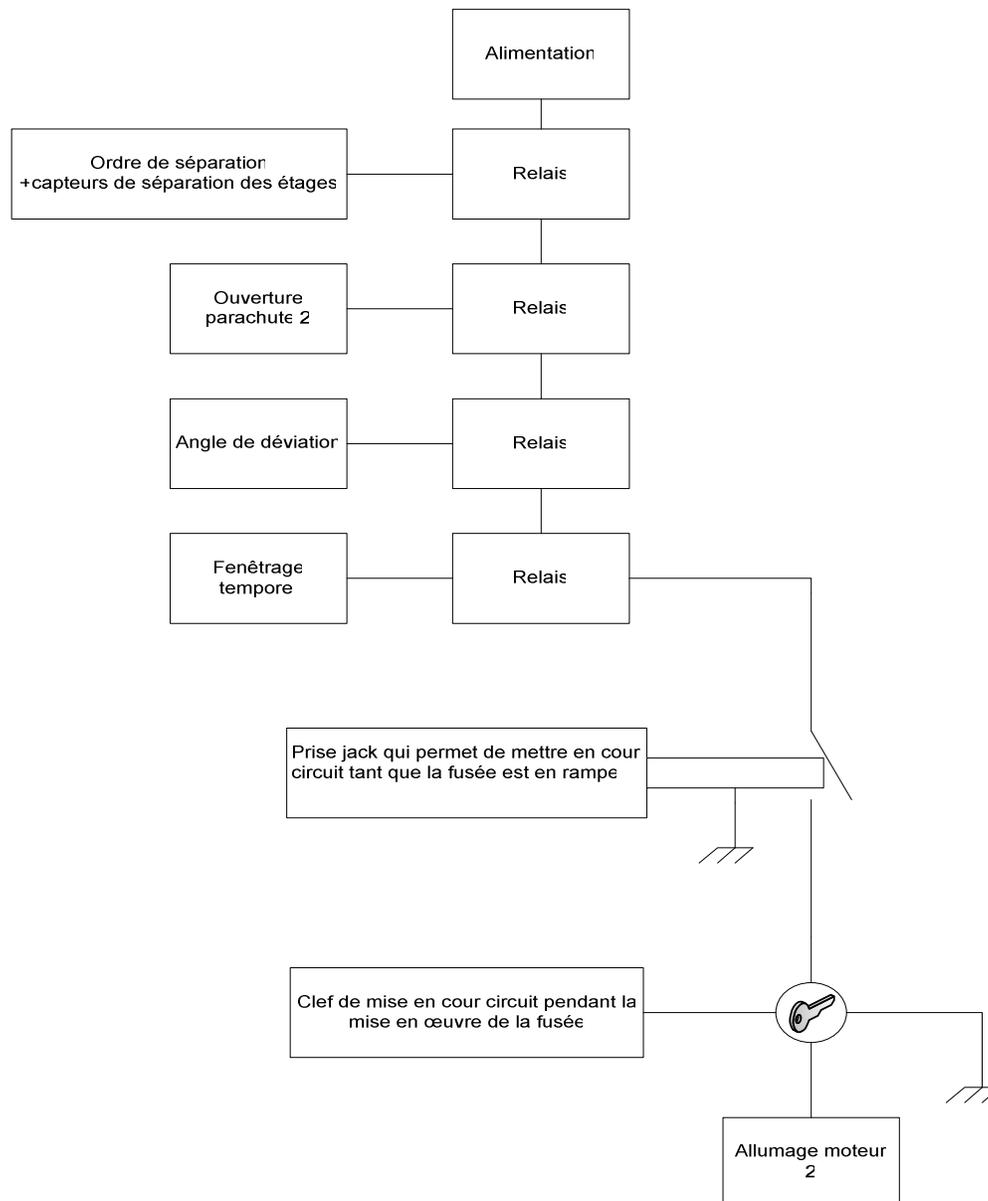
2.6. Raccordement de la ligne de mise à feu du 2^e moteur :

Sur la ligne de mise à feu, on trouvera différents systèmes pour pouvoir mettre l'inflammeur en court-circuit lors de son branchement à la carte d'électronique de sécurité.

- Il y aura une clef pour pouvoir verrouiller en court-circuit (seul le pyrotechnicien aura la clef).
- Un jack qui permettra de mettre l'inflammeur en court-circuit, il sera retiré au décollage de la fusée.
- Un point de mesure pour s'assurer qu'il n'y a pas de courant sur la ligne de mise à feu lors du branchement de l'inflammeur.

Note : Quand les relais sont au repos, ils relient la ligne de mise à feu à la masse.

Schéma électronique de la ligne de mise à feu moteur 2 :



3. Étude de sécurité

Nous allons étudier les différents risques, incidents et accidents qui pourraient survenir durant la mise en œuvre de la fusée et lors du vol de la fusée, ainsi que lors de la récupération dans le cas où le moteur 2 n'aurait pas été allumé.

Pour l'étude de sécurité nous effectuerons d'abord différentes analyses des divers cas de pannes et étudierons leurs conséquences pour trouver le meilleur moyen de les résoudre.

Pour cela nous allons faire une analyse par phase dans le cas d'une simple panne puis en double panne, et une analyse par bloc ; déterminer tous les cas de vol possibles avec une dégradation de la fusée (pannes en série) par phase de vol, mettre en place les différentes procédures requises à la mise en œuvre de cette fusée bi-étage. Une fois ces étapes d'analyses achevées, nous pourrons commencer à faire l'étude de la mécanique et de l'électronique de sécurité pour répondre parfaitement aux contraintes de sécurité.

3.1. Analyse par phase

Nous allons effectuer tout d'abord une analyse par phase en considérant les cas de pannes qui peuvent se produire sur les différents éléments.

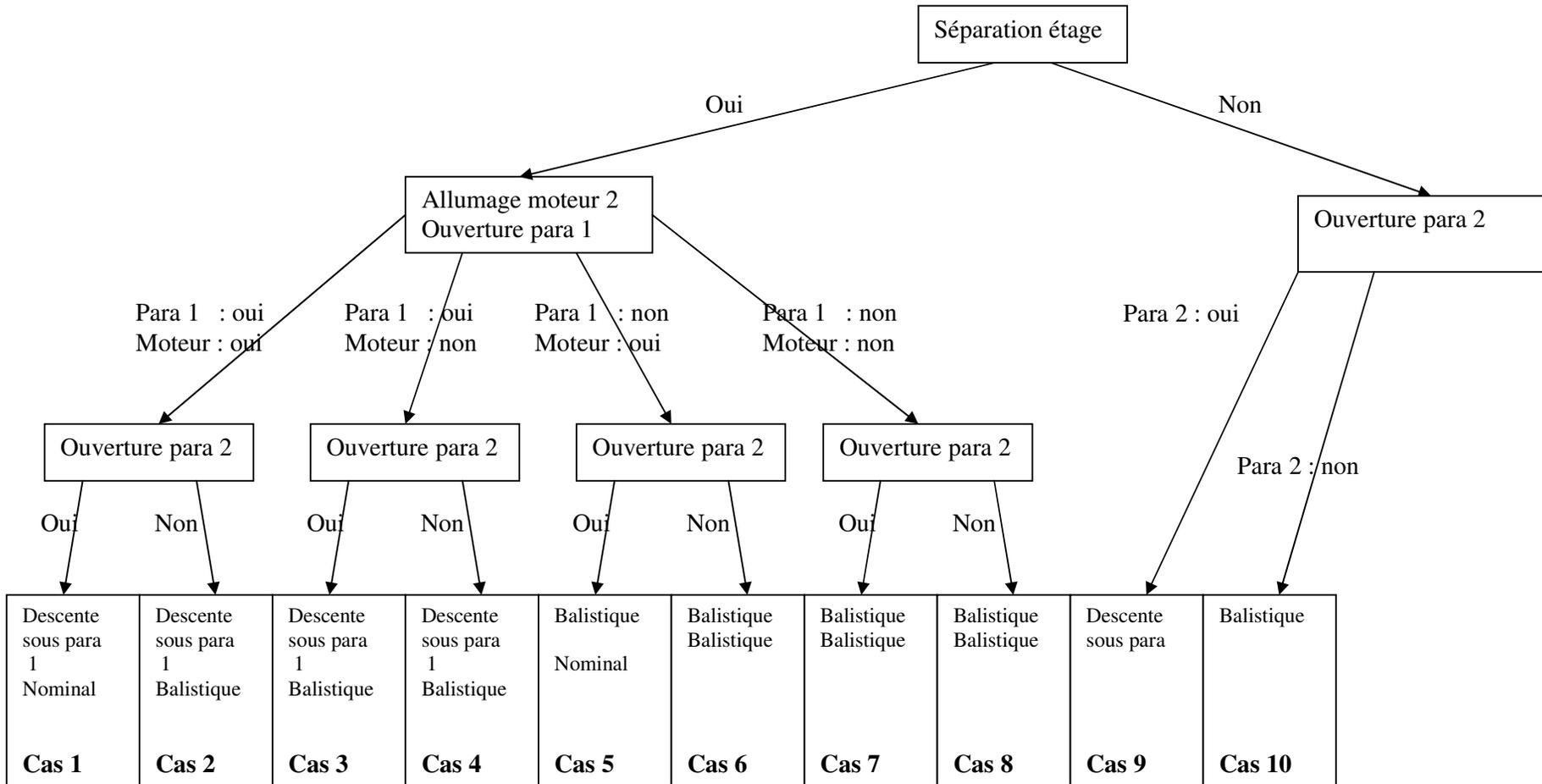
Les différentes phases de vol pour le lancement d'une fusée bi-étage :

- Descente sur rampe
- Mise en place du propulseur du 2^e étage
- Mise en place de l'inflamateur du 2^e étage
- Raccordement de la ligne de mise à feu du 2^e étage au système de sécu
- Fermeture du système de séparation des deux étages
- Mise en place du propulseur du 1^e étage
- Levé de la rampe
- Mise en place de la canne d'allumage du 1^e étage
- Mise en œuvre de la fusée
- Raccordement de la ligne de mise à feu du 1^e étage au système de sécu
- Mise à feu
- Sortie de rampe
- Vol de la fusée

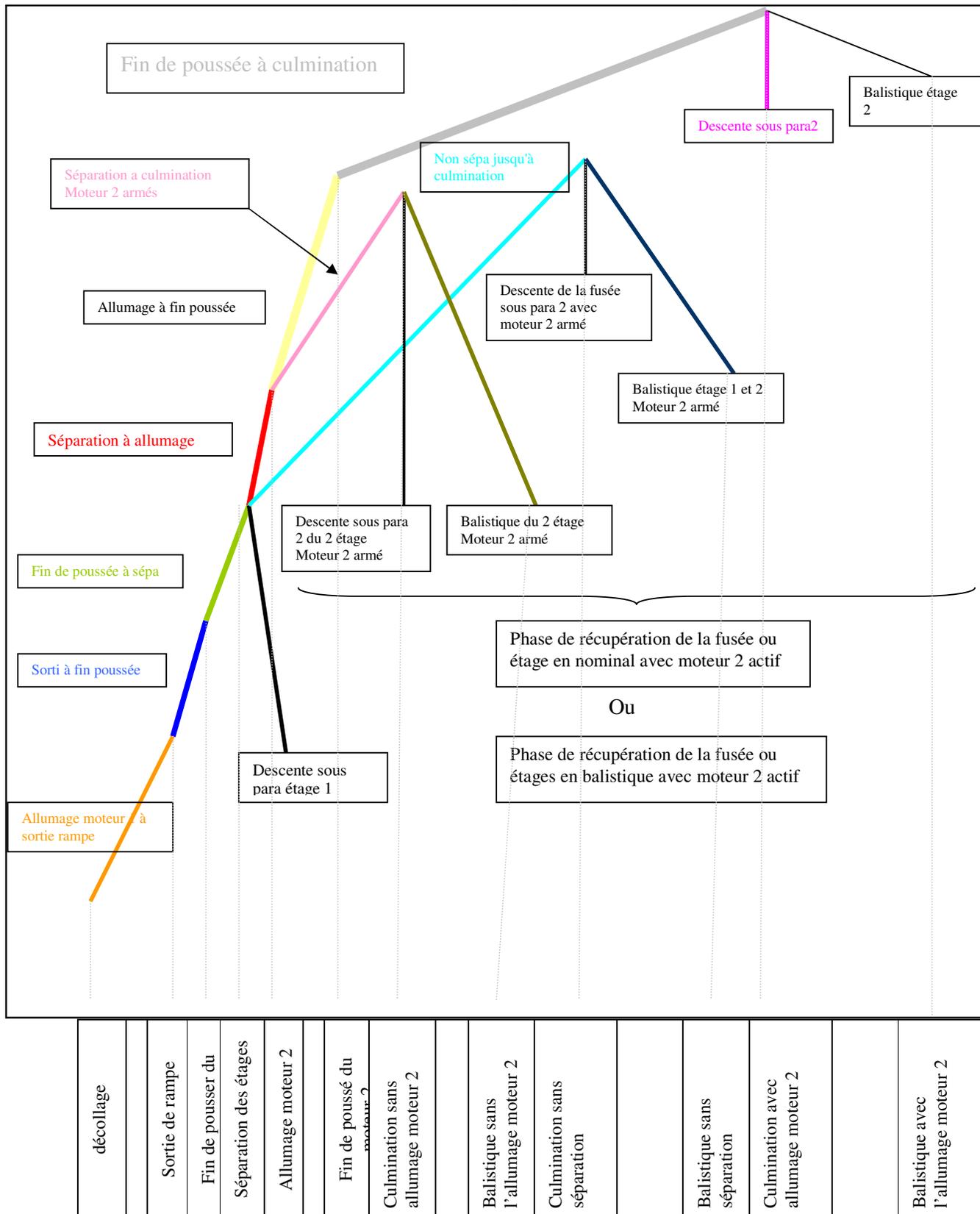
Schémas des différents cas de vol possibles prenant en compte l'ouverture des parachutes 1 et 2, la séparation des étages, et la mise à feu du 2^e moteur.

Nous considérons 4 résultats différents pour le vol de la fusée :

- le nominal: nous considérons que le cas nominal correspond au vol où nous avons l'allumage du second moteur en tout sécurité et le 2^e étage qui redescend avec son parachute.
- balistique : nous considérons comme balistique les cas où la fusée n'a pas ouvert son parachute, ce qui entraîne une perte de la fusée et/ou le non allumage du 2^e moteur en toute sécurité.



3.1.1. Schéma des différentes phases de vol



3.1.2. Liste des cas de pannes simples

Mise en place du propulseur du 2^e étage

- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure

Mise en place de la canne d'allumage du 2^e étage

- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure

Raccordement de la ligne de mis à feu du 2^e étage au système de sécurité

- mise à feu intempestive du moteur 2
- mauvais branchement
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure

Fermeture du système de séparation des deux étages

- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure
- mauvaise fermeture inter-étage
- débranchement ou sectionnement du fil de l'inflamateur du 2^e moteur

Mise en place du propulseur du 1^e étage

- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure
- séparation des étages intempestive

Mise en rampe et levé de la rampe

- mise à feu intempestive du moteur 1
- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure
- séparation des étages intempestive

Mise en place de la canne d'allumage du 1^e étage

- mise à feu intempestive du moteur 1
- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure
- séparation des étages intempestive

Mise en œuvre de la fusée

- mise à feu intempestive du moteur 1
- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure
- séparation des étages intempestive
- oubli de basculement d'un ou plusieurs interrupteurs

Raccordement de la ligne de mise à feu du 1^{er} étage

- mise à feu intempestive du moteur 1

Du décollage à la sortie de rampe :

- incident moteur 1
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- séparation des étages intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- mise à feu intempestive du moteur 2

Sortie de rampe jusqu'à la fin de pousse du moteur 1 :

- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- séparation des étages intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent
- mise à feu intempestive du moteur 2

De la fin de poussée du moteur 1 jusqu'à la séparation des étages :

- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- séparation des étages intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent
- mise à feu intempestive du moteur 2

Séparation des étages jusqu'à l'allumage du 2^e moteur

- pas de séparation
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent
- mise à feu intempestive du moteur 2

Descente sous parachute du 1^{er} étage :

- pas d'ouverture du parachute du 1^{er} étage
- arrachage du parachute du 1^{er} étage
- rafale de vent qui ramènera le 1^{er} étage en zone publique

Allumage du 2^e moteur jusqu'à la fin de poussée du 2^e moteur :

- incident moteur 2
- ouverture parachute 2 intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent

Fin de poussée du 2^e moteur jusqu'à culmination avec l'allumage du moteur 2 :

- ouverture prématurée para 2
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent

Descente sous le parachute du 2^e étage :

- pas d'ouverture du parachute du 2^e étage
- arrachage du parachute du 2^e étage
- rafale de vent qui ramènera le 2^e étage en zone publique

Non allumage moteur 2 jusqu'à la culmination sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 2 intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent

Descente sous le parachute du 2^e étage sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2
- rafale de vent qui ramènera le 2^e étage en zone publique
- pas d'ouverture du parachute du 2^e étage
- arrachage du parachute du 2^e étage

Non séparation jusqu'à la culmination sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent
- séparation des étages intempestive

Balistique du 2^e étage sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2

Descente de la fusée (1^e et 2^e étages) sous le parachute 2 sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2
- rafale de vent qui ramènera le 2^e étage en zone publique
- séparation des étages intempestive
- arrachage du parachute du 2^e étage

Balistique de la fusée (1^e et 2^e étages) sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2
- séparation des étages intempestive

Etude de sécurité du Projet F01-0607

Récupération de la fusée en nominal avec le moteur 2 armé

- mise à feu intempestive du moteur 2

Récupération de la fusée en balistique avec le moteur 2 armé

- mise à feu intempestive du moteur 2

3.1.3. Conséquences des différents cas de pannes et leurs résolutions

Nous traiterons uniquement des cas de pannes qui peuvent survenir après la descente en zone rampe. Tout les incidents qui pourraient survenir avant la descente en zone de rampe sont considérés comme sans importance, de même, ne sont pas pris en compte les erreurs de mise en œuvre de la fusée (une chronologie sera mise en œuvre en fonction de la fusée et de l'étude de sécurité).

Mise en place du propulseur du 2^e étage

Cas de panne : ouverture para 2 intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : endommagement de la structure

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention en manœuvrant la fusée ou ses morceaux

Mise en place de la canne d'allumage du 2^e étage

Cas de panne : endommagement de la structure

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : **ouverture para 2 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommager

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Raccordement de la ligne de mise à feu du 2^e étage au système de sécu

Cas de panne : **mise à feu du moteur 2 intempestive**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens
- perte du 2^e étage

Solution :

- vérifier que le connecteur soit bien en court-circuit à l'aide d'un multimètre avant branchement
- assurer un connecteur en court-circuit lorsque la fusée est inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : **mauvais branchement**

Cause :

- erreur humaine
- mauvais contact sur le bornier

Conséquence :

- risque de court-circuit
- non allumage du 2^e moteur au moment prévu

Solution :

- assurer un branchement fiable et sûr

Cas de panne : **ouverture para 2 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : endommagement de la structure

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Fermeture du système de séparation des deux étages

Cas de panne : mise à feu du moteur 2 intempestive

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens
- perte du 2^e étage

Solution :

- assurer un connecteur en court-circuit lorsque la fusée est inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : ouverture para 1 intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : ouverture para 2 intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommager

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **endommagement de la structure**

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : **mauvaise fermeture inter-étage**

Cause :

- déformation des pièces
- mauvaise mise en place des goupilles

Conséquence :

- risque de destruction au lancement de la fusée
- risque de séparation prématurée
- risque d'induire le système de sécurité en erreur sur l'état de la fusée

Solution :

- prévoir un système visuel pour s'assurer de la bonne attache des étages
- système simple à mettre en œuvre (2 personnes max)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (pas de jeu possible entre les différentes pièces mécaniques)

Cas de panne : **débranchement ou sectionnement du fil de l'inflamateur du 2^e moteur**

Cause :

- manque d'attention lors de l'assemblage et de la fermeture du système de séparation

Conséquence :

- non allumage du moteur 2 au moment approuvé par le système de sécu
- risque de mise à feu intempestive du moteur 2

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (pas de jeu possible entre les différentes pièces mécaniques, place prévu pour faire passer les fils de l'inflamateur)
- essais sur table à la réception des pièces

Mise en place du propulseur du 1^e étage

Cas de panne : **mise à feu du moteur 2 intempestive**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens
- perte du 2^e étage

Solution :

- assurer un connecteur en court-circuit lorsque la fusée est inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : **ouverture para 1 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **ouverture para 2 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **endommagement de la structure**

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : **séparation des étages intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur
- peut être dangereux pour les pyrotechniciens (faire une erreur avec le 1^{er} moteur)

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)
- prévoir une sécurité pour éviter ce type d'incident

Mise en rampe et levé de la rampe

Cas de panne : **mise à feu du moteur 2 intempestive**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens
- perte du 2^e étage

Solution :

- assure un connecteur en court-circuit lorsque la fusée est inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : **ouverture para 1 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **ouverture para 2 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **endommagement de la structure**

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : **séparation des étages intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur
- peut être dangereux pour les pyrotechniciens (faire une erreur avec le 1^{er} moteur)

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)
- prévoir une sécurité pour éviter ce type d'incident

Mise en place de la canne d'allumage du 1^e étage

Cas de panne : **mise à feu du moteur 2 intempestive**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens
- perte du 2^e étage

Solution :

- assure un connecteur en court-circuit lorsque la fusée est inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : **ouverture para 1 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : ouverture para 2 intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : endommagement de la structure

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : séparation des étages intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur
- peut être dangereux pour le pyrotechnicien (faire une erreur avec le 1^{er} moteur)

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)
- prévoir une sécurité pour éviter ce type d'incident

Cas de panne : mise à feu du moteur 1 intempestive

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens

Solution :

Mise en œuvre de la fusée

Cas de panne : **mise à feu du moteur 1 intempestive**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens et membre du club

Solution :

Cas de panne : **mise à feu du moteur 2 intempestive**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens
- perte du 2^e étage

Solution :

- assurer un connecteur en court-circuit lorsque la fusée est inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : **ouverture para 1 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **ouverture para 2 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **endommagement de la structure**

Cause :

- cogner la fusée

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : **séparation des étages intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur
- peut être dangereux pour le pyrotechnicien (faire une erreur avec le 1^e moteur)

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)
- prévoir une sécurité pour éviter ce type d'incident

Cas de panne : **oubli de basculement d'un ou plusieurs interrupteur(s)**

Cause :

- erreur sur la chronologie
- erreur humaine

Conséquence :

- non allumage de certains systèmes électriques

Solution :

- suivre à la lettre la chronologie

Raccordement de la ligne de mis à feu du 1^e étage

Cas de panne : **mise à feu du moteur 1 intempestive**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- indépendant de notre volonté

Solution :

Du décollage à la sortie de rampe :

Cas de panne : incident moteur 1

Cause :

- explosion moteur
- non feu moteur

Conséquence :

- risque de destruction du 1^e étage, risque d'explosion du 2^e moteur
- risque que les capteurs d'accélération captent une accélération et mettent en marche le reste de l'électronique

Solution :

- vérifier l'intégrale de poussée pour vérifier le bon fonctionnement du moteur
- procédure CNES

Cas de panne : **ouverture para 1 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- risque de déstabiliser la fusée
- arrachage du parachute du 1^e étage
- force la séparation ou la détériore

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (reprise des efforts sur le système de séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 2
- dimensionner le parachute 2 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : **ouverture para 2 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et de descente sous parachute 1
- dimensionner le parachute 1 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : **séparation des étages prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- perte du 2^e étage
- perte de stabilité du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Cas de panne : **perte d'éléments mécaniques**

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : **mise à feu du moteur 2 prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera court-circuitée pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécu
- Vérifier si moteur 2 est allumé grâce à un capteur de température.

Sortie de rampe jusqu'à la fin de poussée du moteur 1 :

Cas de panne : ouverture para 1 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- risque de déstabiliser la fusée
- arrachage du parachute du 1^e étage
- force la séparation ou la détériore

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (reprise des efforts sur le système de séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 2
- dimensionner le parachute 2 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : ouverture para 2 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 1
- dimensionner le parachute 1 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : séparation des étages prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- perte du 2^e étage
- perte de stabilité du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Cas de panne : **perte d'éléments mécaniques**

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : **rafale de vent**

Conséquence :

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécu

De la fin de poussée du moteur 1 jusqu'à la séparation des étages :

Cas de panne : **ouverture para 1 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- risque de déstabiliser la fusée
- arrachage du parachute du 1 étage
- force la séparation ou la détériore

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (reprise des efforts sur le système de séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 2
- dimensionner le parachute 2 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : **ouverture para 2 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 1
- dimensionner le parachute 1 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : **séparation défectueuse**

Cause :

- Panne moteur
- Pièce cassée
- Pièce qui grippe

Conséquence :

- impossibilité d'allumer le second moteur

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Cas de panne : **perte d'éléments mécaniques**

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : **rafale de vent**

Conséquence :

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité

Séparation des étages jusqu'à l'allumage du 2^e moteur (sans l'allumage)

Cas de panne : **pas de séparation**

Cause :

- Panne moteur
- Pièce cassée
- Pièce qui grippe

Conséquence :

- Pas d'allumage possible du 2^e moteur

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Cas de panne : **ouverture para 1 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- risque de déstabiliser la fusée
- arrachage du parachute du 1^e étage
- force la séparation ou la détériore

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (reprise des efforts sur le système de séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 2
- dimensionner le parachute 2 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : ouverture para 2 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 1
- dimensionner le parachute 1 pour assurer une vitesse acceptable
- inhiber l'allumage

Cas de panne : perte d'éléments mécaniques

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : rafale de vent

Conséquence : cas catastrophe, indépendant de notre système

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- vérifier la trajectoire pour autoriser l'allumage du 2^e moteur

Cas de panne : mise à feu du 2^e moteur prématurée

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité

Descente sous parachute du 1^e étage :

Cas de panne : **pas d'ouverture de la case parachute du 1^e étage**

Cause :

- Panne moteur
- Casse d'éléments mécaniques qui empêche l'ouverture

Conséquence :

- Perte du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : **arrachage du parachute du 1^e étage**

Cause :

- Casse d'éléments mécaniques
- Sangle sectionnée

Conséquence :

- Perte du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : **rafale de vent qui ramènera le 1^e étage en zone publique**

Conséquence :

- Risque d'atterrissage du 1^e étage en zone publique
- Risque d'atterrissage du 1^e étage en dehors du gabarit

Solution :

- Indépendant de notre volonté
- Assurer une vitesse de descente plus forte que pour le 2^e étage pour limiter l'influence du vent

Allumage du 2^e moteur jusqu'à la fin de poussée du 2^e moteur :

Cas de panne : **incident moteur 2**

Cause :

- Explosion moteur
- Non feu moteur

Conséquence :

Solution :

- mise en place des procédures CNES
- risque de destruction du 2^e étage

Cas de panne : ouverture du para 2 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : perte d'éléments mécaniques

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : rafale de vent

Conséquence : cas catastrophe, indépendant de notre système

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Fin de poussée du 2^e moteur jusqu'à la culmination avec l'allumage du moteur 2 :

Cas de panne : ouverture du para 2 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **perte d'éléments mécaniques**

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : **rafale de vent**

Conséquence :

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Descente sous parachute du 2^e étage :

Cas de panne : **pas d'ouverture du parachute du 2^e étage**

Cause :

- Panne moteur
- Casse d'éléments mécaniques empêche l'ouverture

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : **arrachage du parachute du 2^e étage**

Cause :

- Casse d'éléments mécaniques
- Sangle sectionnée

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : **rafale de vent qui ramènera le 2^e étage en zone publique**

Conséquence :

- Risque d'atterrissage du 2^e étage en zone publique
- Risque d'atterrissage du 2^e étage en dehors du gabarit

Solution :

- Indépendant de notre volonté
- Dimensionner le parachute de telle sorte que la fusée ne puisse parcourir sous parachute plus que sa portée balistique.

Non allumage moteur 2 jusqu'à la culmination sans allumage du moteur 2

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécu
- Fenêtrage temporelle pour autoriser l'allumage du moteur

Cas de panne : **ouverture para 2 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **perte d'éléments mécaniques**

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : **rafale de vent**

Conséquence : cas catastrophe, indépendant de notre système

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Non séparation jusqu'à culmination sans allumage moteur 2

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur

Cas de panne : **ouverture para 1 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- risque de déstabiliser la fusée
- arrachage du parachute du 1^e étage
- force la séparation ou la détériore

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (reprise des efforts sur le système de séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 2
- dimensionner le parachute 2 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : **ouverture para 2 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **perte d'éléments mécaniques**

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : **rafale de vent**

Conséquence :

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Cas de panne : **séparation des étages prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- perte du 2^e étage
- perte de stabilité du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Descente sous parachute du 2^e étage sans allumage moteur 2

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur

Cas de panne : **rafale de vent qui ramènera le 2^e étage en zone publique**

Conséquence :

- Risque d'atterrissage du 2^e étage en zone publique
- Risque d'atterrissage du 2^e étage en dehors du gabarit

Solution :

- Indépendant de notre volonté
- Dimensionner le parachute de telle sorte que la fusée ne puisse parcourir sous parachute plus que sa portée balistique.

Cas de panne : **pas d'ouverture du parachute du 2^e étage**

Cause :

- Panne moteur
- Casse d'éléments mécaniques empêche l'ouverture

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : **arrachage du parachute du 2^e étage**

Cause :

- Casse d'éléments mécaniques
- Sangle sectionnée

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Balistique du 2^e étage sans allumage moteur 2

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur

Descente de la fusée (1^e et 2^e étage) sous parachute 2 sans allumage moteur 2

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur

Cas de panne : **rafale de vent qui ramènera la fusée en zone public**

Conséquence :

- Risque d'atterrissage du 2^e étage en zone publique
- Risque d'atterrissage du 2^e étage en dehors du gabarit

Solution :

- Indépendant de notre volonté
- Dimensionner le parachute de telle sorte que la fusée ne puisse parcourir sous parachute plus que sa portée balistique.

Cas de panne : **séparation des étages prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- perte du 2^e étage
- perte de stabilité du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Cas de panne : **arrachage du parachute du 2^e étage**

Cause :

- Casse d'éléments mécaniques
- Sangle sectionnée

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : **pas d'ouverture du parachute du 2^e étage**

Cause :

- Panne moteur
- Casse d'éléments mécaniques empêche l'ouverture

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- ordonne ouverture du parachute 1

Balistique de la fusée (1^e et 2^e étage) sans allumage moteur 2

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur

Cas de panne : **séparation des étages prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- perte du 2^e étage
- perte de stabilité du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Récupération de la fusée en nominal sans allumage moteur 2

Cas de panne : mise a feu du 2^e moteur prématurée

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur
- Indique au PC l'état du moteur

Récupération de la fusée en balistique sans allumage moteur 2

Cas de panne : mise à feu du 2^e moteur prématurée

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur
- Indique au PC l'état du moteur

3.1.4. Résumé des solutions techniques apportées par l'étude des simples pannes:

Mécanique :

- bien dimensionner les éléments mécaniques
 - du système de récupération
 - le parachute et sa fixation
 - du système d'ouverture de la trappe
 - fiabilité des systèmes d'ouvertures
 - système de séparation des étages
 - reprise des efforts de la structure sur le système de séparation
 - fiabilité des systèmes de séparation
 - s'assurer que les deux étages s'écartent l'un de l'autre sans changement de trajectoire
 - s'assurer que les fils pour les signaux des capteurs de séparation ne gênent pas le bon déroulement de la séparation
 - prévoir système pour bloquer le ressort en position comprimée pour une séparation en douceur en cas de désamorçage
 - corps de la fusée
 - bon dimensionnement les éléments de la fusée, ailerons, ...
 - attache moteur
 - s'assurer du système de fixation du moteur 1
 - s'assurer du système de fixation du moteur 2 pour éviter qu'il tombe lors de la séparation des étages
- Stabilité de la fusée
 - Assurer une bonne stabilité dynamique
 - Fusée avec les deux étages assemblés
 - 2^e étage seul

Electronique sécurité :

- Mettre en place un système fiable pour garder la ligne de mise à feu du moteur 2 en court-circuit sauf au moment de l'allumage
- Mise en place d'un système de communication inter-étage qui ne risque pas de se bloquer lors de la séparation des étages (prise jack, contacteur électrique,...)
- Rapidité et fiabilité du système de sécurité
- Choisir les capteurs et s'assurer que l'ensemble du système de sécurité puisse supporter le vol sans risquer de perturber les données ou se désintégrer à cause de l'accélération.

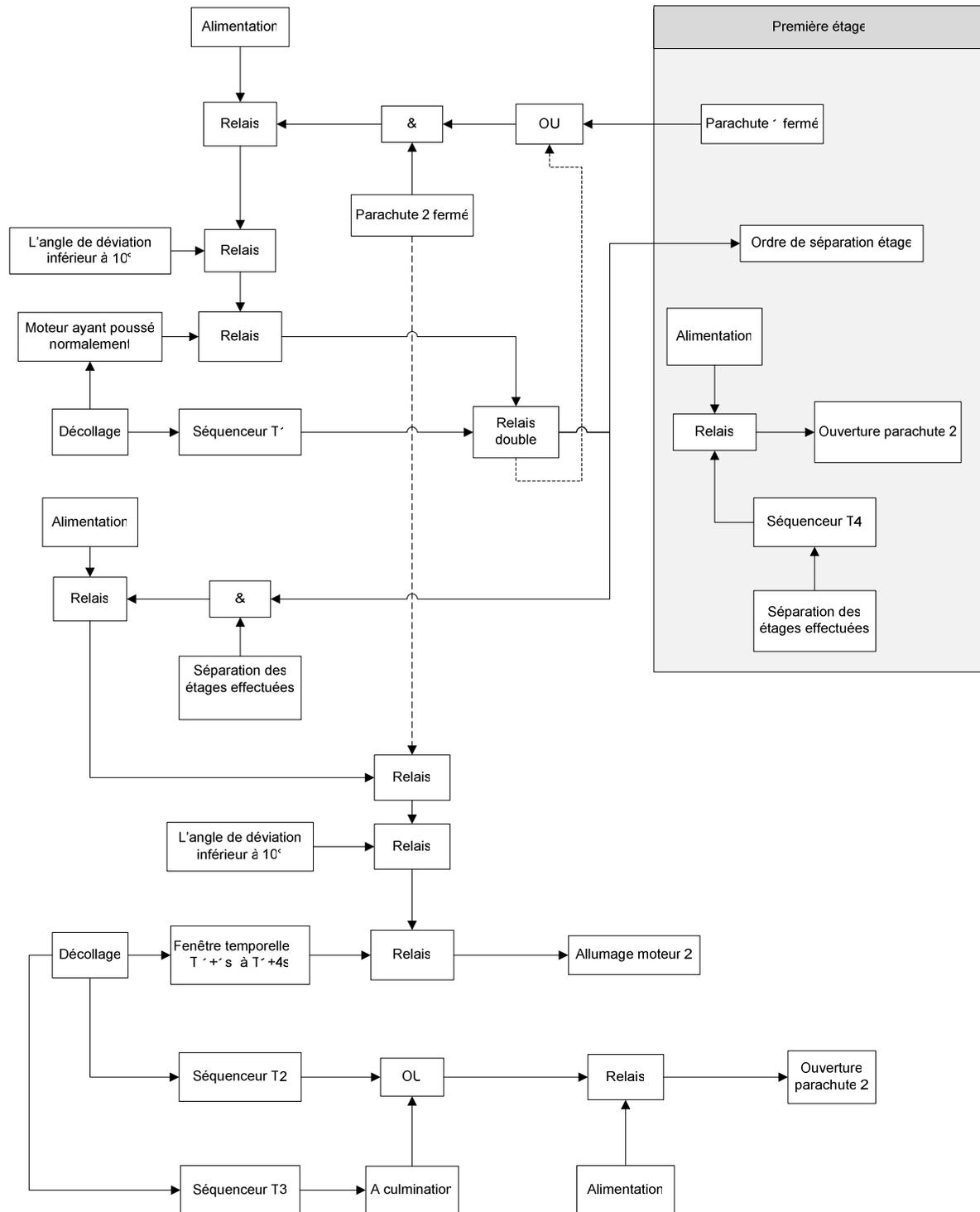
Chronologie :

- vérifier la bonne fermeture du système de séparation
- vérifier la bonne fermeture des parachutes 1 et 2
- vérifier à l'aide d'un voltmètre la mise en court-circuit de l'inflamateur
- vérifier la mise en œuvre de la fusée
- vérifier le branchement de l'inflamateur

Pour le moment nous n'avons apporté aucune modification au schéma électronique de sécurité.

Schéma électronique de sécurité toujours en vigueur, (explication page 9 à 12)

Schéma électronique complet du système de sécurité :



3.1.5. Étude des doubles pannes

Voir fichier Excel « bipannephasedevolV6.xls »

	doute de ce qui faut faire
	cas de panne résolu
	cas non résolu
	indépendant de notre volonté et très peu probable
	report du lancement
	pas possible ou aberrant

Sont considérés par le club comme :

- pas possible ou aberrant : tout les cas qui ne peu pas ce produire
- indépendant de notre volonté et très peu probable : sont tout les incident qui ont de très faible chance de ce produire (comme l'allumage du moteur 1 intempestif)
- cas de panne résolu : nous considérons comme cas de panne résolue les cas de panne qui sont déjà traité ou ne sont pas dangereux.
- doute de ce qui faut faire : les cas ou il y a un incident sur le ou les moteur de la fusée.
- cas non résolu : cas qui serai très dangereux pour les personnes sur la zone rampe.

Mécanique :

- les parachutes 1 et 2 doivent pouvoir supporter une ouverture à la vitesse max
- système de séparation :
 - avoir un système de séparation fiable et bien dimensionner les goupilles
 - s'assurer qu'il n'y est pas de risques de sectionner le fil de l'inflamateur du moteur 2
 - le système de séparation doit être capable de supporter l'allumage du moteur 2 en étant fermé

Chronologie :

- Vérifier au différentes étapes de mise en œuvre la bonne fermeture des parachutes 1 et 2
- Vérifier la bonne fermeture du système de séparation
- Graisser ou huiler les parties en contact avec le système de séparation

Nouvelle chronologie :

R15

- Plier et ranger les parachutes 1 et 2
- Changer les batteries ou vérifier quelle soient chargées
- Rassembler les outils utiles pour rassembler la fusée

Tente club

- Vérifier que la modulation fonctionne
- Vérifier qu'il n'y a pas de disfonctionnement sur l'élec de sécu
- Vérifier la bonne fermeture des parachutes

Descente sur rampe

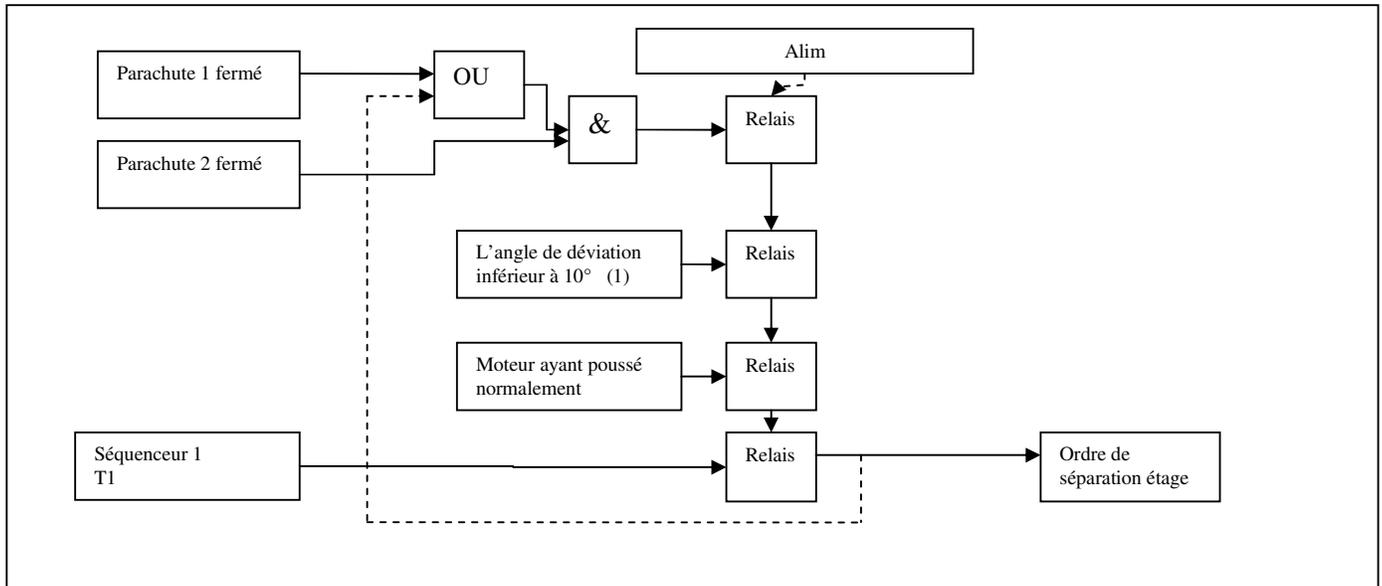
- Mise en place du propulseur du 2^e étage
- Mise en place de l'inflamateur du 2^e étage
- Vérifier la bonne fermeture du parachute 2
- Vérifier que la ligne de mise à feu soit bien en court-circuit à l'aide d'un multimètre
- Raccordement de la ligne de mise à feu du 2^e étage au système de sécu
- Graisser ou huiler les parties du système de séparation
- Fermeture du système de séparation des deux étages
- Vérifier la bonne fermeture du parachute 1 et 2
- Vérifier la bonne fermeture du système de séparation
- Mise en place du propulseur du 1^e étage
- Levée de la rampe
- Vérifier que la modulation fonctionne
- Mise en place de la canne d'allumage du 1^e étage
- Mise en œuvre de la fusée
- Vérifier la bonne fermeture du parachute 1 et 2
- Vérifier la bonne fermeture du système de séparation
- raccordement de la ligne de mise à feu du 1^e étage au système de sécu
- Mise à feu

3.2. Étude par bloc

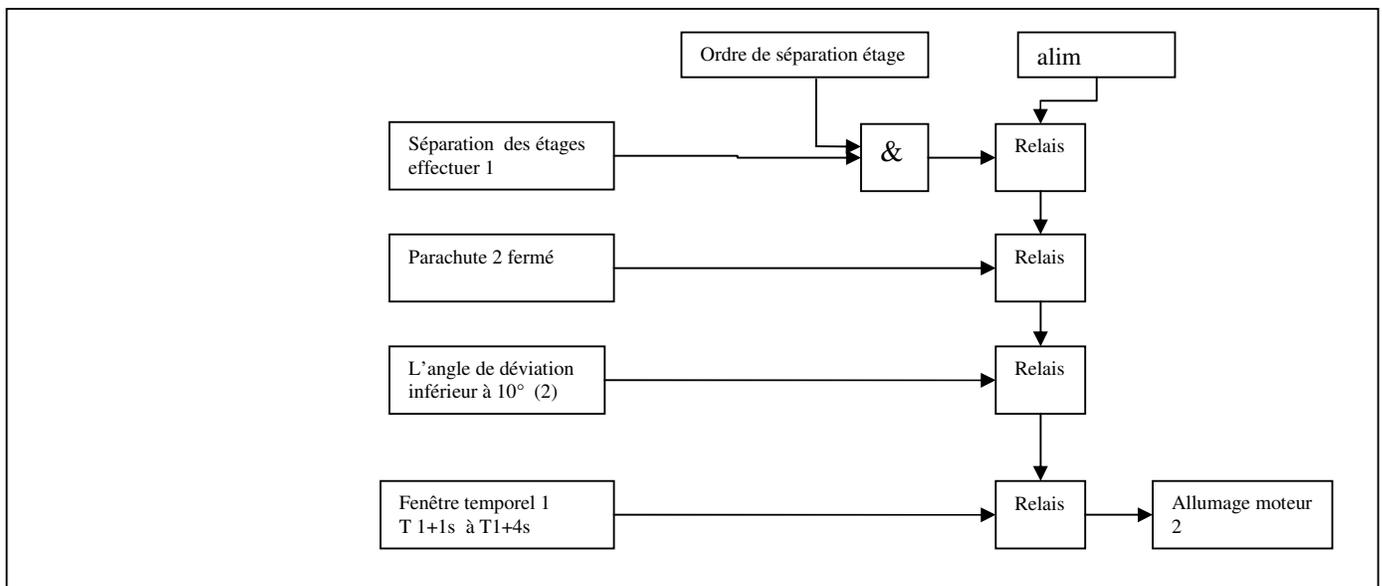
Pour cette étude nous allons commencer de bas en haut, nous considérerons tous les éléments mécaniques et électroniques de la fusée bi-étage.

Pour cette étude nous allons numéroter les séquenceurs ainsi que les éléments en double.

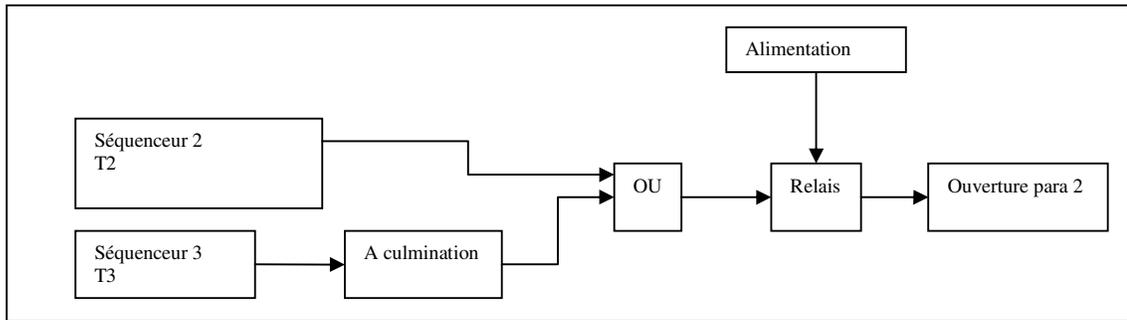
- schéma électronique pour la séparation des étages



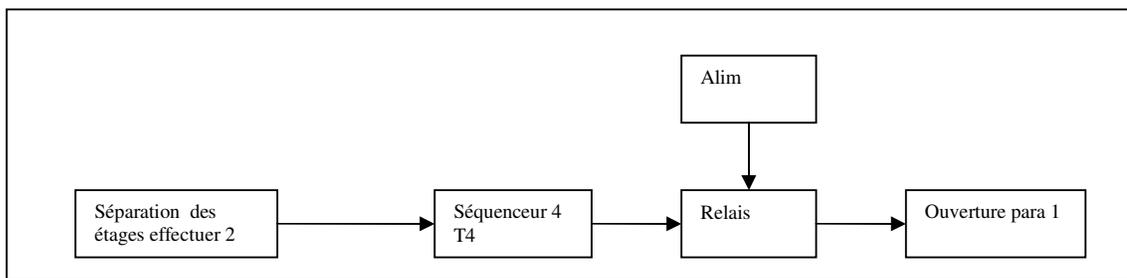
- schéma électronique pour l'allumage du 2^e moteur



- schéma électronique pour l'ouverture parachute 2



- schéma électronique pour l'ouverture parachute 1



3.2.1. Étude des cas de pannes simples

élément	Panne possible	conséquence	Cas résolu ?	solution
<u>Mécanique :</u>				
Moteur 1	Explosion	Ejection d'élément	Oui	Protocole CNES
	Long feu	Atterrissage propu armé	Oui	Protocole CNES
	Non feu	Pas de poussée	Oui	Protocole CNES
Aileron 1 composite	arrachage	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Pièce de jonction	Perte d'intégrité	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Attache moteur 1	Perte d'intégrité	Retomber du moteur en fin de pousse sans para	Oui	Dimensionnement
Parachute 1	Torche	Descente très rapide	Oui	Dimensionnement
	Arrachage	Balistique	Oui	Dimensionnement
	Bloqué à intérieur	Balistique	Oui	Dimensionnement
Porte para 1	arrachage	Ouverture para 1	Oui	Soigner la conception
	Pas d'ouverture	Balistique	Oui	Dimensionnement
Structure étage 1	Perte d'intégrité	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Séparation des étages	Non séparation	Descente sous para 2	Oui	Dimensionnement
	Perte d'intégrité	Séparation des étages intempestifs	Oui	Dimensionnement
	Mauvaise séparation	Risque de déstabiliser la fusée	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Interdiction d'allume moteur 2 • Dimensionnement
Moteur 2	Explosion	Ejection d'élément	Oui	Protocole CNES
	Long feu	Atterrissage propu arme	Oui	Protocole CNES
	Non feu	Pas de poussée	Oui	Protocole CNES
Attache moteur 2	Perte d'intégrité	Retombée du moteur en fin de poussée ou a la séparation sans para	Oui	Dimensionnement
Aileron 2	arrachage	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Parachute 2	Torche	Descente très	Oui	Dimensionnement

		rapide		
	Arrachage	Balistique	Oui	Dimensionnement
	Bloque à intérieur	Balistique	Oui	Dimensionnement
Composite	Perte d'intégrité	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Pièce de jonction	Perte d'intégrité	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Attache carte elec sécu	Carte qui se promène	Court-circuit	Oui	Dimensionnement
Porte para 2	arrachage	Ouverture para 1	Oui	Soigner la conception
	Pas d'ouverture	Balistique	Oui	Dimensionnement
<u>Electronique :</u>				
Séparation des étages effectuer 2	Défaillance	Mauvaise info sur la séparation des étages	Oui	Plusieurs capteurs en série
Séquenceur 4	Déclenchement intempetif	Pas possible	Oui	Pas alimente avant la séparation des étages
	Pas de déclenchement	Non ouverture parachute 1	Oui	Avoir une minuterie fiable
Ventouse magnétique	Défaillance	Ouverture para 1	Oui	Dimensionnement
Séquenceur 2	Déclenchement intempetif	Ouverture parachute2	Oui	Avoir une minuterie fiable
	Pas de déclenchement	Pas de sécu sur l'ouverture du parachute 2	Oui	Pas de conséquence en simple panne par bloc
Séquenceur 3	Déclenchement intempetif	Risque d'ouverture du parachute 2 si la fusée s'incline trop tôt	Oui	Avoir une minuterie fiable
	Pas de déclenchement	Pas de déclenchement de l'inclinaison de la fusée	Oui	Séquenceur 3 ouvrira le parachute 2
A culmination	Déclenchement intempetif	Pas possible		Pas alimente
	Pas de déclenchement	Pas d'ouverture parachute2 a culmination	Oui	Séquenceur 2 ouvrira le parachute 2
Ventouse magnétique	Défaillance	Ouverture para 2	Oui	Dimensionnement
Fenêtre temporel 1	Déclenchement intempetif	Risque d'allumage intempetif en dehors de la fenêtre	Oui	Avoir un fenêtrage fiable

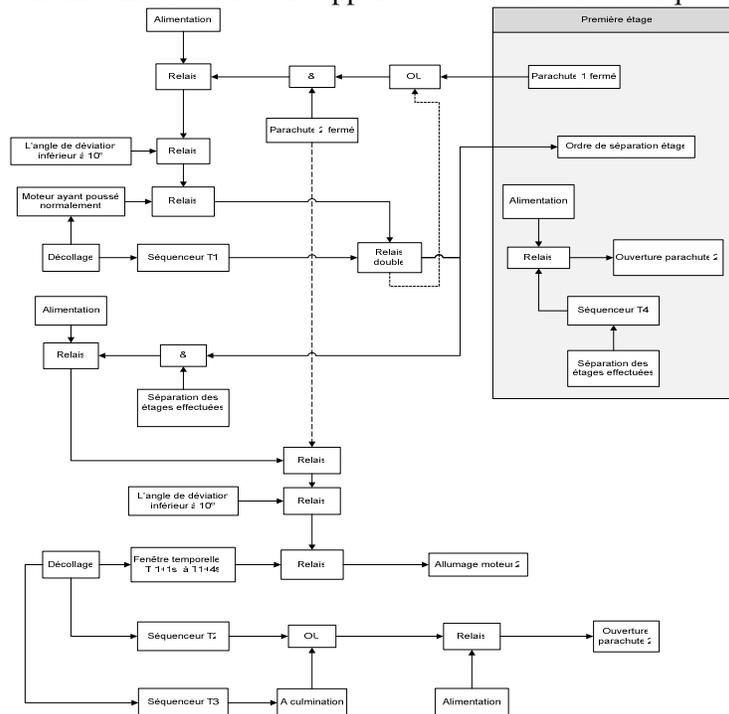
	Pas de déclenchement	Pas d'allumage moteur 2 possible	Oui	Avoir un fenêtrage fiable
L'angle de déviation inférieur à 10° (2)	Déclenchement intempestif	Risque d'allumage moteur 2 pas dans le bon axe	Oui	Deux systèmes pour vérifier l'inclinaison
	Pas de déclenchement	Pas d'allumage moteur 2 possible	Oui	Avoir un système fiable
Parachute 2 fermé	Info erronée	Ouverture para 2	Oui	Pas de séparation, donc pas d'allumage moteur 2
Séparation des étages effectuer 1	Défaillance	Mauvaise info sur la séparation des étages	Oui	Plusieurs capteurs en série
Inflamateur moteur 2	Défaillance	Pas d'allumage	Oui	Qualité CNES
Séquenceur 1 T1	Déclenchement intempestif	Déclenchement prématuré de la séparation des étages	Oui	Avoir une minuterie fiable
	Pas de déclenchement	Pas de séparation des étages	Oui	Avoir une minuterie fiable
Moteur ayant poussé normalement	Déclenchement intempestif	Risque d'effectuer la séparation des étages	Oui	Avoir un système fiable
	Pas de déclenchement	Pas de séparation des étages	Oui	Avoir un système fiable
L'angle de déviation inférieur à 10° (1)	Déclenchement intempestif	Déclenchement prématuré de la séparation des étages	Oui	Avoir un système fiable
	Pas de déclenchement	Pas de séparation possible	Oui	Avoir un système fiable
Parachute 1 fermé	Info erronée	Ouverture para 1	Oui	Pas de séparation, donc pas d'allumage moteur 2
Câble de transmissions des données inter étage	Reste attachée	Risque de déstabiliser le 2° étage	Oui	Voir Cas 1 ci dessous
	Casse	Perte d'info sur l'état du 1° étage Perte d'info sur l'ordre de séparation des étages	Oui	Dimensionnement
Electronique sécu	Carte elec qui grille	électronique HS	Oui	Prévoir une alimentation fiable et différent système de surtension
Cerveau moteur	Défaillance	Non ouverture para 2	Oui	Dimensionnement

- cas 1 : après séparation des étage le câble de transmissions de données inter étage reste attaché aux deux étages.
Conséquence : Ceci peut entraîner un risque de déstabilisation du 2° étage, risque d'autant plus grand si le second moteur s'allume
Solution : la transmission de donnée s'effectuera au travers d'un contacteur

3.2.2. Résumé des solutions techniques apportées par l'étude des doubles pannes:

Électronique :

Pour le moment l'électronique de sécurité répond aux différents cas de doubles pannes, donc aucune modification ne sera apportée au schéma électronique.



3.2.3. Etude des cas de doubles pannes

Voir fichier excel « bipanneparblocv2.xls »

3.2.4. Résumé des solutions techniques apportées

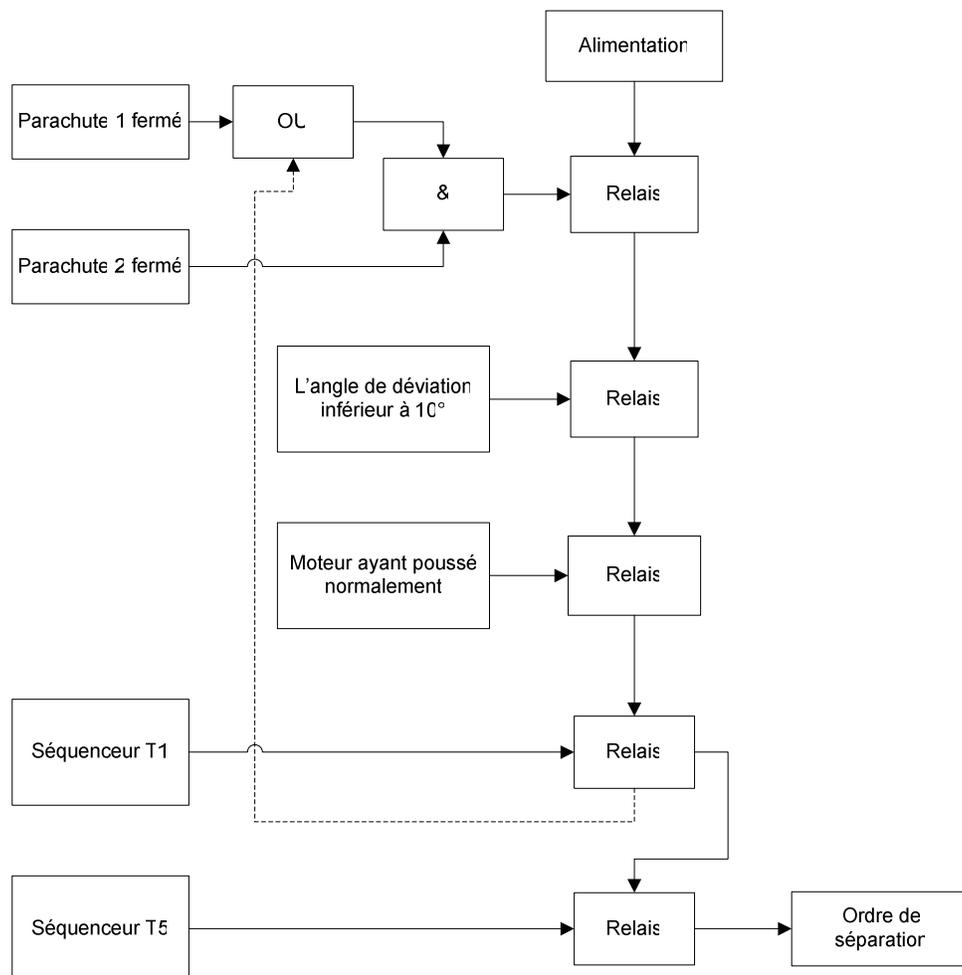
Un voie qu'un certain nombre de cas de panne ne sont pas encore résolue

Les solutions retenues sont :

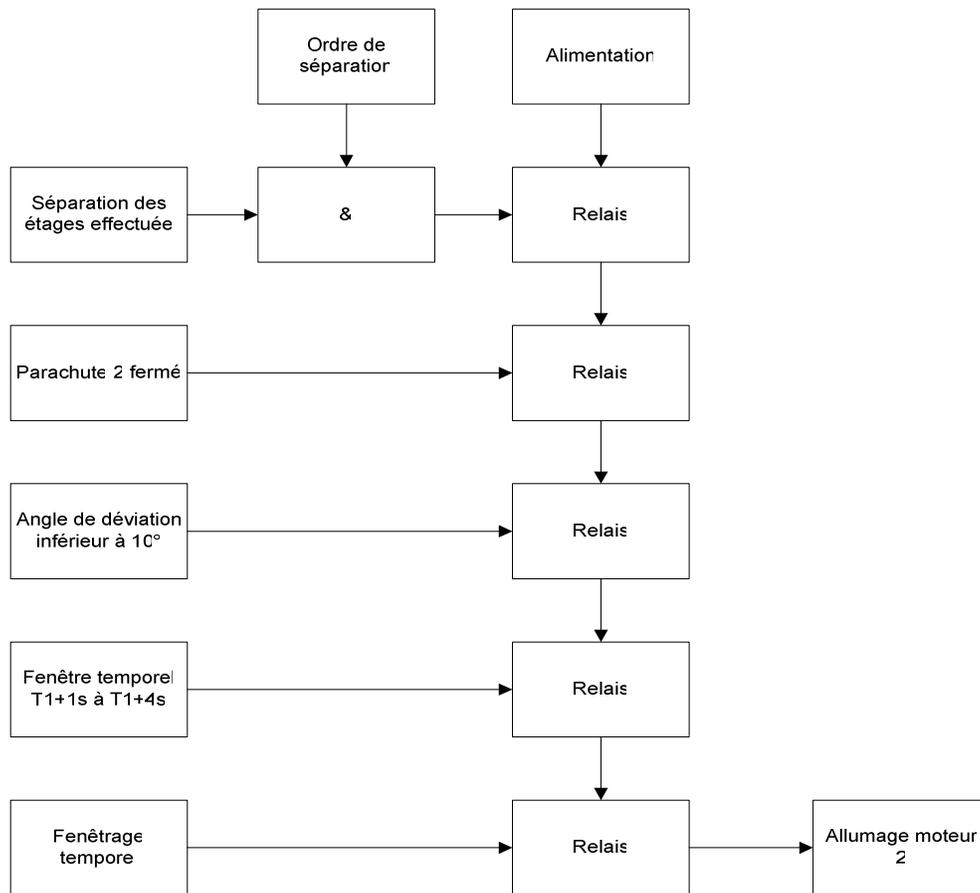
- Pour les pannes liées à la fermeture des parachutes, nous allons mettre plusieurs capteurs en série pour s'assurer de la bonne info liée à l'ouverture ou non des casques parachutes
- Nous allons rajouter un séquenceur pour l'ordre d'ouverture afin d'empêcher toute séparation trop tôt
- Nous rajoutons également un fenêtrage temporel sur la ligne de mise à feu du moteur 1

Nous avons donc comme nouvelle électronique de sécu :

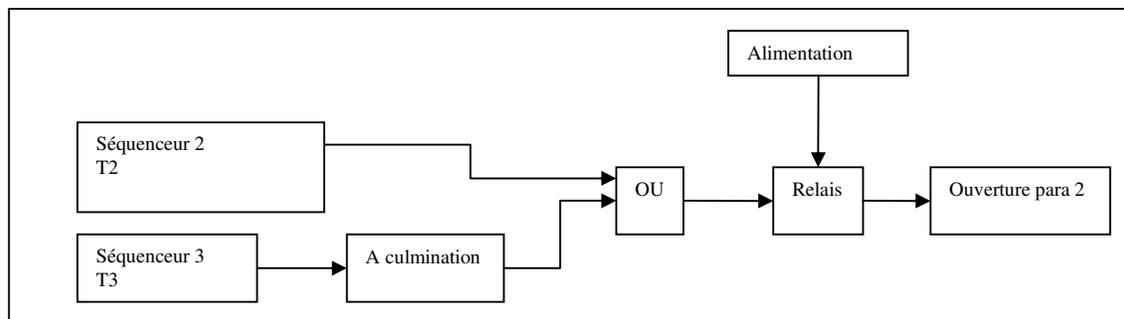
- schéma électronique pour la séparation des étages



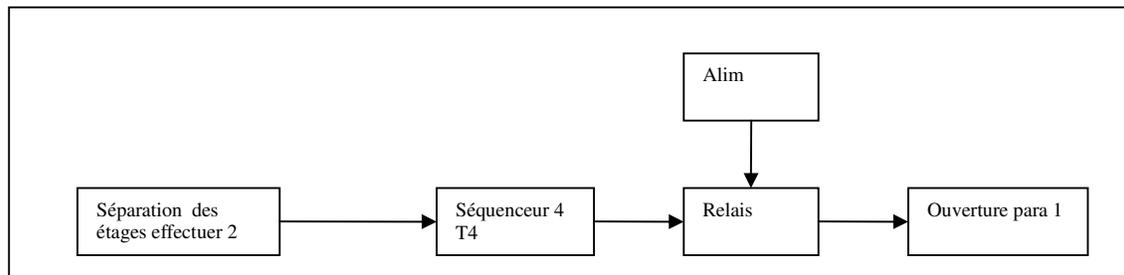
- schéma électronique pour l'allumage du 2^e moteur



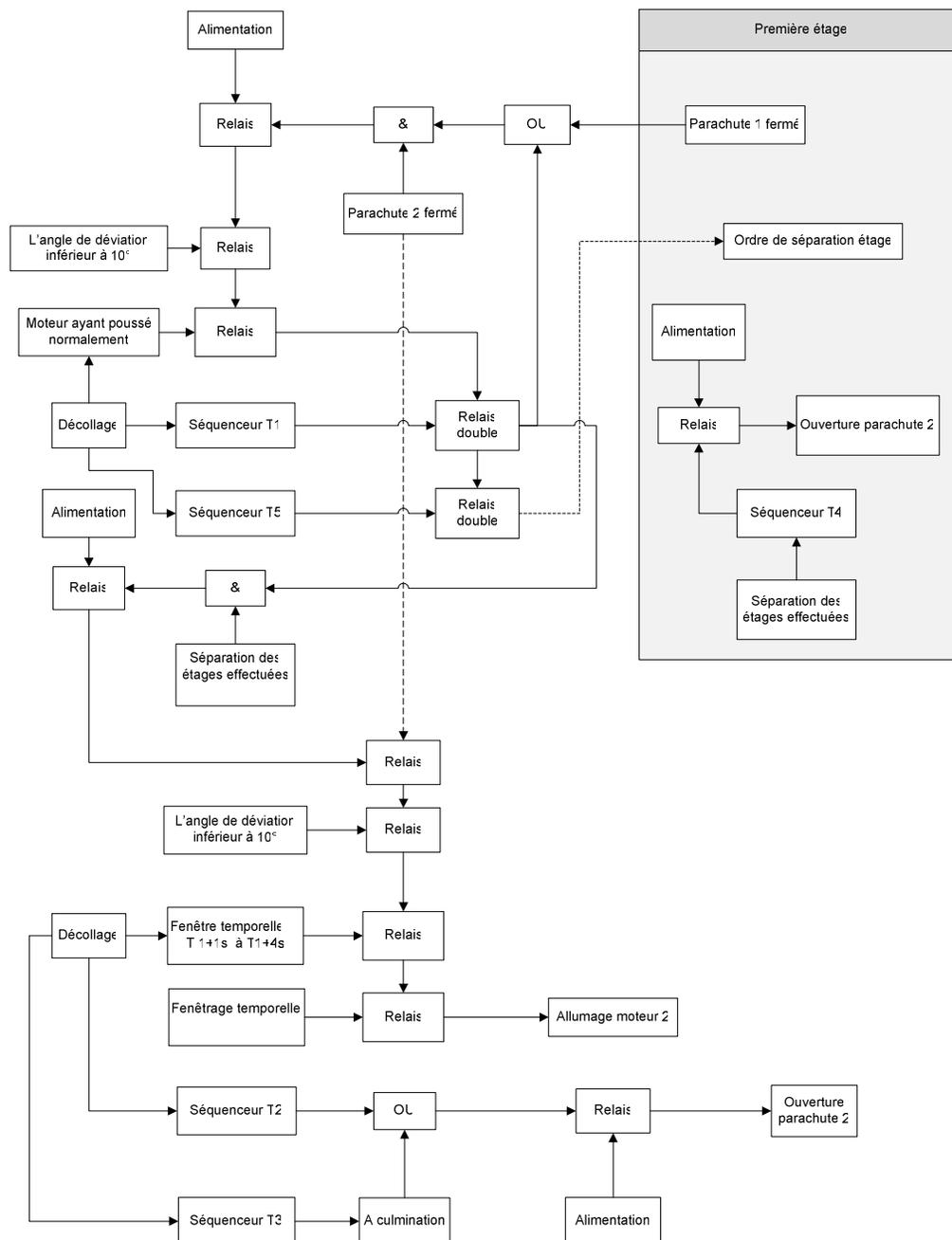
- schéma électronique pour l'ouverture parachute 2



- schéma électronique pour l'ouverture parachute 1



- Schéma électronique complet du système de sécurité :



3.3. Solution particulier pour les phase de récupération de la fusée

La fusée enverra au sol via la télémétrie les infos relatives à l'état du moteur 2, et de l'ensemble de la fusée. Ces données seront traitées en temps réel afin de savoir si le moteur c'est allumé ou non.

- En cas de balistique du 2ème étage sans avoir allumé le moteur 2, et s'il est impossible de le neutraliser et de le démonter facilement (structure trop déformée, ou moteur déformé) le club propose comme solution de le mettre à feu le moteur fixe dans la fusée compacte, ou de faire exploser le moteur et donc la fusée.
- En cas de balistique de la fusée au complet (sans séparation des étages) et donc sans allumage du moteur 2, le club propose deux solutions pour neutraliser le moteur 2 :
 - Effectuer la séparation des étages si l'état de la fusée le permet, puis désamorcer le moteur 2.
 - Mise à feu du moteur 2 sans effectuer la séparation des étages. Le système de séparation a été dimensionné pour pouvoir supporter un allumage du moteur 2 système fermé.
- Dans le cas d'un vol nominal du 2ème étage sans allumage du moteur 2, nous proposons deux solutions
 - Retire le moteur en le désamorçant
 - Mise à feu du moteur 2 au sol, mais ce risque d'entraîner un déclenchement d'incendie
- En cas de vol nominal de la fusée au complet sans allumage du moteur 2, nous proposons deux solutions
 - Effectuer la séparation des étages pour permettre de retirer le moteur en le désamorçant
 - Mise à feu du moteur 2 au sol avec la séparation des étages fermée, mais ce risque d'entraîner une dégradation du système de séparation et également d'entraîner un déclenchement d'incendie

Pour faciliter l'allumage du moteur 2 (dans le cas d'un allumage au sol afin de le neutraliser), nous prévoyons un jack pour permettre d'allumer le moteur sans toucher à l'inflammateur.


```

C:\ D:\aso\Trajec25\Trajec25.exe
F1 : Trajectoire F2 : Stabilité F3 : Fichiers F4 : Moteurs F5 : Vent
calcul de trajectoire en cours
t=0.000s z-z0= 0m v= 0m/s x= 0m y= 0m g= 0m/s² A= 80°
sortie de rampe
t=0.400s z-z0= 4m v= 20m/s x= 1m y= 0m g= 41m/s² A= 80°
fin de propulsion
t=3.600s z-z0= 209m v= 92m/s x= 55m y= 0m g= 13m/s² A= 73°
culmination
t=11.83s z-z0= 556m v= 24m/s x= 262m y= 0m g= 10m/s² A= 0°
impact
t=22.85s z-z0= 0m v= 97m/s x= 505m y= 0m g= 7m/s² A=-79°

appuyez sur une touche pour retourner au menu
    
```

4.2. Stabilité du 2 étage sous traject 2.5

```

C:\ D:\aso\Trajec25\Trajec25.exe
F1 : Trajectoire F2 : Stabilité F3 : Fichiers F4 : Moteurs F5 : Vent
1:MOTEUR Cariatou A:PAS DE CALCUL 0.01 s G:VITESSE INITIALE 94 m/s
2:MASSE 10.000 kg B:Cx ESTIME 0.80 X:AXE X INITIAL 58 m
3:MAITRE COUPLE 9699 mm² C:ALTITUDE RAMPE 0 m Y:AXE Y INITIAL 0 m
4:FICHIER RESULTAT NON D:SITE DE LA RAMPE 73 ° Z:AXE Z INITIAL 215 m
5:TEMPS D'OUVERTURE DU PARACHUTE : 18.0 s E:LONGUEUR RAMPE 0.0 I:TEMPS INITIAL 3.6 s
6:DESCENTE SOUS PARACHUTE NON F:IMPRESSION DES L:IMPRIME UN FICHIER
RESULTAT
7:VITESSE PARA : 15 m/s PRINCIPAUX RESULTATS : M:EDITE UN FICHIER
RESULTAT
VENT : ventnul.ven NON --- Version 2.5 ---

0:FUSEE f11-0607 K:CLUB aeroipsa
8:début du calcul de trajectoire 9:sortir du programme
    
```

```

C:\D:\aso\Trajec25\Trajec25.exe
F1 : Trajectoire F2 : Stabilité F3 : Fichiers F4 : Moteurs F5 : Uent
FUSEE:F11-0607 CLUB:aeroipsa MOTEUR:Cariacou PAS: 10 %
virole: NON Xcg: 0 biétage : NON
masse: 0.000
prop:1900
<-300 -> D Xcg vide:1000 -> Xcg:1021 -> masse:10.000 kg
105 L=1500 avec moteur et virole
coiffe:conique m=200
jupe/rétréint : NON épaisseur ailerons : 2.0
sortir du programme p=100 n=100
déplacements: <↑↓> valid.: RETURN variations: +- nombre d'ailerons : 4
Produit Ms x Cn : vide= 56.9 plein= 55.9
nom de la fusée_
Cn=15.4 ||Xcp:1403 ||marge statique:de 3.6 à 3.7 STABLE cotes en mm
    
```

```

C:\D:\aso\Trajec25\Trajec25.exe
F1 : Trajectoire F2 : Stabilité F3 : Fichiers F4 : Moteurs F5 : Uent
calcul de trajectoire en cours
t=3.600s z-z0= 215m v= 94m/s x= 58m y= 0m g= 0m/s² A= 73°
fin de propulsion
t=4.550s z-z0= 303m v= 96m/s x= 86m y= 0m g= 10m/s² A= 71°
culmination
t=12.71s z-z0= 650m v= 25m/s x= 308m y= 0m g= 10m/s² A= 0°
impact
t=24.86s z-z0= 0m v= 99m/s x= 579m y= 0m g= 5m/s² A=-80°
appuyez sur une touche pour retourner au menu
    
```

5. Système mécanique final

5.1. Conception

Cette année, un de nos objectifs est de produire une fusée expérimentale répondant aux exigences du cahier des charges tout en étant la plus légère possible. Cet objectif s'inscrit dans une perspective d'avenir qui est de réduire la masse de la structure de la FUSEX pour en octroyer davantage aux expériences embarquées dans les années à venir. Pour réduire la masse nous avons choisi de développer une peau en composites, matériaux d'avenir sur lequel nous avons souhaité acquérir un maximum de savoir-faire pour l'intégrer avec succès dans la structure de la fusée expérimentale de cette année et le réutiliser dans celles à venir. Cet apprentissage se déroule en trois étapes :

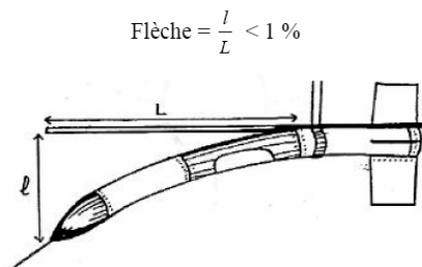
- Acquérir le savoir-faire concernant la modélisation complète sous Catia de la peau composite,
- Acquérir le savoir-faire de la réalisation de la peau en composites,
- Acquérir le savoir-faire sur l'intégration d'une peau composite sur une armature métallique.

5.1.1. Les contraintes de conception

Il existe de nombreuses contraintes stipulées dans le cahier des charges pour la conception d'une fusée expérimentale.

5.1.1.1. Flèche

Lorsque la fusée est positionnée à l'horizontale et maintenue par sa base, la flèche maximale ne doit pas excéder 1%. Ce test assure que la fusée n'a pas une flèche critique à vide et que la tenue mécanique en flexion résistera aux efforts du vol.



5.1.1.2. Tenue en compression

Chaque élément de la fusée doit pouvoir supporter une compression équivalente à :

$$F_{comp} = 2 \times A_{max} \times M_{sup}$$

Dans cette formule on retrouve :

- A_{max} est l'accélération maximale
- M_{sup} la masse de la partie supérieure

Les calculs effectués montrent que $F_{comp} = 2943$ N. Les éléments portants de la structure doivent donc résister à une telle force de compression.

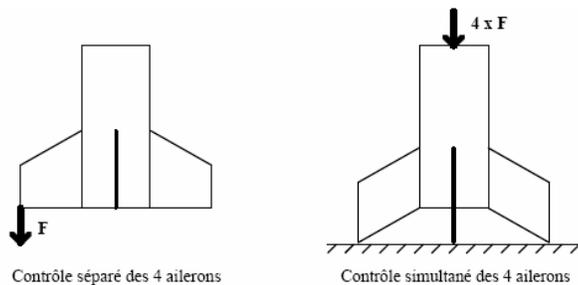
5.1.1.3. Les ailerons

5.1.1.3.1 Force longitudinale

Les ailerons doivent pouvoir supporter une force longitudinale :

$$F_{long} = 2 \times A_{max} \times M_{aileron}$$

- $M_{aileron}$ est la masse d'un aileron.



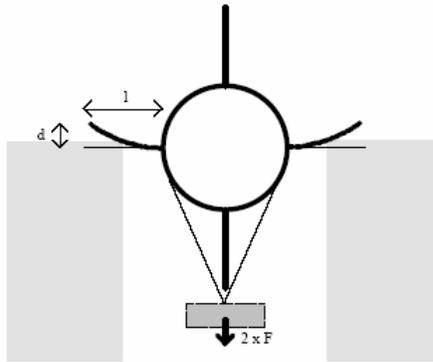
5.1.1.3.2 Force transversale

Les ailerons doivent supporter une force transversale :

$$F_{trans} = 0.104 \times S_{aileron} \times V_{max}^2$$

Dans cette formule retrouve

- $S_{aileron}$ est la surface d'un aileron
- V_{max} la vitesse maximale



Le critère dimensionnant est :

$$d \leq l \times \tan(10^\circ)$$

5.1.1.4. Autres contraintes

Il existe aussi des contraintes liées à l'architecture bi-étage et aux grandes dimensions de la fusée. Ces contraintes sont les suivantes :

- Nécessité d'un système de séparation
- Système de séparation éjectant le moins de pièce possible
- Intégration du propulseur dans le 2^e étage propulseur
- Evacuation des gaz en cas d'allumage prématuré du propulseur du 2^e étage
- Contrainte de montage du système de séparation
- Contrainte de poids vu les dimensions importantes de la fusée la structure ne peut pas être simplement constituée d'aluminium

5.1.2. Outils de conception assistée par ordinateur

5.1.2.1. Catia V5R15

Ce logiciel permet la modélisation des pièces de la Fusée Expérimentale et de réaliser les assemblages. Dans une moindre mesure, permet d'effectuer un calcul grossier aux éléments finis de la pièce et donc permet d'analyser les contraintes et les déformations des pièces lorsqu'elles sont soumises à un chargement défini qui approxime le chargement réel. Ces analyses nous ont permis de valider les pièces simples.

5.1.2.2. Sim Designer

Sim Designer permet d'observer le comportement dynamique des assemblages, notamment pour le système de séparation. Ce logiciel permet de vérifier que les pièces ne sont pas bloquées et qu'elles n'entrent pas en collision.

5.1.2.3. Nastran

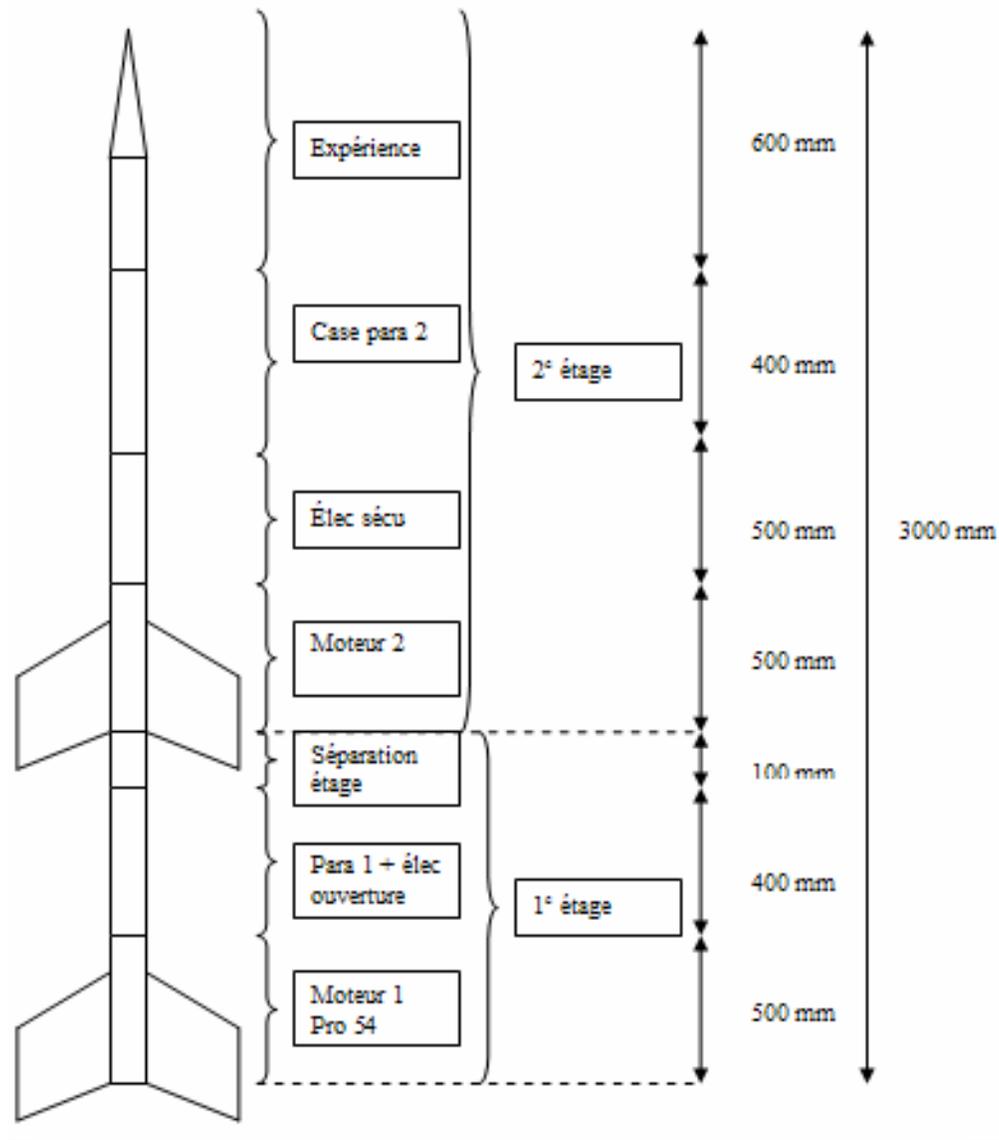
Ce logiciel d'analyse aux éléments finis permet de modéliser plus finement qu'avec Catia les déformations et les contraintes notamment au niveau des jointures des pièces, c'est-à-dire les soudures.

5.1.3. Caractéristiques générales

La fusée expérimentale aura les dimensions suivantes :

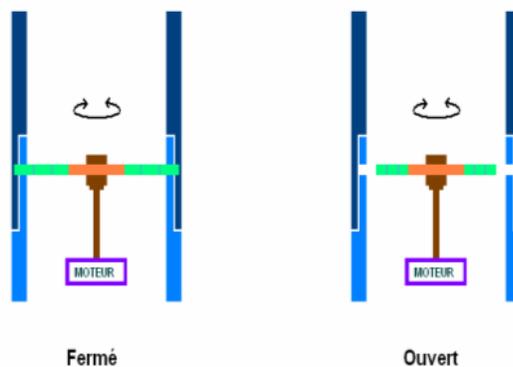
- un poids d'environ 15 kg
- un diamètre extérieur de 105mm
- une longueur d'environ 3m
- une épaisseur de peau composite estimée à 2,5mm

Le schéma suivant présente les différents organes de la fusée et ses dimensions approximatives.



La fusée expérimentale est destinée à pouvoir accepter à terme deux propulseurs Pro54-5G. Pour le tir prévu en juillet 2007 le propulseur du deuxième étage sera un Cariacou, moins puissant qu'un Pro54.

5.2. Système de séparation



La figure ci-dessus présente les principaux éléments constituant le système de séparation :

- Partie du système de séparation lié au second étage (partie bleue)
- Partie du système de séparation lié au premier étage (partie orange)
- Pions de maintien des ressorts
- Mécanisme de verrouillage et déverrouillage des deux parties du système de séparation

Les ressorts ne sont pas représentés, leur position est décrite plus loin.

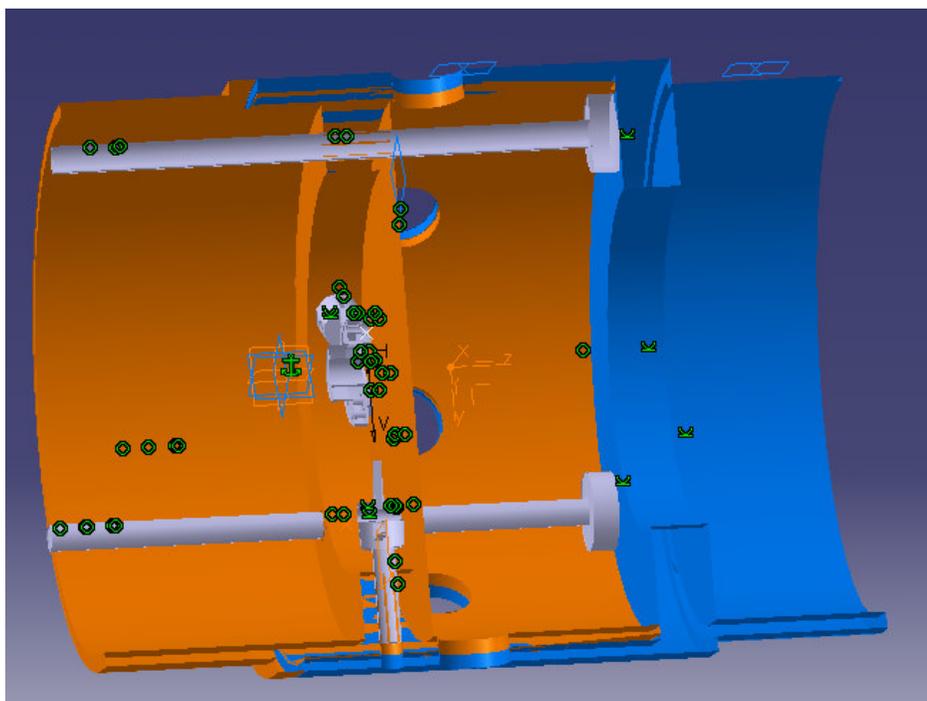


Figure 1: Vue en coupe de l'assemblage permettant la séparation

5.2.1. Dimensionnement des ressorts d'éjection

Ils sont au nombre de trois. Ceci pour répartir les efforts et empêcher une éjection dissymétrique du deuxième étage. Les axes de ces ressorts sont confondus avec les axes des pions.

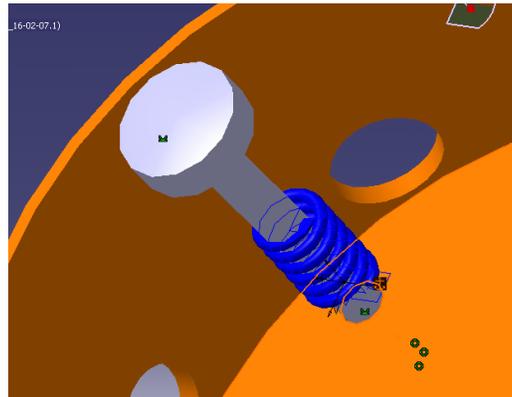


Figure 2: Vue de l'assemblage du ressort d'éjection et du pion de maintien

5.2.1.1. Raideur

Les ressorts qui assureront la séparation des deux étages ont été dimensionnés pour répondre à la contrainte du cahier des charges qui stipule que lorsque la fusée est posée au sol on doit être en mesure, lors de la séparation, de propulser le deuxième étage à une hauteur supérieure à 200 mm par rapport à sa position initiale.

Connaissant la longueur libre et la longueur comprimée du ressort que l'on souhaite, nous pouvons déterminer la constante de raideur nécessaire en fonction de la course du ressort.

Nous utilisons la formule suivante :

$$k_1 = \frac{2.m.g.Z}{(L_0 - L_c)^2}$$

Dans cette formule nous retrouvons :

m : masse de l'étage supérieur à éjecter

g : force de pesanteur au niveau de la mer (on suppose cette valeur constante)

Z : hauteur que doit atteindre l'étage propulsé

L₀ : Longueur libre du ressort

L_c : Longueur comprimée du ressort

Les valeurs numériques utilisées pour ce calcul sont les suivantes :

- m = 11 kg (en supposant que l'étage supérieur pèse 11kg)
- g = 9.80665 m.s⁻²
- Z = 0.2 m

Etude de sécurité du Projet F01-0607

- $L_0 = 0.064 \text{ m}$
- $L_c = 0.034 \text{ m}$

L'application numérique donne la valeur de la force que le ressort ou la combinaison de ressorts doit fournir pour éjecter l'étage supérieur. Ce résultat est le suivant :

$$k_1 = \frac{2 \times 11 \times 9.80665 \times 0.2}{(0.064 - 0.034)^2} = 47984.4444 \text{ N.m}^{-1}$$

Sachant que pour obtenir une répartition optimale des efforts et faciliter la procédure de mise en place et d'armement du système, nous avons choisi d'utiliser trois ressorts placés à un angle de 120° les uns des autres. La raideur d'un seul ressort est donc divisée par trois:

$$k_3 = \frac{k_1}{3} = \frac{47984.4444}{3} = 15994.815 \text{ N.m}^{-1}$$

Les raideurs sont données en N.mm^{-1} en général. Nous avons retenu la raideur suivante :

$$k_3 = k = 16 \text{ N.mm}^{-1}$$

5.2.1.2. Effort tranchant

Dans cette partie nous déterminons l'effort subit par l'étage supérieur lors de la séparation. Cette valeur est obtenue très simplement en utilisant la loi qui relie l'allongement du ressort à la force qu'il développe. Et puisque nous connaissons la constante de raideur du ressort, nous écrivons:

$$\vec{F}_1 = k_1 \times (L_0 - L_c)$$

Dans cette formule nous retrouvons :

\vec{F}_1 : Effort total développé par les ressorts

k_1 : raideur ressort

L_0 : Longueur libre du ressort

L_c : Longueur comprimée du ressort

Les valeurs des variables sont les suivantes :

- $k_1 = 3 \times k = 3 \times 16 = 48 \text{ N.mm}^{-1} \rightarrow 48000 \text{ N.m}^{-1}$
- $L_0 = 0.064 \text{ m}$
- $L_c = 0.034 \text{ m}$

L'application numérique donne la valeur suivante :

$$\vec{F}_1 = 48000 \times (0.064 - 0.034) = 1440 \text{ N}$$

\vec{F}_1 est la force disponible fournie par les trois ressorts pour soulever le deuxième étage et le déboîter du premier. C'est aussi l'effort tranchant que subiront les goupilles qui verrouillent le système de séparation.

La force développée par un seul ressort est la suivante:

$$\vec{F}_3 = \frac{\vec{F}_1}{3}$$

L'application numérique donne la valeur suivante :

$$\vec{F}_3 = \vec{F} = 480N$$

5.2.1.3. Choix du ressort

Grâce aux valeurs trouvées précédemment, nous avons défini complètement notre ressort et exploré le marché et donc les fournisseurs. Nos recherches nous ont menées à choisir le ressort suivant :

Détails sur les ressorts 'C.130.220.0640.A'	
Nbre de spires	12.7
Référence	C.130.220.0640.A
Diam. fil. [mm]	2.2
Diam. ext. [mm]	13
L. libre [mm]	64
Raideur [daN/mm]	1.771
Matière	Corde à piano
Meulage	Oui
Diam. int. [mm]	8.6
À bloc [mm]	29.04
Poids [g]	13
Alésage [mm]	13.26
Arbre [mm]	8.428
Pas [mm]	5.57
Code tarif	4J
Flambage sous longueur [mm]	38.8
Long. max. [mm]	47.61

L'entreprise est retenue est Vanel (<http://www.vanel.com/>) et la référence du ressort est C.103.220.0640.A.

5.2.2. Système de maintien des ressorts d'éjection

Ce système est constitué de trois pions et butées associées (non représentées). Ces pions subissent les efforts fournis par les ressorts. la force nécessaire à la séparation du deuxième étage. Ce sont sur ces pions que s'exercent les forces des ressorts. Ces pions servent de guide aux ressorts pour empêcher les effets de flambement.

Les ressorts sont comprimés lorsque le système de séparation est armé.

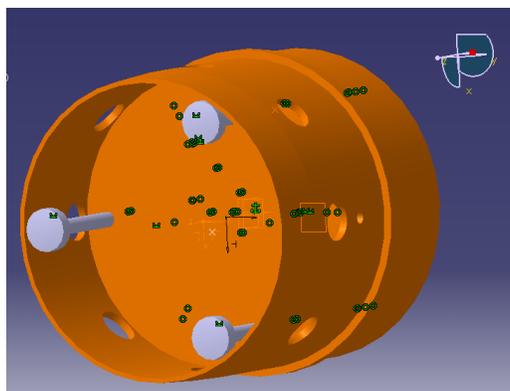


Figure 3 : Vue des pions de poussée insérés dans la partie de séparation du 1er étage

Ces pièces sont guidées par des ouvertures placées dans la partie de séparation du deuxième étage et elles restent attachées à cette partie après séparation pour empêcher les ressorts de se désolidariser de l'ensemble pour des raisons de sécurité.

Connaissant les efforts auxquels étaient soumis les pions d'éjection, nous avons effectué les calculs pour différents types de matériaux afin de déterminer lequel est le plus adapté:

Matériau	EN AW - 1050 [Al 99,5]	EN AB - 21 000 [Al Cu 4 Mg Ti]	EN AB - 43 000 [Al Si 10 Mg]	EN AB - 44 200 [Al Si 12]	EN AB - 51 300 [Al Mg 5]
Résistance a la rupture (Rm)	80	330	250	170	180
Résistance élastique (Re)	35	200	180	80	100
calcul de la contrainte admissible par les pions					
Coefficient de sécurité $3 < k < 4$	3,5				
Nombre de pions (n)	3				
Diamètre d'un pion ($\varnothing n$)	5				
Section d'un pion (Sn) : $S_n = \prod \times \varnothing n^2 / 4$	19,63495408				
Section équivalente (S) : $S = S_n \times n$	58,90486225				
Contrainte maximale admissible (F1) : $F_1 = R_m \times S / k$	1346,3968 52	5553,887013	4207,490161	2861,0933 1	3029,3929 1
Contrainte maximale admissible (F2) : $F_2 = R_e \times S$	2061,6701 79	11780,97245	10602,87521	4712,3889 8	5890,4862 2

Nous n'avons pas encore arrêté le choix du matériau (pour des raisons de coût, de difficulté d'approvisionnement et de difficulté de fabrication).

5.2.3. Système de verrouillage et déverrouillage du système de séparation

5.2.3.1. Fonctionnement général

Le fonctionnement de ce mécanisme de séparation est le suivant : lors de la phase de séparation la servocommande entraîne la pièce centrale dans un mouvement de rotation. Ce mouvement entraîne trois bras liés à la pièce centrale. Ces bras entraînent une rétraction des arbres épaulés vers l'intérieur ce qui provoque la désolidarisation des deux étages de la fusée.

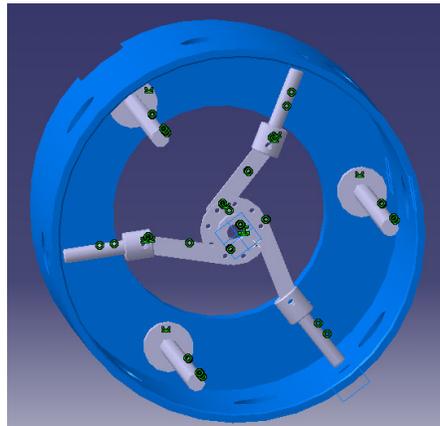


Figure 4: Vue du mécanisme de verrouillage/déverrouillage

Chaque arbre épaulé maintient en position verrouillée les deux étages en s'insérant dans deux trous (un pour chaque partie du système de séparation) percés en face l'un de l'autre. Les arbres épaulés sont guidés en translation, la fermeture ou l'ouverture du système est donc simple et se résume à placer les trous dans lesquels passent les goupilles en face l'un de l'autre et à actionner le mécanisme en commandant la servocommande.



Figure 5: Vue des trous permettant le passage de la goupille de verrouillage

Le schéma ci-dessus présente une vue rapprochée des trous dans lesquels passe la goupille pour maintenir le verrouillage des deux parties du système de séparation. On retrouve les éléments suivants :

- En orange il s'agit de la partie du système de séparation liée au premier étage.
- En bleu il s'agit de la partie du système de séparation liée au deuxième étage.
- En gris l'extrémité de la goupille ici en position rétractée (donc système de séparation déverrouillé).

Le calcul du cisaillement sur les goupilles a été effectué et donne les résultats suivants :

Calcul du cisaillement pour les arbres épaulés			
Effort tranchant	T	1594,283167	N
Matériau			
Coefficient de sécurité	s	1,5	
Resistance élastique du matériau choisi	Re	420	MPa
Module d'élasticité	E	2,10E+11	Pa
Coefficient de Poisson	v	0,33	
Qualité du matériau		Aciers mi-durs	
Resistance élastique au glissement	Reg	294	MPa
Resistance pratique au glissement $R_{pg} = Reg / s$	Rpg	196	MPa
Module de Coulomb $G = E / (1 + v)$	G	7,895E+10	Pa
Arbres épaulés			
Calcul du diamètre $d = \text{SQRT}((4 \times T) / (\Pi \times R_{pg}))$	d	4	mm
Contrainte supportée $ \tau = T / (\Pi \times (d^2 / 4))$	τ	127	MPa
Nombre d'arbres épaulés	n	3	

5.2.3.2. Blocage du système de séparation en position armée lors du montage

Il s'effectue très simplement en un objet en forme de diapason suffisamment résistant dans l'ouverture prévue à cet effet lorsque le ressort est comprimé.

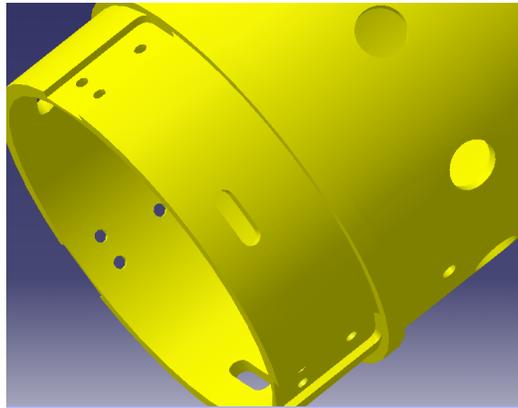


Figure 6 : Système de blocage des ressorts

Puisqu'il y a trois ressorts d'éjection, il y a trois systèmes de blocage indépendants. Ainsi nous pouvons bloquer les ressorts un par un.

5.2.3.3. Dimensionnement du système de verrouillage

Dans cette partie, nous traitons le dimensionnement du système de verrouillage de la partie séparation de la fusée. Dans un premier temps, nous étudions le cisaillement subi par les goupilles et nous les dimensionnerons suivant les résultats obtenus

5.2.3.3.1 Cisaillement simple appliqué sur les arbres épaulés

En partant de l'effort exercé par les ressorts, nous allons calculer la contrainte de cisaillement que subiront les arbres épaulés. Pour cette étude, nous avons choisi de partir sur un matériau acier classique. Les caractéristiques de ce matériau sont données ci-dessous :

- Résistance élastique : $R_e = 420 \text{ MPa}$
- Module d'élasticité : $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Pa}$
- Coefficient de Poisson : $\nu = 0.33$

A partir de ces données, nous pouvons en déduire le module de Coulomb du matériau, suivant la formule suivante :

$$G = \frac{E}{(1 + \nu)}$$

En appliquant les données numériques précédentes, on obtient le résultat suivant :

$$G = \frac{2.1 \times 10^{11}}{(1 + 0.33)}$$

$$G = 7.985 \times 10^{10} \text{ Pa}$$

Calculons la résistance élastique au glissement supportée par le matériau donnée par la formule suivante :

$$R_{eg} = 0.7 \times R_e$$

Cette formule est applicable pour les aciers de catégorie « mi-durs », d'après le « Guide du calcul en mécanique ».

$$\begin{aligned} R_{eg} &= 0.7 \times 420 \\ R_{eg} &= 294 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pour des raisons de sécurité, nous allons appliquer un coefficient de sécurité à cette résistance, afin d'obtenir la résistance pratique au glissement du matériau. Le coefficient choisi est $s = 1.5$

Nous en déterminons alors cette résistance :

$$\begin{aligned} R_{pg} &= \frac{R_{eg}}{s} = \frac{294}{1.5} \\ R_{pg} &= 196 \text{ MPa} \end{aligned}$$

La contrainte subie par les goupilles devra être inférieure ou égale à R_{pg} .

5.2.3.3.2 Dimensionnement des goupilles

Nous allons maintenant calculer le diamètre d'une goupille. Pour cela, nous utiliserons la formule suivante :

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times |\vec{T}|}{\Pi \times R_{pg}}}$$

Nous calculerons alors avec les données suivantes :

- $|\vec{T}|$: effort tranchant
- d_1 : diamètre de la goupille (dans le cas où nous n'utiliserions qu'une goupille)

L'effort tranchant est égal à la force développée par les ressorts car les axes des goupilles sont placés dans un plan perpendiculaire à la direction de cette force.

$$|\vec{T}| = |\vec{F}_1|$$

En appliquant les résultats numériques précédemment obtenus à ces relations, nous obtenons les résultats suivants :

$$\begin{aligned} |\vec{T}| &= 1440 \text{ N} \\ R_{pg} &= 196 \text{ MPa} \\ d_1 &= \sqrt{\frac{4 \times 1440}{196 \times \Pi}} \\ d_1 &= 3.05 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pour des raisons de réalisation ainsi que de sécurité, nous choisissons un diamètre de goupille

$$d_1 = 4 \text{ mm}$$

La solution technologique que nous avons choisi comporte trois goupilles positionnées à 120° l'une par rapport à l'autre.

Il faut donc répartir le diamètre trouvé précédemment sur les trois goupilles, on utilise la formule suivante :

$$d = \frac{d_1}{n_{goupilles}}$$

Avec :

- $d_1 = 4mm$
- $n_{goupilles} = 3$: nombre d'arbres de la solution technologique

Le calcul numérique donne :

$$d = \frac{4}{3} = 1.34mm$$

Pour les mêmes raisons que précédemment, nous arrondissons le diamètre des arbres épaulés à :

$$d = 1.5mm$$

Ce calcul restant purement théorique, nous savons pertinemment qu'il s'avère valable que dans le cas où toutes les conditions sont appliquées. C'est pourquoi, compte tenu des estimations de masse faites dans la première partie de ce rapport de calcul, il est préférable d'augmenter le diamètre des goupilles. En effet, si la masse se trouve être plus faible que 11 kg, l'effort appliqué sur les goupilles se trouvera augmenté.

Pour parer à cette éventualité, nous avons, d'un commun accord, choisi un diamètre de goupille égal à celui trouvé pour le cas où la solution technologique ne comporterait qu'une seule goupille, c'est à dire : $d = d_1 = 4mm$.

5.2.3.3 Vérification de la contrainte de cisaillement

Vérifions maintenant que le dimensionnement est satisfaisant pour le matériau choisi.

Nous calculons la contrainte supportée par les goupilles.

$$|\tau| = \frac{|\vec{T}|}{\Pi \times \left(\frac{d_1^2}{4}\right)}$$

En considérant les valeurs suivantes :

- $|\vec{T}|$: effort tranchant global
- d_1 : diamètre d'une goupille pour la solution à une seule goupille

Nous obtenons le résultat suivant :

$$|\tau| = \frac{1440}{\Pi \times \left(\frac{4^2}{4}\right)}$$

$$|\tau| = 115MPa$$

Ce calcul étant réalisé pour un nombre incorrect de goupilles quant à la solution choisie, nous pouvons considérer que l'effort tranchant est divisé par le nombre de goupilles, c'est-à-dire trois.

$$|\tau| = \frac{1440}{3 \times \pi \times \left(\frac{4^2}{4}\right)}$$

$$|\tau| = 39 \text{ MPa}$$

En conclusion, compte tenu des résultats obtenus, nous pouvons certifier que les goupilles de diamètre 4mm dans un acier de catégorie mi-dur résisteront aux contraintes que les ressorts appliqueront.

5.2.3.3.4 Couple engendré par les goupilles

Maintenant que les goupilles sont dimensionnées, nous allons, toujours en tenant compte des valeurs précédemment trouvées, pouvoir déterminer le couple qui sera nécessaire pour retirer les arbres épaulés.

Les pièces maîtresses du système de séparation sont en aluminium standard (EN AW 2017), et les arbres sont en acier. Le coefficient de frottement associé à ces deux matériaux est :

$$f = 0.16$$

L'effort tranchant déterminé précédemment est :

$$|\vec{T}| = 1140 \text{ N}$$

A partir de ces données, nous pouvons en déterminer l'effort axial associé :

$$|\vec{N}| = f \times |\vec{T}| = 0.16 \times 1440$$

$$|\vec{N}| = 230.4 \text{ N}$$

Avec cet effort normal, nous pouvons déterminer le couple que devra supporter le servomoteur. Pour cela, il nous manque une donnée, c'est le rayon de la roue qui entraînera les goupilles. Ce rayon est :

$$r = 7.5 \text{ mm}$$

Il vient alors le calcul suivant :

$$|\vec{C}| = |\vec{N}| \times r \times s_1$$

Avec $s_1 = 1.5$ le coefficient de sécurité lié au couple

Nous obtenons le résultat suivant :

$$|\vec{C}| = 2.6 \text{ Nm}$$

Le couple que le servomoteur devra développer est de :

$$|\vec{C}| = 3 \text{ Nm}$$

5.2.4. Ouvertures d'échappement

Ouverture d'échappement en cas d'allumage moteur avant la fin de la séparation des deux étages. La somme des surfaces de ces ouvertures est égale à la surface de la sortie du moteur.

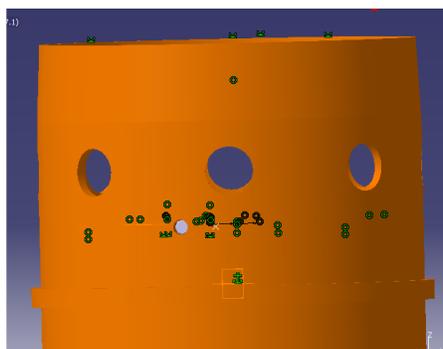


Figure 7: Vue des ouvertures d'échappement

Le calcul de la surface de ces ouvertures est détaillé dans le tableau suivant :

Calcul de la surface d'éjection des gaz		
Diamètre d'éjection moteur	35	mm
Surface d'éjection moteur	962,11275	mm ²
Nombre de trous	8	
Surface par trou	120,264094	mm ²
Diamètre d'un trou	12,3743687	mm

5.3. Ailerons

5.3.1. Ailerons du deuxième étage

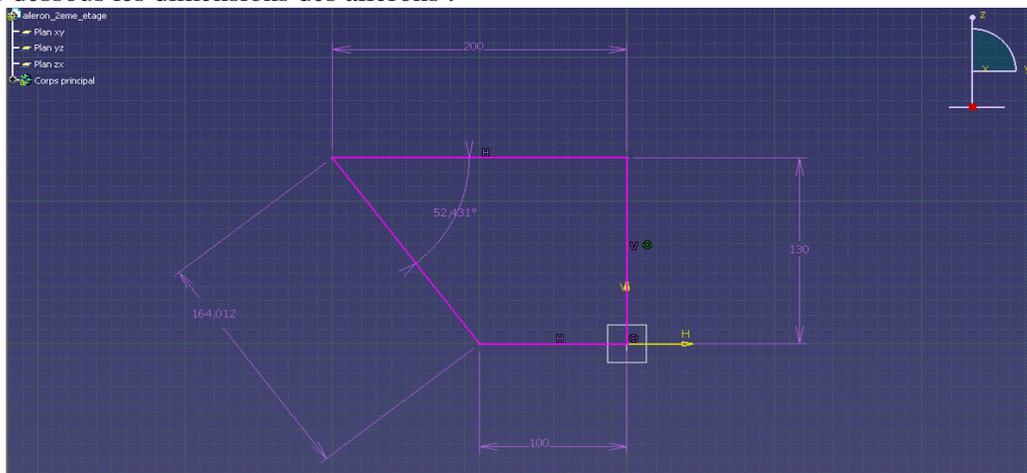
5.3.1.1. Résistance longitudinale

Chaque aileron doit pouvoir supporter une force longitudinale équivalente a :

$$F_{long} = 2 \times A_{max} \times M_{aileron}$$

- $A_{max} = 10G = 10 \times 9.81 = 98.1 m.s^{-2}$
- $M_{aileron}$ = masse d'un aileron (kg)
- F_{long} = effort longitudinal appliqué à un aileron (N)

Ci-dessous les dimensions des ailerons :



CATIA V5R15 nous permet de connaître la masse de l'aileron :

Matériau « aluminium » : $M_{aileron_alu} = 0.106$ kg

Matériau « acier » : $M_{aileron_acier} = 0.307$ kg

D'où :

Matériau « aluminium » : $F_{long_alu} = 20.8$ N

Matériau « acier » : $F_{long_acier} = 60.23$ N

Dans le module GSA de CATIA la force appliquée à un aileron en aluminium de 2 mm d'épaisseur donne les résultats suivants :

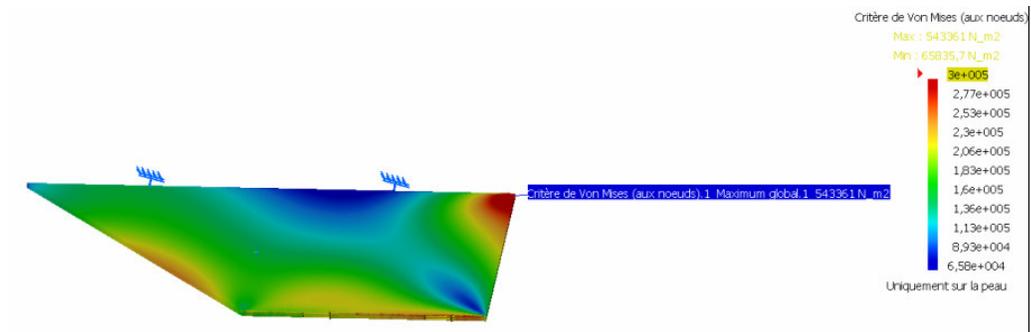


Figure 8 : Représentation des contraintes longitudinales sur l'aileron

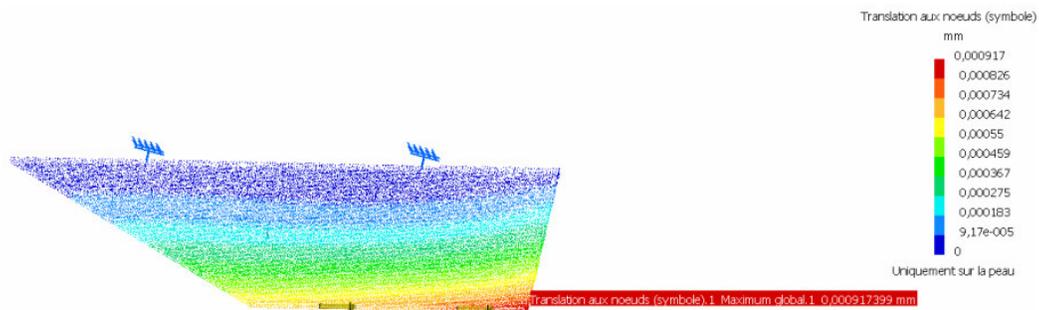


Figure 9 : Représentation des déplacements longitudinaux dus aux déformations sur l'aileron

Sur un aileron de 1 mm d'épaisseur, la force appliquée est divisée par deux, les résultats sont les suivants :

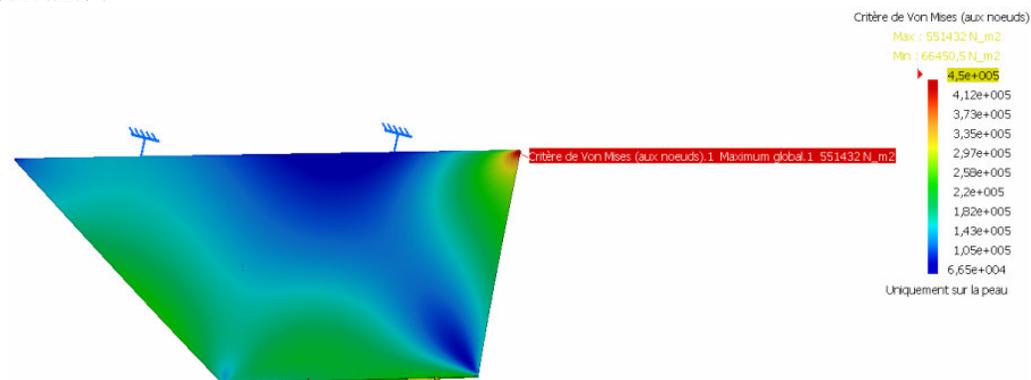


Figure 10 : Représentation des contraintes longitudinales sur l'aileron

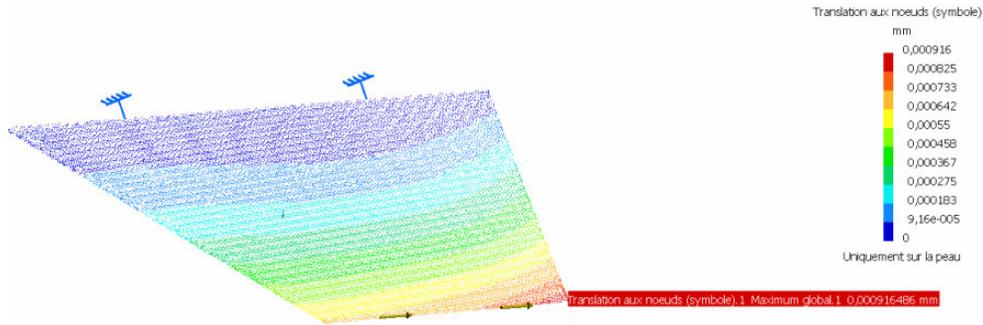


Figure 11 : Représentation des déplacements longitudinaux dus aux déformations sur l'aileron

5.3.1.2. Résistance transversale

Chaque aileron doit pouvoir supporter une force transversale équivalente a :

$$F_{trans} = 0.104 \times S_{aileron} \times V_{max}^2$$

- $S_{aileron}$ = surface d'un aileron
- V_{max} = vitesse maximale atteinte par la fusée ~ 300 m/s

Le critère dimensionnant est le déplacement maximum « d » du bout de l'aileron. Le critère est : $d \leq l \times \tan(10^\circ)$ avec $l \times \tan(10^\circ) = 22.9\text{mm}$

L'application numérique donne :

$$F_{trans} = 0.104 \times 0.0195 \times 300^2 = 182.52 \text{ N}$$

Après une analyse statique effectuée grâce au module GSA de CATIA, les résultats obtenus sont :

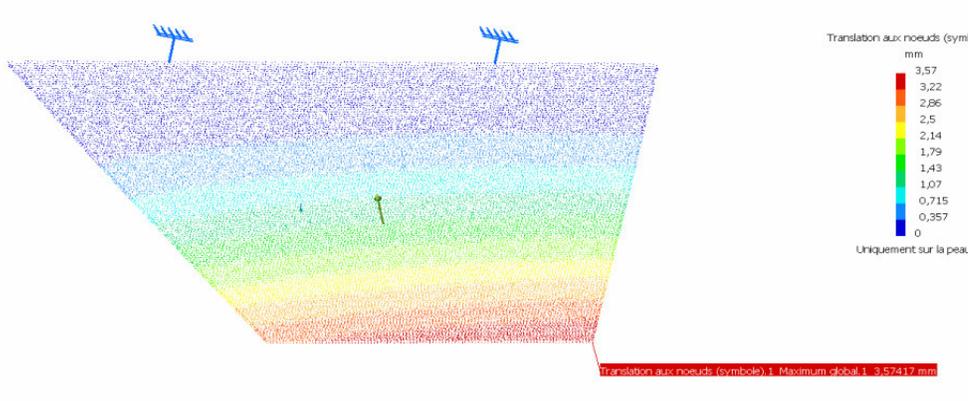


Figure 12 : Déformation due aux efforts transversaux appliqués sur l'aileron

Nous obtenons un déplacement à l'extrémité de l'aileron dans le cas de l'aluminium et de l'acier tel que :

- Matériau « aluminium » : $d = 3.57\text{mm}$
- Matériau « acier » : $d = 1.31\text{mm}$

Dans les deux cas on remarque que le critère est largement respecté.

Afin d'améliorer très légèrement le bilan de masse nous avons testé le déplacement de l'extrémité de l'aileron lorsque celui-ci a une épaisseur plus faible. Ainsi pour une épaisseur de 1mm le calcul donne :

- Matériau « aluminium » $d = 22.53mm$
- Matériau « acier » : $d = 7.88mm$

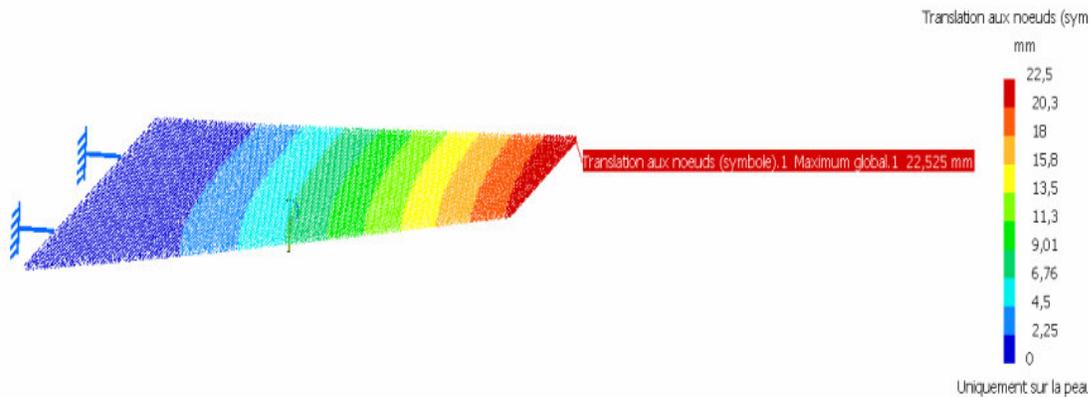


Figure 13 : Déformation due aux efforts transversaux appliqués sur l'aileron

Pour une épaisseur de 1mm le critère est limite dans le cas d'ailerons en aluminium, mais respecté. Nous avons souhaité prendre une marge de sécurité au niveau de l'épaisseur des ailerons. En conséquence, l'épaisseur de 2 mm sera retenue comme solution pour les ailerons du 2^{ème} étage.

Pour ce qui est du matériau nous retenons l'aluminium sachant que la jupe de la fusée sur laquelle viendra se fixer l'aileron par soudure sera elle aussi en aluminium.

Comme le montre le schéma suivant il est nécessaire de porter une attention particulière à la qualité de la soudure entre l'aileron et la jupe en aluminium de la fusée. EN effet c'est à cet endroit que les contraintes sont maximales.

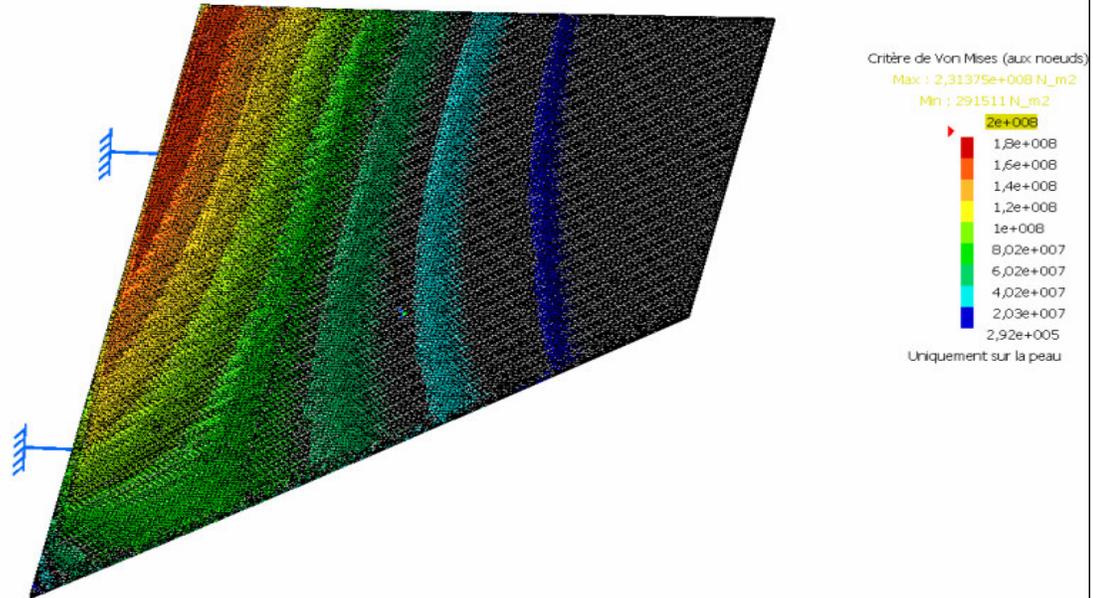
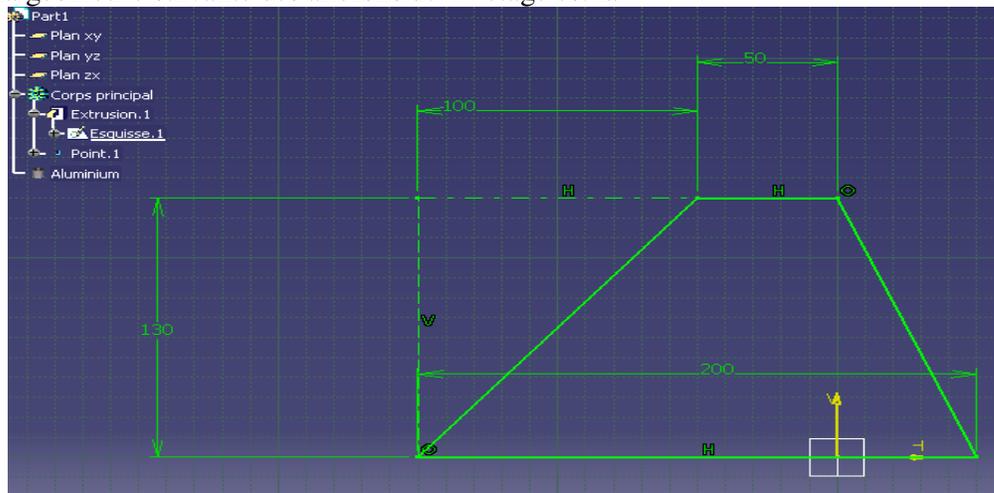


Figure 14 : Contraintes appliquées sur l'aileron pour les efforts transversaux

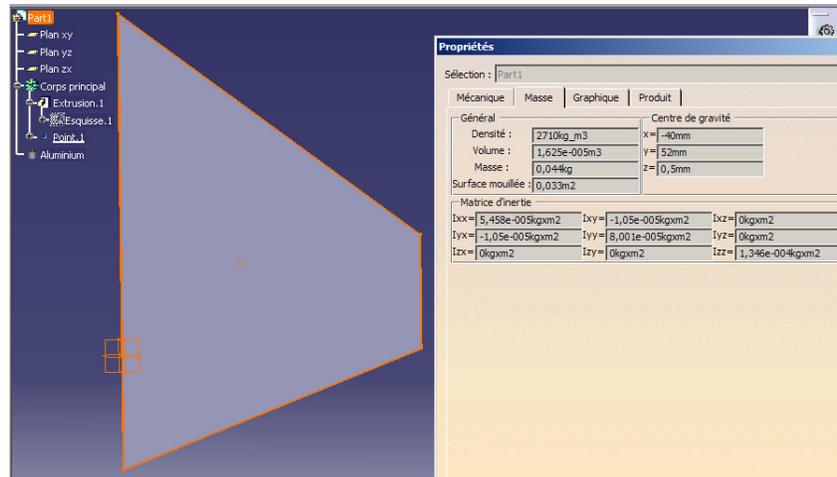
5.3.2. Ailerons du premier étage

La géométrie suivante des ailerons du 1^{er} étage est la



La force longitudinale est toujours :

$$F_{long} = 2 \times A_{max} \times M_{aileron}$$



- $A_{max} = 10G = 10 \times 9.81 = 98.1m.s^{-2}$
- $M_{aileron} = \text{masse d'un aileron} = 0,044 \text{ kg}$ (pour 1mm d'épaisseur en aluminium)

L'application numérique donne :

$$F_{long} = 2 \times 98,1 \times 0,044 = \boxed{8,6 \text{ N}}$$

5.3.2.1. Résistance longitudinale

Dans le module GSA de CATIA la force est appliquée à un aileron en aluminium de 1 mm d'épaisseur donne les résultats suivants :

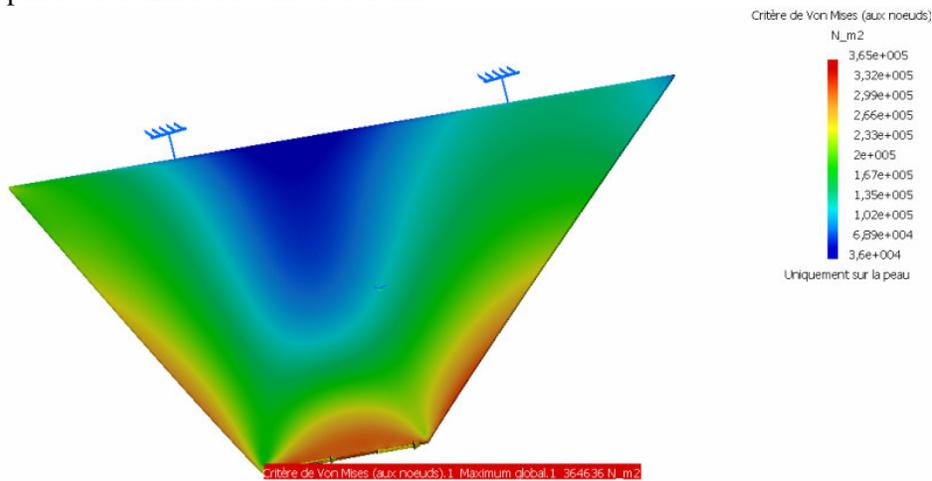


Figure 15 : Modélisation des contraintes sur un aileron soumis à une charge longitudinale

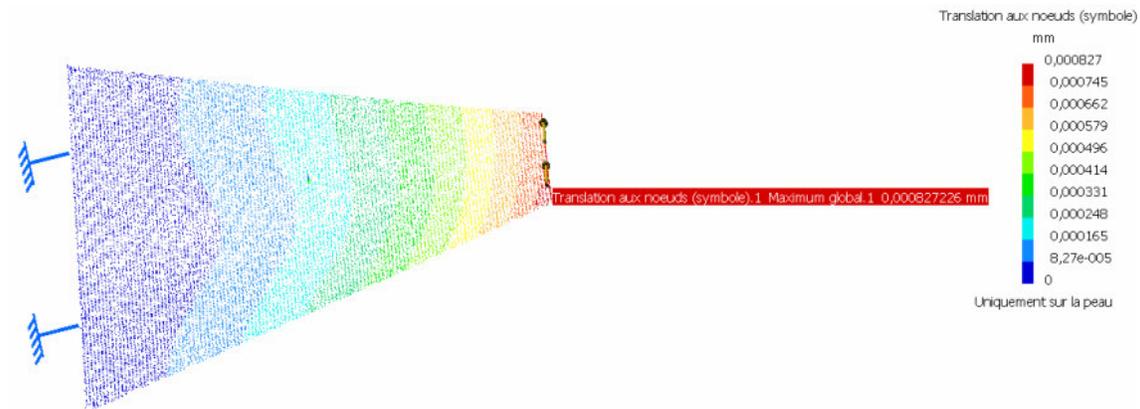


Figure 16 : Modélisation des déplacements sur un aileron soumis à une charge longitudinale

5.3.2.2. Résistance transversale

L'aileron doit supporter une force :

$$F_{trans} = 0.104 \times S_{aileron} \times V_{max}^2$$

$$S_{aileron} = 200 \times 130 - \frac{100 \times 130}{2} - \frac{50 \times 130}{2} = 16250 \text{ mm}^2$$

$$S_{aileron} = 0,01625 \text{ m}^2 \text{ et } V_{max} \sim 300 \text{ m/s}$$

L'application numérique donne :

$$F_{trans} = 152,1 \text{ N}$$

Dans le module GSA de CATIA cette force est appliquée au centre de gravité de l'aileron.



Figure 17 : Déformation de l'aileron soumis à une force transversale

Soit $d = 15,4 \text{ mm}$ ce qui vérifie bien $d \leq l \times \tan(10^\circ)$

$$(l \times \tan(10^\circ) = 130 \times \tan(10^\circ) = 22,9 \text{ mm})$$

Un aileron de 1mm d'épaisseur en aluminium conviendrait pour le 1^{er} étage. Cependant, comme pour le deuxième étage, nous souhaitons prendre une marge de sécurité importante et faciliter l'assemblage des ailerons avec la jupe par soudure. Nous optons donc pour un aileron d'épaisseur 2 mm.

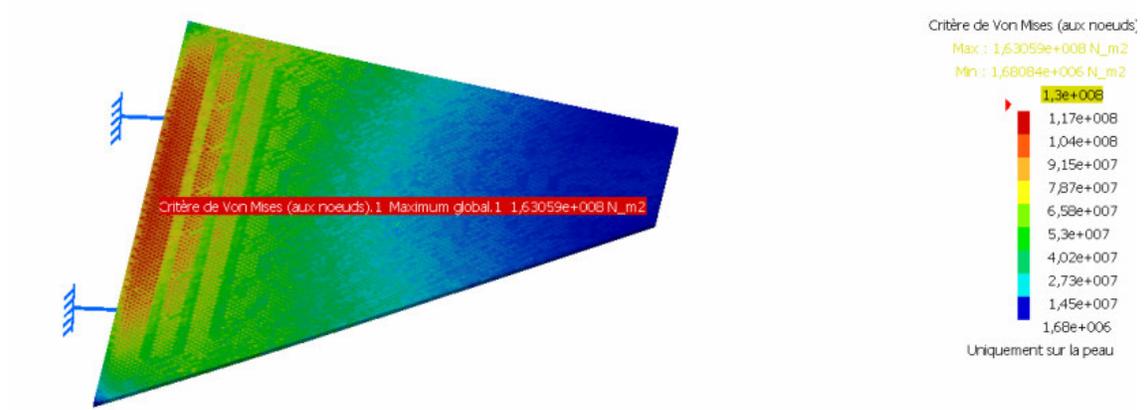


Figure 18: Contrainte dans l'aileron soumis à une force transversale

La contrainte au niveau de l'encastrement est maximale : $\sigma_{\max} = 1,63 \times 10^8$

5.4. Architecture du deuxième étage

Le deuxième étage de la fusée a été entièrement modélisé sous Catia. Il respecte le cahier des charges et il est actuellement en cours d'analyse en termes de contraintes et de déformation. Le travail n'étant pas complètement achevé la partie suivante ne rend compte que de l'architecture générale et des principes de conception sans entrer dans les détails.

5.4.1. Architecture générale

Le deuxième étage est constitué des éléments suivants :

- La coiffe
- Six demi-coques en matériaux composites
- Deux demi-coques en aluminium qui constituent la cage moteur
- Trois longerons qui constituent la structure portante de l'étage
- Cinq disques qui reprennent les efforts de torsion qui apparaissent sur les longerons
- La cage parachute et la porte qui lui est associée
- Le moteur « Cariatou »
- Quatre ailerons soudés sur les demi-coques de la cage enfermant le moteur « Cariatou » (ailerons dont l'étude a été faite précédemment)

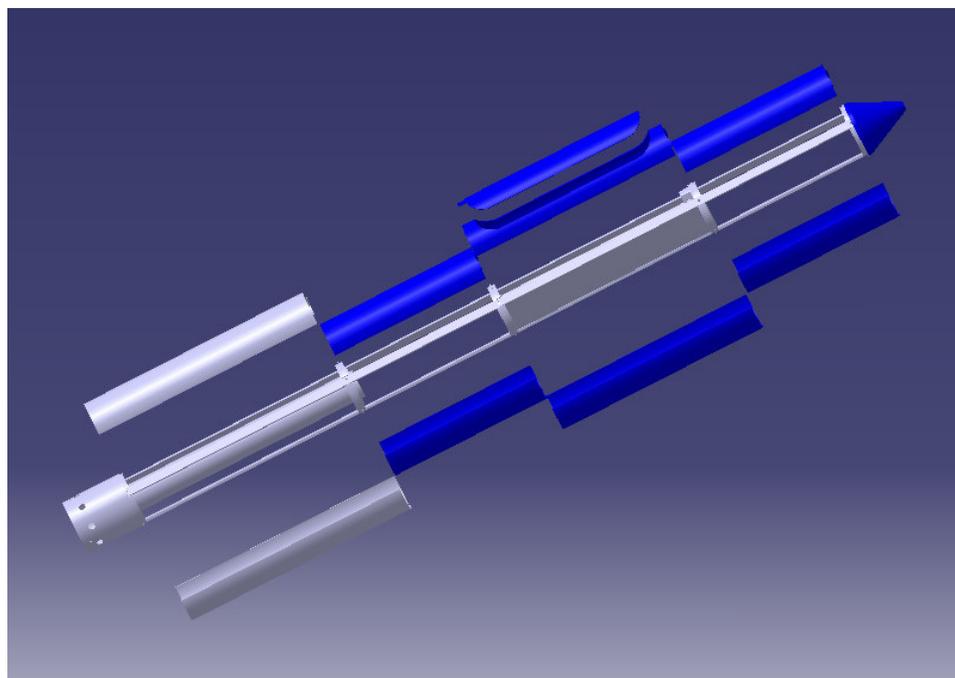


Figure 19 : Pièces métallique et composites du deuxième étage

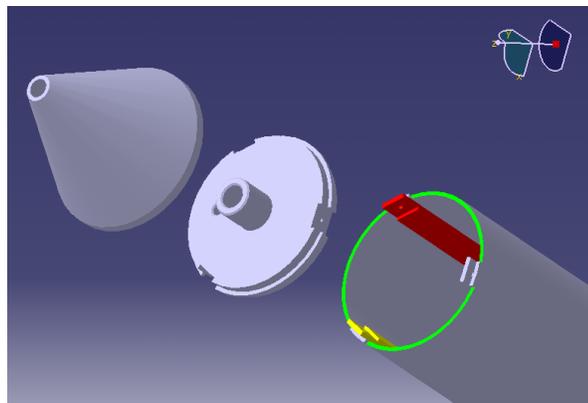
La fusée est constituée d'une armature métallique sur laquelle viennent se fixer des panneaux en composites. Dans le schéma précédent les parties métalliques sont présentées en gris et les parties en composites sont en bleu.

Les fixations de ces panneaux sur la structures métallique n'ont pas encore été clairement définies, il s'agira vraisemblablement de vis. De même l'étanchéité entre les panneaux n'a pas encore été décidée. Cette étanchéité est nécessaire pour éviter que l'air ne vienne s'engouffrer dans la fusée et ne fasse éclater les panneaux par surpression. L'option actuellement à l'étude est l'utilisation d'une bande de caoutchouc qui viendrait obturer les jointures à l'intérieur de la fusée.

5.4.2. La coiffe

La coiffe sera vraisemblablement réalisée en matériaux composites puisque c'est une pièce difficile à usiner et que la réaliser en composites coutera moins cher.

Le schéma suivant présente la coiffe, le disque supérieur et la partie supérieure du 2^e étage.



Le trou au sommet de la coiffe permet de glisser le tube de Pitot et de le maintenir en position verticale. Le disque a pour rôle de maintenir la base du tube de Pitot dans l'encoche et de solidariser les trois longerons.

5.4.3. Fixation du moteur

La fixation du moteur dans le 2^e étage est assurée par plusieurs pièces qui sont les suivantes :

- La plaque de poussée
- Le disque de maintien
- Les trois brides

Tout d'abord la plaque de poussée sur laquelle s'appuie l'extrémité supérieure du moteur. C'est cette pièce qui reprend la majorité des efforts dus à la poussée du moteur. Dans le

schéma suivant, le moteur est représenté en vert et la plaque de poussée est en bleu. La pièce présentée en violet est le bouchon moteur. Cette pièce ne participe pas au maintien du moteur, elle n'entre pas en contact avec le moteur mais sert à protéger l'électronique embarquée qui se trouve au dessus du moteur. Il évite les retours de flamme qui pourrait la détériorer.

La plaque de poussée est fixée aux longerons et assure aussi leur maintien en même temps qu'elle assure la transmission de la poussée au reste de la structure de la fusée. La fixation de la plaque de poussée avec les longerons est assurée par des vis M3 à tête fraisée.

Le bouchon moteur est vissé en trois points sur la plaque de poussée.

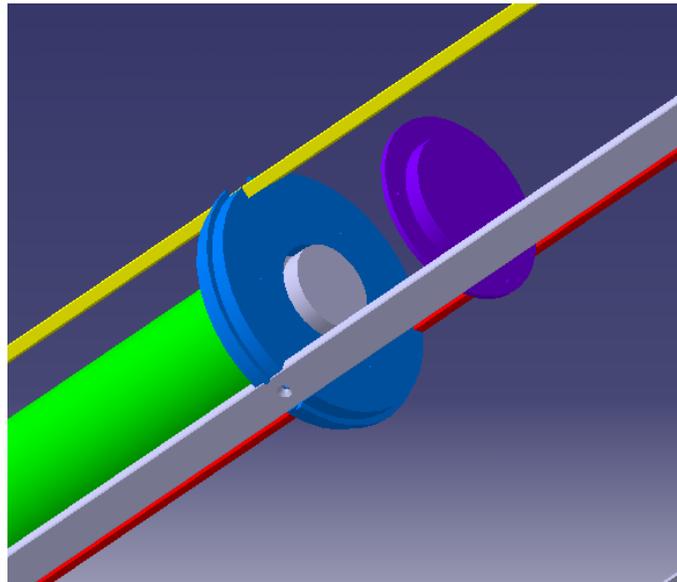


Figure 20 : Présentation de la plaque de poussée et du bouchon moteur (non en position)

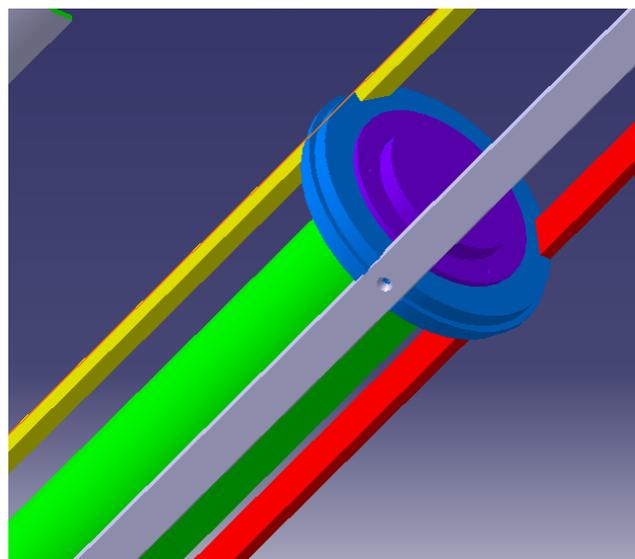


Figure 21 : Présentation de la plaque de poussée et du bouchon moteur assemblés

Le disque de maintien est présenté en bleu dans le schéma suivant. Son but est de maintenir l'extrémité basse du moteur en position pour que celui-ci reste en place et délivre sa poussée dans l'axe de l'étage durant tout le vol. Il ne le maintient pas verticalement, c'est-à-dire que le disque ne serre pas le moteur. Ce sont les trois brides présentées en jaune dans le schéma suivant qui bloquent le moteur et l'empêchent de glisser et de sortir de son logement. Le moteur est toujours représenté en vert.

Le disque de maintien est fixé aux longerons par des vis. Les brides sont fixées au disque de maintien par deux vis.

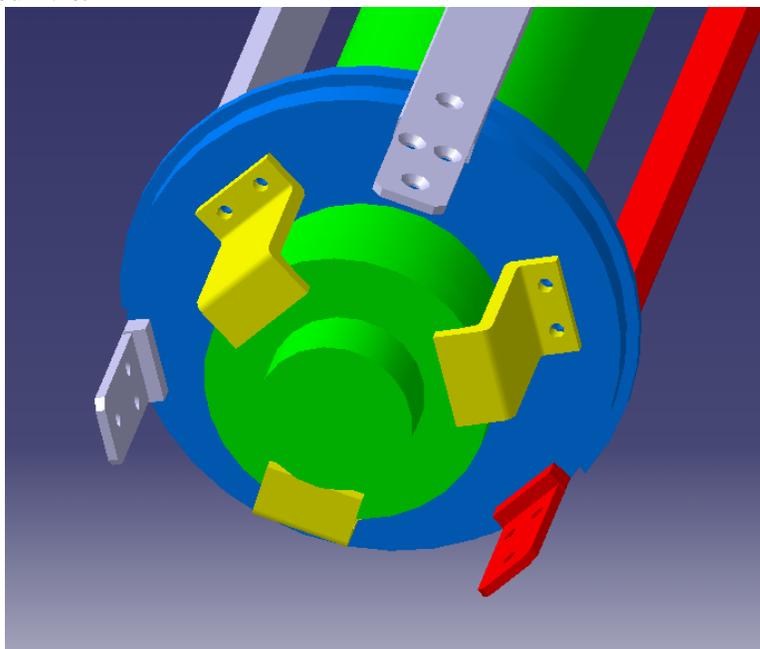


Figure 22 : Schéma présentant le disque de maintien et les brides associées

5.4.4. Fixation du système de séparation

Une partie du système de séparation (représentée en orange) est fixée sur les longerons du deuxième étage à l'aide de trois vis pour chaque longeron. Le montage de l'ensemble du système de séparation est présenté plus haut.

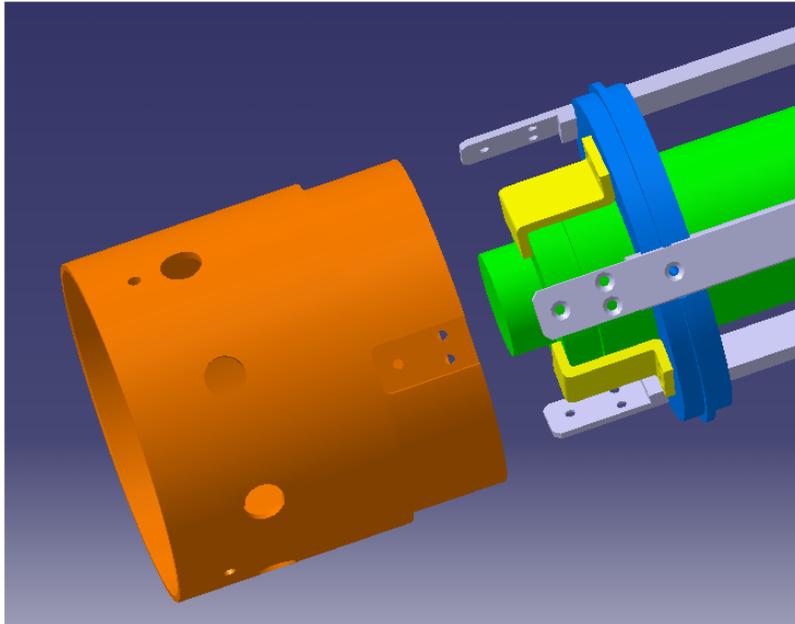


Figure 23 : Assemblage du système de séparation sur le deuxième étage

5.4.5. Compartiment du parachute

Nous présentons ici la case parachute munie de sa porte. Les éléments en jaune sont en composites. La cage du parachute est délimitée en haut et en bas par deux disques permettant la fixation des longerons et qui les maintiennent en position en supprimant les efforts de torsion.

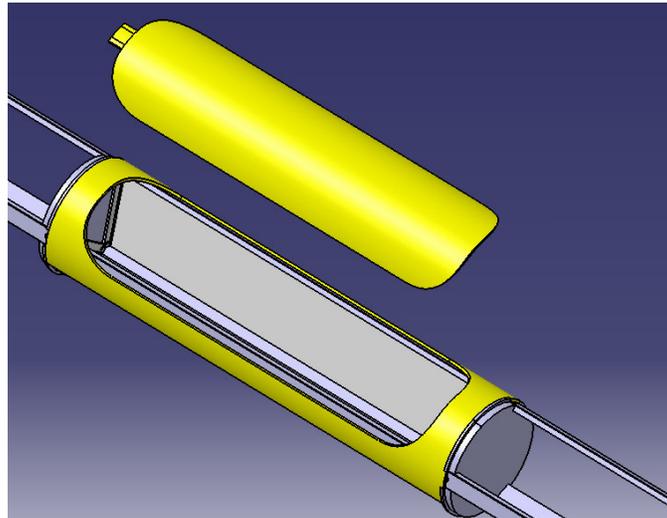


Figure 24 : Logement du parachute

Les deux plaques verticales servent à maintenir le parachute plié et l'empêchent de se coincer entre les longerons. La porte est mise en place à l'aide de la languette et elle est maintenue en position par une ventouse magnétique (non représentée ici).

Le schéma suivant présente la fixation du parachute. Cette pièce est particulièrement importante puisque c'est sur elle que s'applique les efforts lors de l'ouverture du parachute. Elle est fixée par épaulement sur chaque longeron puis avec trois vis M3 (une vis par longeron).

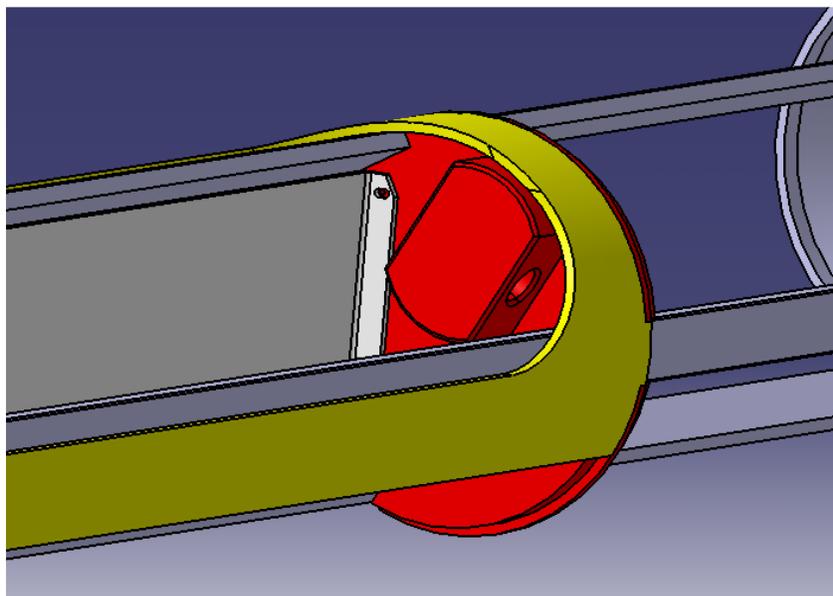


Figure 25 : Disque de fixation du parachute

5.5. Architecture du premier étage

Le premier étage de la fusée a été entièrement modélisé sous Catia. Il respecte le cahier des charges et il est actuellement en cours d'analyse en termes de contraintes et de déformation. Le travail n'étant pas complètement achevé la partie suivante ne rend compte que de l'architecture générale et des principes de conception sans entrer dans les détails.

5.5.1. Architecture générale

Le premier étage est constitué des éléments suivants :

- Le système de séparation (présenté plus haut)
- Une demi-coque en composites
- L'habillage en composites du compartiment du parachute ainsi que la porte
- Deux demi-coques en aluminium qui constituent la cage moteur
- Trois longerons qui constituent la structure portante de l'étage
- Quatre disques qui reprennent les efforts de torsion qui apparaissent sur les longerons
- La cage parachute
- Le moteur PRO54
- Quatre ailerons soudés sur les demi-coques de la cage enfermant le moteur « PRO 54 » (ailerons dont l'étude a été réalisée précédemment)

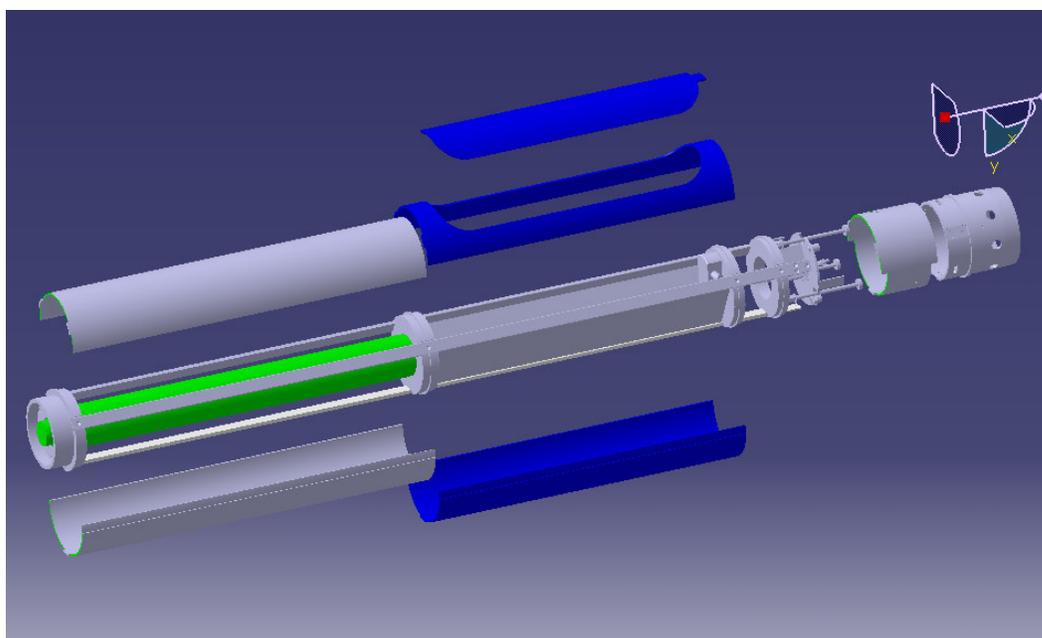


Figure 26 : Pièces métalliques et composites du premier étage

Le premier étage est conçu sur le même principe que le deuxième étage. Nous retrouvons une structure portant métallique constituée de trois longerons. Le carénage est métallique lorsqu'il doit constituer l'habillage du moteur (forte températures). Ailleurs on trouve un carénage en composites. Les longerons sont fixés sur des disques qui reprennent les efforts en torsion. Chaque disque est épaulé sur les trois longerons et fixés grâce à trois vis.

5.5.2. Fixation du moteur

Les pièces utilisées pour réaliser la fixation du moteur sont :

- La plaque de poussée
- Le disque de maintien du moteur
- La bride moteur

La plaque de poussée représentée en bleu sur le schéma ci-après subit les efforts de la poussée du moteur représenté en vert. Elle se situe à l'extrémité supérieure du moteur. Cette plaque transmet la poussée à l'ensemble de la structure de la fusée et assure l'étanchéité et l'isolation thermique entre le compartiment moteur et le compartiment parachute. La plaque est bien entendu fixée sur les longerons selon le principe décrit plus haut.

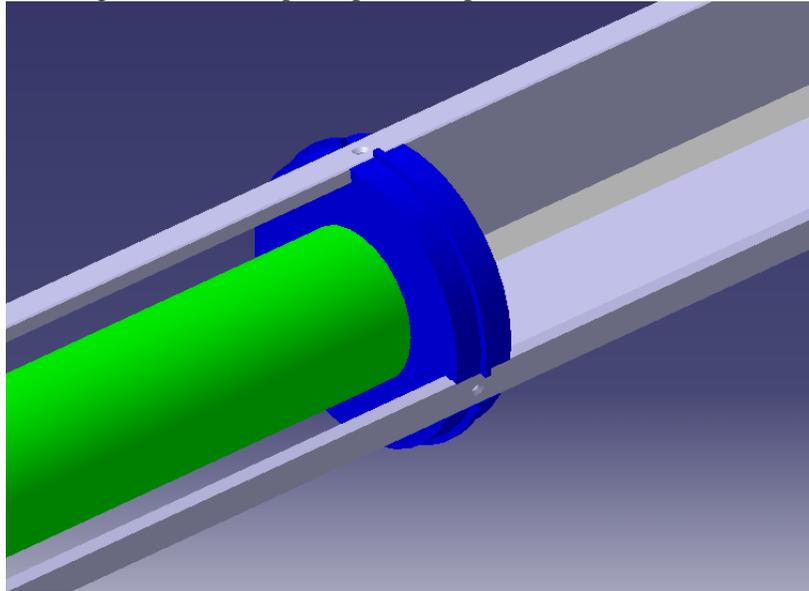


Figure 27 : Plaque de poussée

A son extrémité inférieure, le moteur est fixé par une pièce (représentée en orange) qui maintient le moteur et assure que celui-ci pousse dans l'axe de la fusée. Il n'est pas serré sur le moteur et n'empêche pas le moteur de glisser. Cette pièce est fixée sur les longerons selon le principe décrit plus haut. C'est le rôle de la bride (représentée en jaune) d'empêcher le moteur de glisser. Cette bride est visée en trois points sur la pièce de maintien.

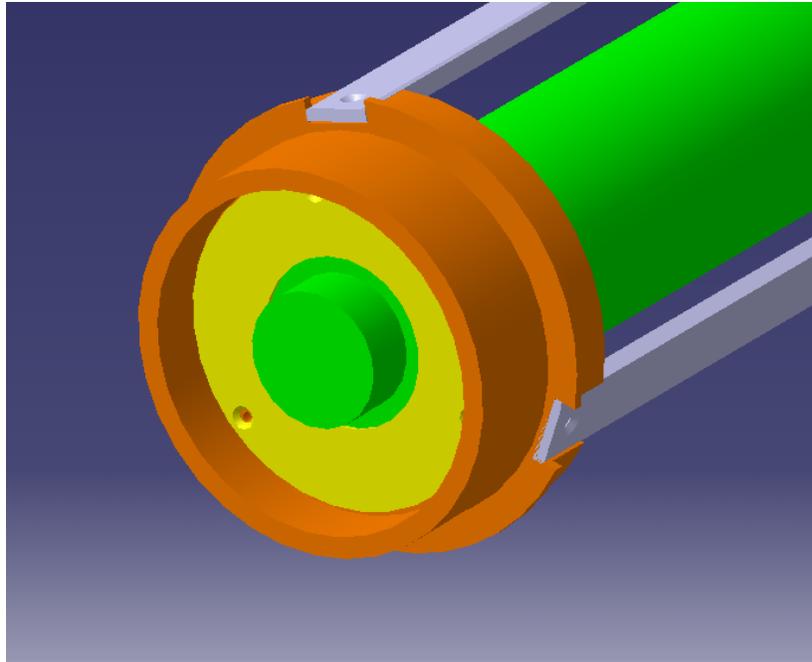


Figure 28 : Pièce de maintien du moteur et bride associée

5.5.3. Fixation du système de séparation

Le mécanisme qui assure le dégagement du deuxième étage lors de la séparation est fixé au premier étage. Le schéma suivant représente l'extrémité du premier étage sur laquelle est assemblée le servomoteur et les pions de poussée (système en jaune).

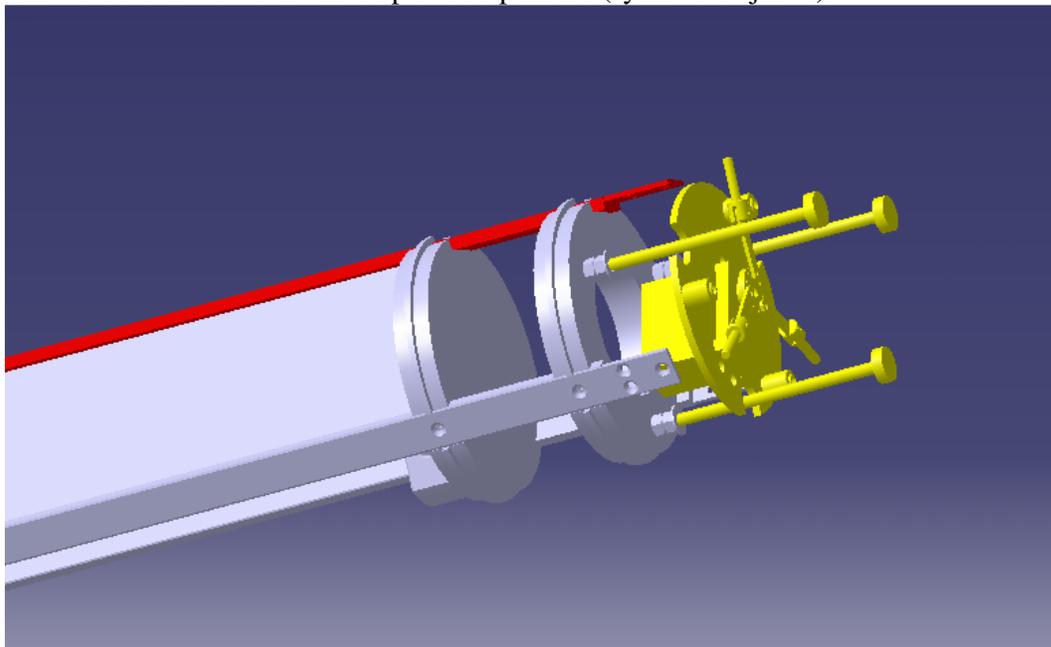


Figure 29 : Fixation du système de séparation sur le premier étage

5.5.4. Compartiment parachute

Le compartiment parachute est rigoureusement identique à celui qui est présenté plus haut pour le deuxième étage.

5.6. Dimensions et effort des parachute 1 et 2

Les différents parachutes ont été dimensionnés pour pouvoir supporter une ouverture à vitesse maximale.

g ($m.s^{-2}$)	9,81	V_{d1max} ($m.s^{-1}$)	20	vitesse de séparation de la fusée restée entière	pour le premier étage
ρ_0 ($g.L^{-1}$)	1,3	V_{d2max} ($m.s^{-1}$)	15		pour le second étage
C_x	1				
M (kg)	15	V_{01} ($m.s^{-1}$)	200	vitesse à l'ouverture du parachute	pour le premier étage
m_1 (kg)	5	V_{02} ($m.s^{-1}$)	220		pour le second étage
m_2 (kg)	10				

masse totale de la fusée
masse du premier étage
masse du deuxième étage

calcul des dimensions du parachute du premier étage

S_1 (m^2) 0,565962

a_1 (m) 0,336441

s'il y a eu séparation $\rightarrow V_{d1}$?

V_{d1} ($m.s^{-1}$) 11,54701

Calcul de la résistance nécessaire

F_1 (N) 14715

calcul des dimensions du parachute du second étage

S_2 (m^2) 1,006154

a_2 (m) 0,448588

s'il y a eu séparation $\rightarrow V_{d2}$?

V_{d2} ($m.s^{-1}$) 12,24745

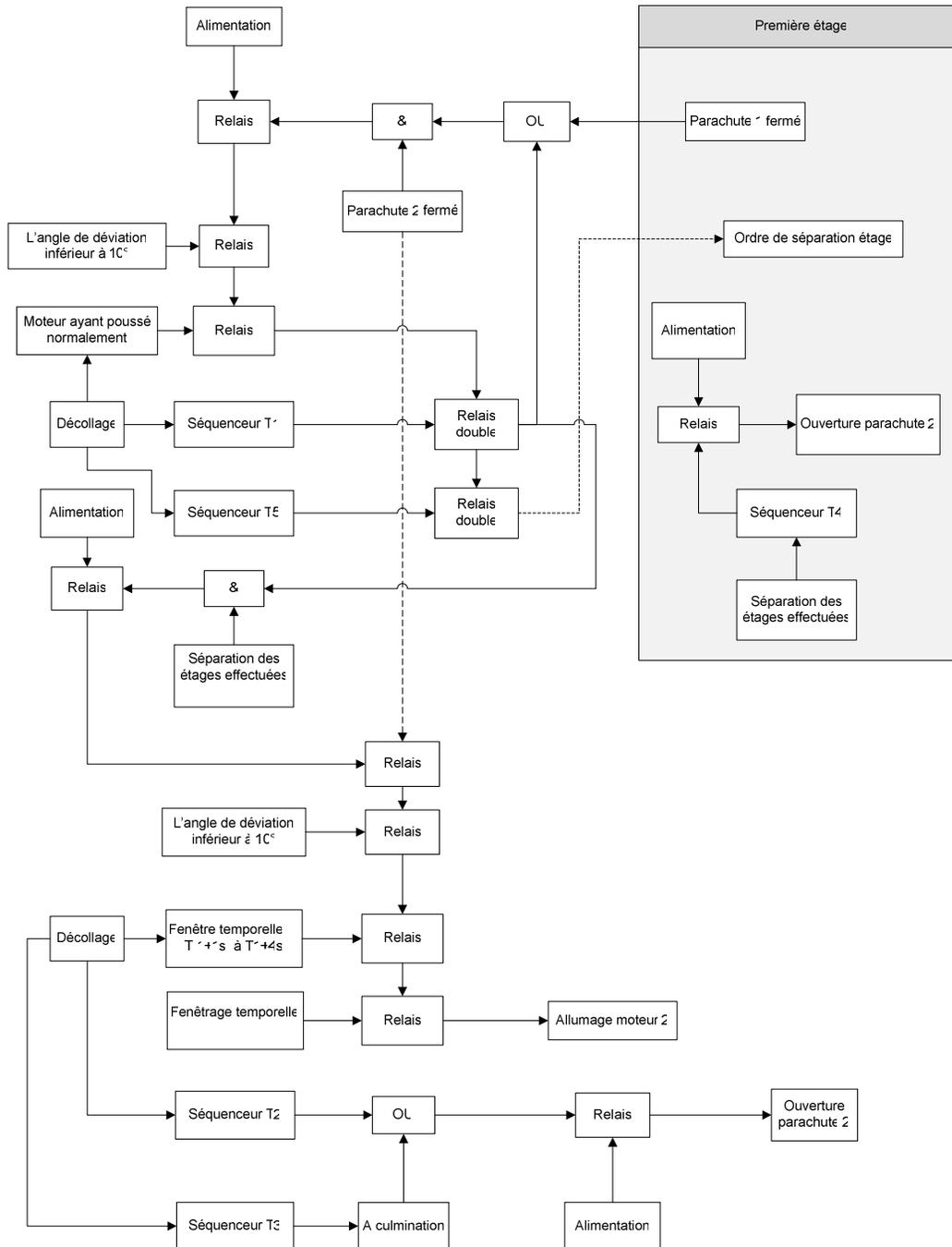
Calcul de la résistance nécessaire

F_2 (N) 31653,6

6. Architecture électronique finale

6.1. Architecture générale de l'électronique de sécurité

- Schéma électronique complet du système de sécurité :



6.2. Schéma et caractéristiques des séquenceur

6.2.1. Caractéristique des séquenceurs

Selon la position de l'interrupteur code, soit il est retardé. Les délais d'excitation ou de retardement se règlent avec un potentiomètre trimmer par étape d'environ 0,3 à 100 seconds

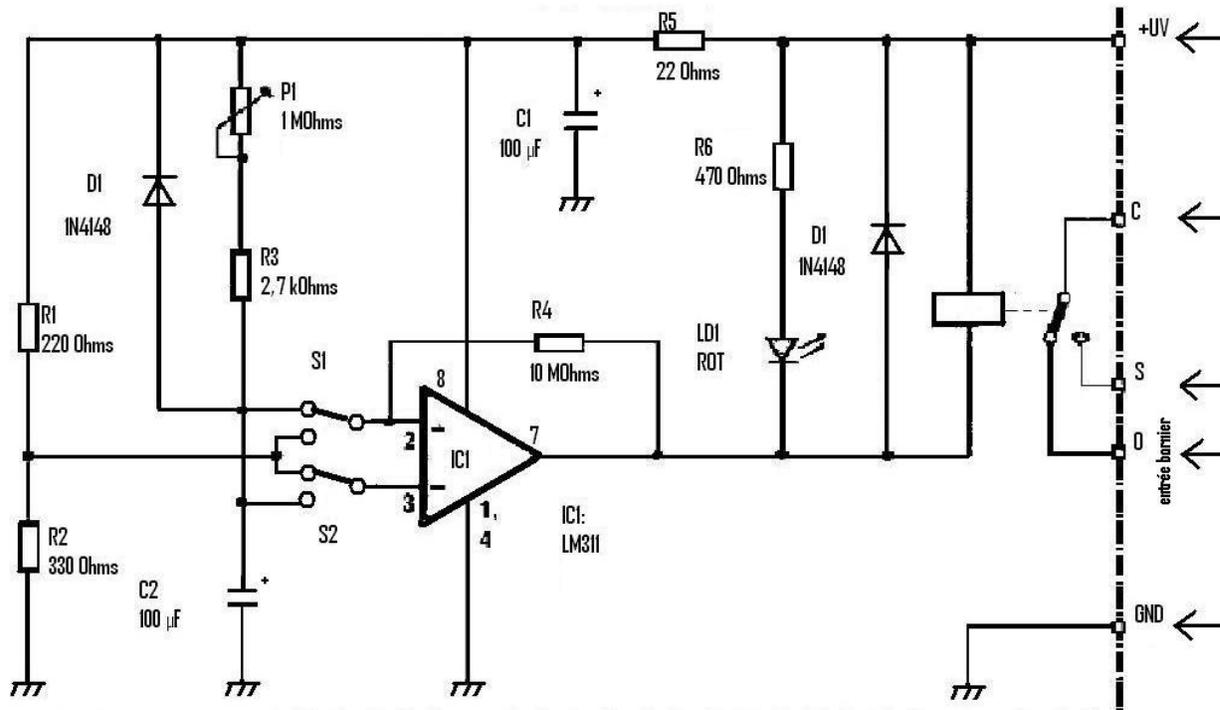
Alimentation : 9 à 15V

Consommation : 20mA (repos), 75mA (avec le relais et LED)

Puissance : $1 \cdot U_m / 8A$, 500W, maxi 35V

Temps de retardement : environ 0.3 à 100sec

6.2.2. Schéma des séquenceurs



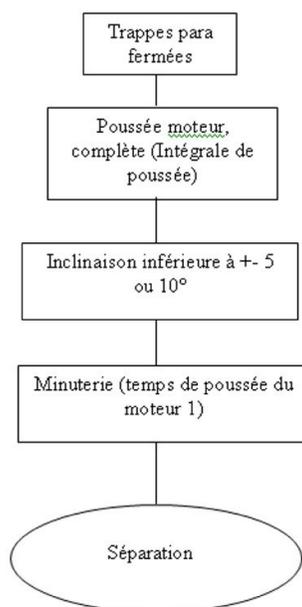
6.3. Intégrale de poussée et Inclinomètre

6.3.1. Description des fonctions étudiées

6.3.1.1. Fonction intégrale de poussée

Une grande majorité de notre temps de travail a été consacré à la conception d'un système destiné à calculer l'intégrale de poussée.

En effet, cette dernière représente un élément indispensable aux spécifications de sécurité de la fusée. On rappelle ci-dessous la fonction « séparation » des deux étages de la fusée synthétisée sous forme de diagrammes de succès.



Pour autoriser la séparation des deux étages de la fusée, il est primordial de s'assurer que le moteur du 1^{er} étage a bien utilisé toute sa poudre et que sa combustion est totalement terminée. En effet, on ne peut pas se permettre de commander la séparation des deux étages si le 1^{er} moteur est toujours en fonctionnement ou s'il lui reste encore de la poudre non consommée et ce pour des raisons évidentes de sécurité de vol.

Il nous a donc été demandé de concevoir un système qui permette de savoir si le moteur du premier étage a bien utilisé la totalité de sa poudre et si la combustion est bien terminée.

Connaissant les caractéristiques du moteur du premier étage et notamment l'impulsion totale (mesurée en Newton par seconde), il suffit donc de concevoir un système qui compare l'impulsion totale théorique avec l'impulsion totale mesurée en vol.

Il est ici proposé deux solutions : une analogique et une numérique afin d'avoir au moins une solution de secours au cas où l'autre solution ne serait pas acceptée par Planète Science ou le CNES.

De plus, proposer deux solutions techniques permet ensuite de lister les avantages et les inconvénients de chacune des solutions proposées. Cela permet d'avoir également un regard critique sur notre travail et donc d'orienter les éventuelles personnes qui poursuivront notre travail sur les choses à améliorer.

6.3.1.2. Fonction Inclinomètre :

Pour autoriser la séparation des deux étages de la fusée puis l'allumage du second moteur, l'inclinaison de la fusée doit être inférieure à +/- 5 degrés ou +/- 10 degrés. Une fois le seuil des 5° ou 10° passé, la séparation ou l'allumage moteur doivent être interdits pour le reste du vol.

Le système d'inclinomètre repose sur le couplage de trois capteurs qui fournissent une vitesse angulaire sur les trois axes du trièdre lié à la fusée. On peut alors mesurer les angles entre le trièdre lié à la fusée et le trièdre lié à sa position initiale au sol. On utilise les angles d'EULER car ils ont l'avantage de lier directement les deux trièdres. Les équations liant les vitesses angulaires sur chaque axe aux angles d'EULER sont obtenues par combinaisons des différentes matrices de passage.

Modélisation mathématique du couplage des capteurs gyrométriques

Rappels sur les angles d'Euler :

Considérons un repère auxiliaire $(Ox' y' z')$ confondu avec le repère local terrestre porté par l'avion (ou la fusée dans notre cas) et amenons-le en coïncidence avec le repère avion à l'aide de trois rotations successives.

Une première rotation d'angle ψ autour de l'axe (Oz) amène l'axe (Ox') dans le plan vertical passant par l'axe (Ox) .

Une deuxième rotation d'angle θ autour de la nouvelle position de l'axe (Oy') , perpendiculaire au plan (Oxz) , amène l'axe (Ox') en coïncidence avec l'axe (Ox) .

Enfin, une troisième rotation d'angle φ autour de l'axe (Ox) amène l'axe (Oy') en coïncidence avec l'axe (Oy) de même que l'axe (Oz') vient en coïncidence avec l'axe (Oz) .

Position angulaire des trièdres utilisés en mécanique du vol Passage du trièdre Terrestre – trièdre avion

Rotation d'azimut

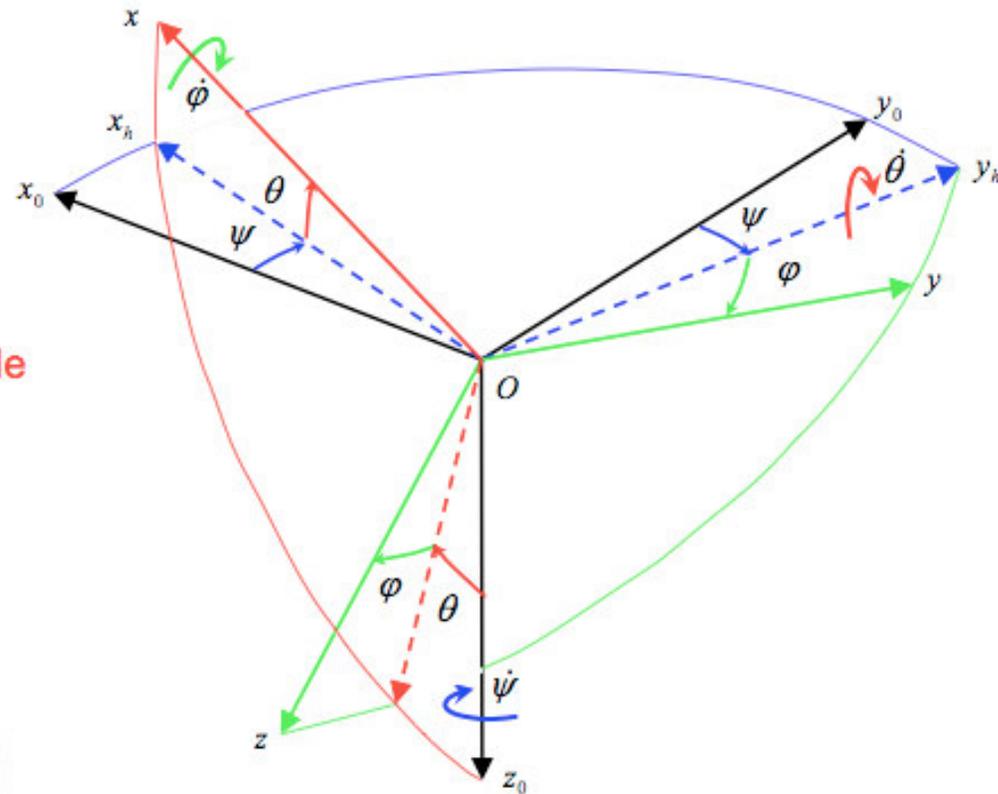
$$\begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ z_0 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix}$$

Rotation d'assiette longitudinale

$$\begin{pmatrix} x \\ y_h \\ z_\theta \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ z_0 \end{pmatrix}$$

Rotation d'angle de gîte

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y_h \\ z_\theta \end{pmatrix}$$



Rappel sur les vitesses de rotations :

La position angulaire du trièdre avion ($Oxyz$) par rapport au trièdre normal terrestre porté par l'avion (ou la fusée) ($Ox_0y_0z_0$) est définie par les angles ψ , θ et φ et il est utile de connaître les relations entre les coordonnées dans le trièdre avion du vecteur instantané de rotation de l'avion ($\vec{\Omega}$) et les dérivées des angles d'Euler.

En reprenant les définitions des angles d'Euler (voir plus haut), une rotation $\dot{\psi}$ s'effectue autour de l'axe Oz_0 , une rotation $\dot{\theta}$ autour de l'axe Oy_h , et une rotation $\dot{\varphi}$ autour de l'axe longitudinal. Par conséquent :

$$\vec{\Omega} = \dot{\psi} \vec{k}_0 + \dot{\theta} \vec{j}_h + \dot{\varphi} \vec{i}$$

où :

\vec{k}_0 est le vecteur unitaire de l'axe Oz_0

\vec{j}_h est le vecteur unitaire de l'axe Oy_h

\vec{i} est le vecteur unitaire de l'axe Ox

La matrice de transformation entre les deux trièdres permet d'écrire les vecteurs unitaires dans le repère avion.

$$\begin{aligned} \vec{k}_0 &= -\sin \theta \vec{i} + \cos \theta \sin \varphi \vec{j} + \cos \theta \cos \varphi \vec{k} \\ \vec{j}_h &= \cos \varphi \vec{j} - \sin \varphi \vec{k} \end{aligned}$$

Le vecteur instantané de rotation peut alors être exprimé dans le repère avion :

$$\vec{\Omega} = (-\dot{\psi} \sin \theta + \dot{\varphi}) \vec{i} + (\dot{\psi} \cos \theta \sin \varphi + \dot{\theta} \cos \varphi) \vec{j} + (\dot{\psi} \cos \theta \cos \varphi - \dot{\theta} \sin \varphi) \vec{k}$$

Les vitesses de roulis, tangage, et lacet s'expriment donc de la façon suivante :

$$\begin{aligned} p &= -\dot{\psi} \sin \theta + \dot{\varphi} \\ q &= \dot{\psi} \cos \theta \sin \varphi + \dot{\theta} \cos \varphi \\ r &= \dot{\psi} \cos \theta \cos \varphi - \dot{\theta} \sin \varphi \end{aligned}$$

Les relations inverses s'écrivent alors :

$$\begin{aligned} \dot{\varphi} &= p + \tan \theta (q \sin \varphi + r \cos \varphi) \\ \dot{\theta} &= q \cos \varphi - r \sin \varphi \\ \dot{\psi} &= \frac{q \sin \varphi + r \cos \varphi}{\cos \theta} \end{aligned}$$

En mécanisant ces trois équations on peut obtenir les angles d'Euler.

Détermination de l'inclinaison à partir des angles d'Euler :

Dans notre cas, il s'agit de trouver un moyen de calculer l'angle entre l'axe Ox_0 et l'axe Ox à partir de l'angle ψ et de l'angle θ .

Pour cela, plaçons nous dans le tétraèdre $OABC$ avec :

A le point d'abscisse l sur l'axe Ox_h et appartenant à cet axe,

B le point d'abscisse $\cos \theta$ sur l'axe Ox et appartenant à cet axe,

C le point d'abscisse $\cos \psi$ sur l'axe Ox_0 et appartenant à cet axe.

Le tétraèdre $OABC$ est donc composé des triangles OAB , OAC et ABC , tous trois rectangles en A , et du triangle quelconque OBC . On a donc les longueurs suivantes :

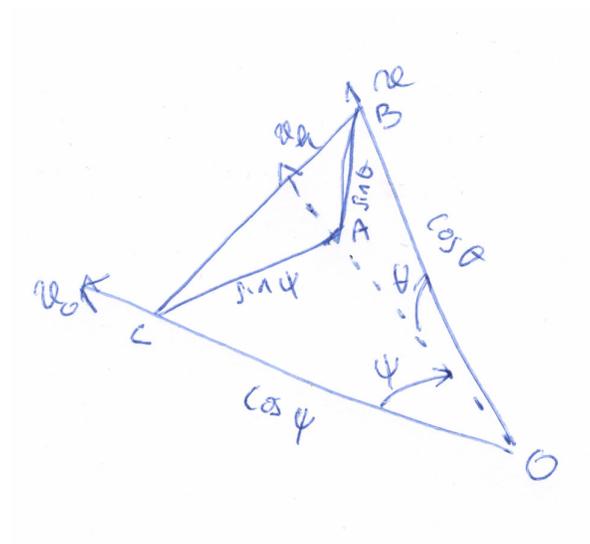
$$OA = 1$$

$$OB = \cos \theta$$

$$OC = \cos \psi$$

$$AB = \sin \theta$$

$$AC = \sin \psi$$



Or, d'après le théorème de Pythagore :

$$BC = \sqrt{AB^2 + AC^2} = \sqrt{\sin^2 \theta + \sin^2 \psi}$$

Plaçons nous maintenant dans le triangle OBC et posons $\gamma = \angle BOC$. D'après le théorème d'Al-Kashi :

$$\sin^2 \hat{O} = OB^2 + OC^2 - 2 \cos \hat{O} \cos \hat{B} \cos \hat{C}$$

On peut également l'écrire sous la forme :

$$\hat{O} = \arccos \frac{OB^2 + OC^2 - BC^2}{2 \times OB \times OC}$$

Posons $\gamma = \hat{O}$, soit l'angle d'inclinaison que nous recherchons. L'expression de γ en fonction des angles d'Euler est donc la suivante :

$$\gamma = \arccos \frac{\cos^2 \theta + \cos^2 \psi - \sin^2 \theta - \sin^2 \psi}{2 \cos \theta \cos \psi}$$

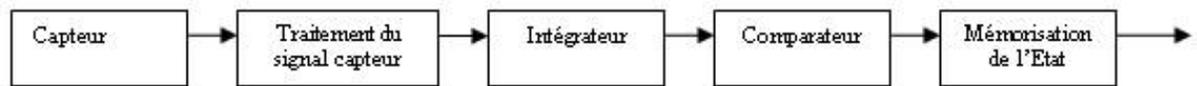
. Les équations sont les suivantes :

$$\begin{aligned} p &= -\dot{\psi} \sin \theta + \dot{\varphi} \\ q &= \dot{\psi} \cos \theta \sin \varphi + \dot{\theta} \cos \varphi \\ r &= \dot{\psi} \cos \theta \cos \varphi - \dot{\theta} \sin \varphi \end{aligned}$$

On obtient donc les relations inverses suivantes (qui elles expriment les variations des angles d'EULER en fonction des vitesses angulaire) :

$$\begin{aligned}\dot{\varphi} &= p + \operatorname{tg} \theta (q \sin \varphi + r \cos \varphi) \\ \dot{\theta} &= q \cos \varphi - r \sin \varphi \\ \dot{\psi} &= \frac{q \sin \varphi + r \cos \varphi}{\cos \theta}\end{aligned}$$

L'architecture fonctionnelle interne de ces 2 fonctions est décrite par le schéma suivant dont nous allons décrire les éléments dans la partie suivante.



6.3.2. Solutions Techniques

6.3.2.1. Solutions analogiques :

6.3.2.1.1 Capteurs

Intégrale de poussée :

Nous avons choisi d'intégrer le signal d'un accéléromètre dont l'axe de mesure sera situé parallèlement à l'axe de roulis de la fusée.

L'accéléromètre, de référence MMA1213 (disponible chez radiospars, datasheet présente en annexe), permet de mesurer une accélération sur l'axe Z jusqu'à 50g et délivre en sortie une tension continue.

La tension délivrée est comprise entre 0V et 5V pour une mesure de l'accélération entre -50g et +50g ;

Inclinaison :

Nous avons choisi d'utiliser 3 gyromètres. Une autre solution consistait dans l'exploitation des signaux fournis par des capteurs d'inclinaison à effet hall, mesurant l'inclinaison de la fusée grâce aux variations du champ magnétique terrestre. La difficulté pour trouver ce type de capteurs résistant à l'accélération et donnant une précision satisfaisante nous a fait abandonner cette idée.

Le gyromètre ADXRS300 (Analog Devices) est un gyromètre à résonance magnétique alliant légèreté, compacité et précision. En revanche, il est impossible de le souder sur la carte avec les moyens dont dispose l'association. Il sera nécessaire de le faire faire par un professionnel (soudage au four).

Chaque gyromètre fournit un signal sous la forme d'un courant continu de voltage 0V à 5V pour une mesure allant de $-300^\circ/\text{s}$ à $+300^\circ/\text{s}$.

En ce qui concerne la solution analogique, les capteurs peuvent être directement montés en entrée du montage (le signal fournit étant analogique ...).

6.3.2.1.2 Traitement des signaux capteurs

Intégrale de poussée :

Le signal capteur est soit directement envoyé dans la partie « intégrateur » du système, soit s'il y en a besoin, pour une raison quelconque (Alimentation disponible, dimensionnement du signal,...), dans un étage d'amplification intermédiaire.

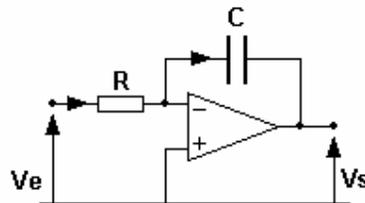
Inclinaison :

Afin d'obtenir un signal exploitable, il convient de transformer les 3 signaux fournis par les gyromètres en un seul signal nous donnant une indication d'inclinaison. Il faut pour cela réaliser un circuit électrique équivalent aux schémas Simulink (présents en annexe) représentant la mécanisation des équations permettant de réaliser ce couplage. Il s'agit de simples opérations arithmétique et trigonométriques. Nous suggérons l'utilisation des circuits intégrés AD639 (Analog Devices) permettant de calculer les sinus, cosinus, tangente,... de signaux analogiques, ainsi que le AD538 permettant de calculer des fonctions plus complexes (multiplications, divisions, racines, exponentielles,...) des signaux.

Comme pour l'intégrale de poussée, il est possible de faire passer le signal dans un étage d'amplification selon l'alimentation disponible et le dimensionnement des composants.

6.3.2.1.3 Intégration

Le système est ici identique pour l'intégrale de poussée et pour l'inclinaison. La solution que nous proposons est d'utiliser un amplificateur opérationnel (ampli-op ou AOP) monté en intégrateur, c'est-à-dire avec un condensateur dans la contre réaction :



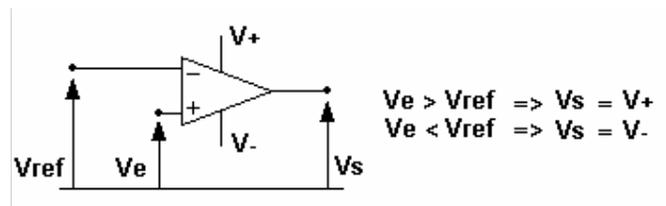
On a :

$$V_s = -\frac{1}{RC} \int V_e dt$$

Ce système permet de calculer l'intégrale du signal en entrée. Il ne faut pas oublier d'ajouter un système permettant de remettre à zéro l'intégrale (un interrupteur court-circuitant C). Il faut également être attentif au dimensionnement du signal et du rapport d'intégration ($1/RC$), en effet ce montage sature lorsque l'intégrale atteint la valeur V_+ (ou V_-) d'alimentation de l'ampli-op.

6.3.2.1.4 Comparateur :

Ici encore, le système est identique pour l'intégrale de poussée et pour l'inclinaison. Il s'agit une fois de plus d'utiliser un AOP associé à un montage « comparateur » :



Il convient alors d'alimenter l'AOP en fonction des tensions dont on aura besoin en sortie du montage.

6.3.2.1.5 Mémorisation de l'état :

Si le seuil de saturation de l'intégrateur est supérieur au seuil de détection (si le système est bien dimensionné, donc), il n'y a pas de raison pour que la sortie du comparateur change après le dépassement du seuil. Ce montage assure donc la mémorisation de l'état.

On notera aussi que les performances d'un AOP et plus généralement des composants analogiques varie selon les facteurs extérieurs et plus particulièrement selon la température. Il faudra donc prendre ce paramètre en compte lors de la simulation et des tests selon les conditions du vol.

6.3.2.2. Solutions numériques :

6.3.2.2.1 Capteurs

Il est possible d'utiliser les mêmes capteurs que pour la solution analogique et de convertir les signaux en numérique au travers d'un Convertisseur Analogique/Numérique (CAN) voir partie suivante.

6.3.2.2.2 Traitement des signaux capteurs

Lors du traitement des signaux issu des capteurs analogique, il est nécessaire de les numériser à l'aide d'un CAN. Le choix de celui-ci et notamment le nombre de bits sur lequel va être codé l'information déterminent la résolution du système. Par exemple pour un accéléromètre mesurant une valeur de +/- 50g, on obtient les résolutions suivantes :

Nombre de bits	Résolution (en g)
4	6,25
8	0,4
16	0,0015

Pour le calcul de l'intégrale de poussée, le signal numérisé peut être directement envoyé au niveau de l'intégrateur. Dans le système inclinomètre, les signaux numérisés des gyromètres doivent être couplés pour obtenir un signal unique représentatif de l'inclinaison.

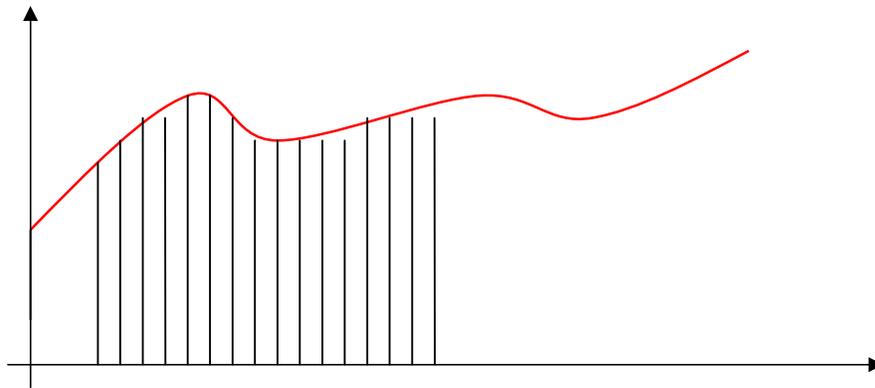
Pour mécaniser les équations permettant d'effectuer ce couplage, nous suggérons l'utilisation de « look up tables » réalisées à partir de PROM (Programmable Read Only Memory).

Il s'agit de programmer un composant pour qu'il fournisse en sortie un résultat prédéterminé en fonction de l'entrée.

Les avantages de ce procédé sont qu'il est peu onéreux, il est très rapide et très fiable. De plus il est possible de modéliser n'importe quel type de fonction. L'inconvénient est qu'il faut disposer d'un programmeur de PROM.

6.3.2.2.3 *Intégration*

L'intégrale du signal est réalisée à l'aide d'un additionneur. Il faut cependant réfléchir sur la notion d'intégrale en discret. En discret, l'intégrale peut être traitée en réalisant une somme du signal.



Une intégrale étant par définition une somme, on peut donc calculer l'intégrale de poussée du moteur en réalisant une somme du signal.

L'aire de la courbe sera :

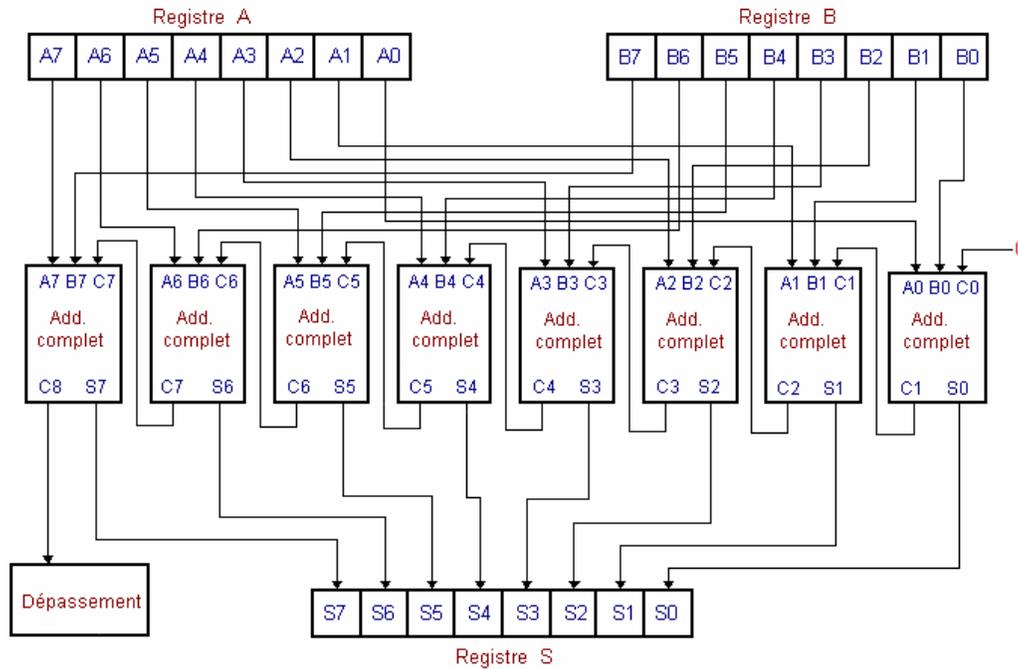
$$S_m = \sum \Delta x * \Delta y$$

Δx étant la période d'échantillonnage imposé par le CAN et Δy les quantum choisis pour réaliser la plus petite mesure par la CAN (marche élémentaire de mesure).

Ainsi, connaissant l'intégrale de poussée théorique du moteur, nous sommes capable de déterminer l'aire correspondante pour pouvoir ensuite la comparer avec celle déterminée par l'accéléromètre.

Afin de simplifier les calculs, il est judicieux de choisir un intervalle de temps T égal à Δx pour le calcul de l'aire théorique de sorte que nous n'ayons plus qu'à comparer la somme des Δy pour ces deux intégrales.

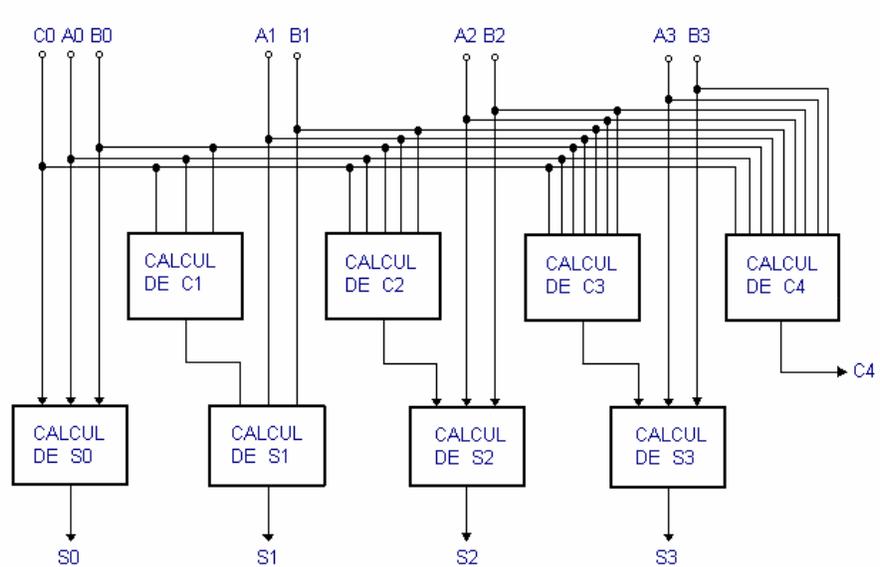
Pour effectuer la somme des Δy , on utilise un additionneur. On distingue deux types d'additionneurs. Les additionneurs série ont le principe de fonctionnement suivant :



Le registre A reçoit la valeur échantillonnée de l'accélération du CAN à chaque période d'échantillonnage. Le registre B est initialement nul.

Cet additionneur permet de réaliser la somme des deux registres A et B en mémorisant la retenue pour chaque bit. Le résultat doit ensuite être mémorisé dans le registre B pour effectuer la somme cumulative des Δy .

Les additionneurs parallèles à retenue anticipée ont le principe de fonctionnement suivant :

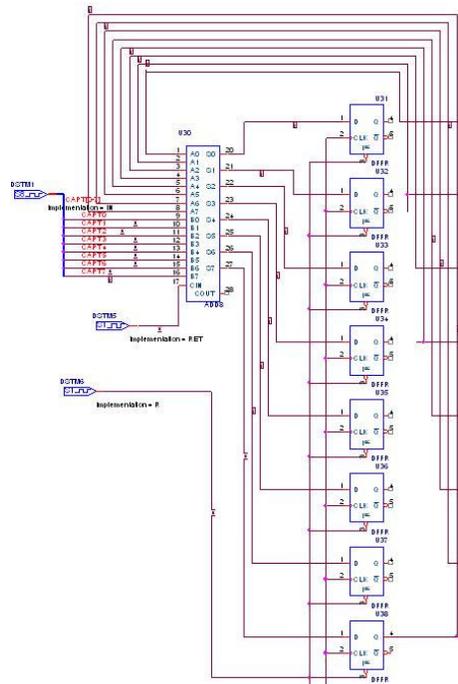


On se base sur le fait que les termes de la somme sont connus et disponibles avant même que commence l'opération d'addition. On peut alors calculer, en anticipant, la retenue pour chaque étage indépendamment des étages précédents. Il s'agit de pouvoir disposer de toutes les retenues simultanément et dans un temps le plus court possible. Ce dernier type est plus rapide en temps d'exécution de calcul.

Exemple :

Avec un circuit intégré 7483, qui est un additionneur parallèle avec retenue anticipée, on additionne 2 nombres de 4 bits en 24 ns maximum. Il est à noter que le circuit intégré 74LS83 qui est un additionneur de 4 bits à retenue série effectuée la même opération en 72 ns maximum, soit 3 fois plus.

Il est nécessaire de placer des bascules D en sortie de l'additionneur pour mémoriser le résultat de l'opération et le représenter en entrée pour une nouvelle addition.

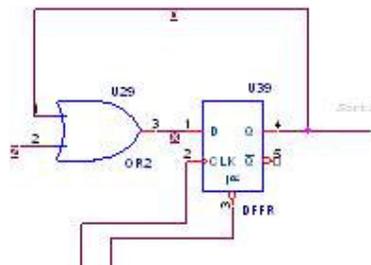


6.3.2.2.4 Comparateur

Le principe général est de faire la différence entre la valeur en sortie de l'intégrateur et la valeur du seuil écrite en dur. On peut facilement réaliser une soustraction en utilisant un additionneur et en prenant en entrée le complément du nombre que l'on veut soustraire. Dans l'additionneur, le signe nous est donné par la retenu (Cout).

6.3.2.2.5 Mémorisation de l'état :

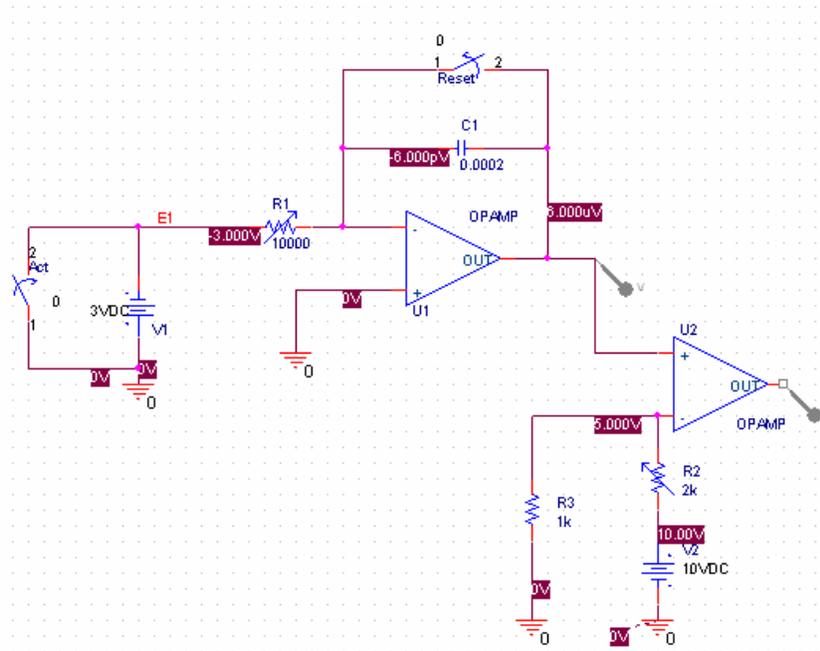
La mémorisation de l'état s'effectue à l'aide d'une bascule D dont on a fait boucler la sortie sur l'entrée au travers d'une porte « ou ». En début de simulation, l'entrée est à 0, la sortie l'est de même, dès que la branche de sortie du comparateur passe à 1, la sortie de la bascule est à 1. La branche de sortie du comparateur peut repasser à 0, la porte « ou » prend la valeur qui revient de la sortie à 1 et l'état est donc conservé.



6.3.3. Simulation et schéma

6.3.3.1. Simulation analogique pour l'intégration et la mémorisation d'état

Le logiciel Capture de la suite de logiciel ORCAD nous a permis de simuler le fonctionnement du circuit analogique à partir de son schéma électrique.



L'entrée V1 simule un signal analogique de 3v correspondant au signal de sortie du capteur.

R1 et C1 permettent de dimensionner l'intégrateur construit autour de l'AOP U1 :

$$V_s = -\frac{1}{RC} \int V_e dt$$

U1 est alimenté en $V_+ = +15v$ et $V_- = -15v$ (l'intégrale saturera donc à 15 v).

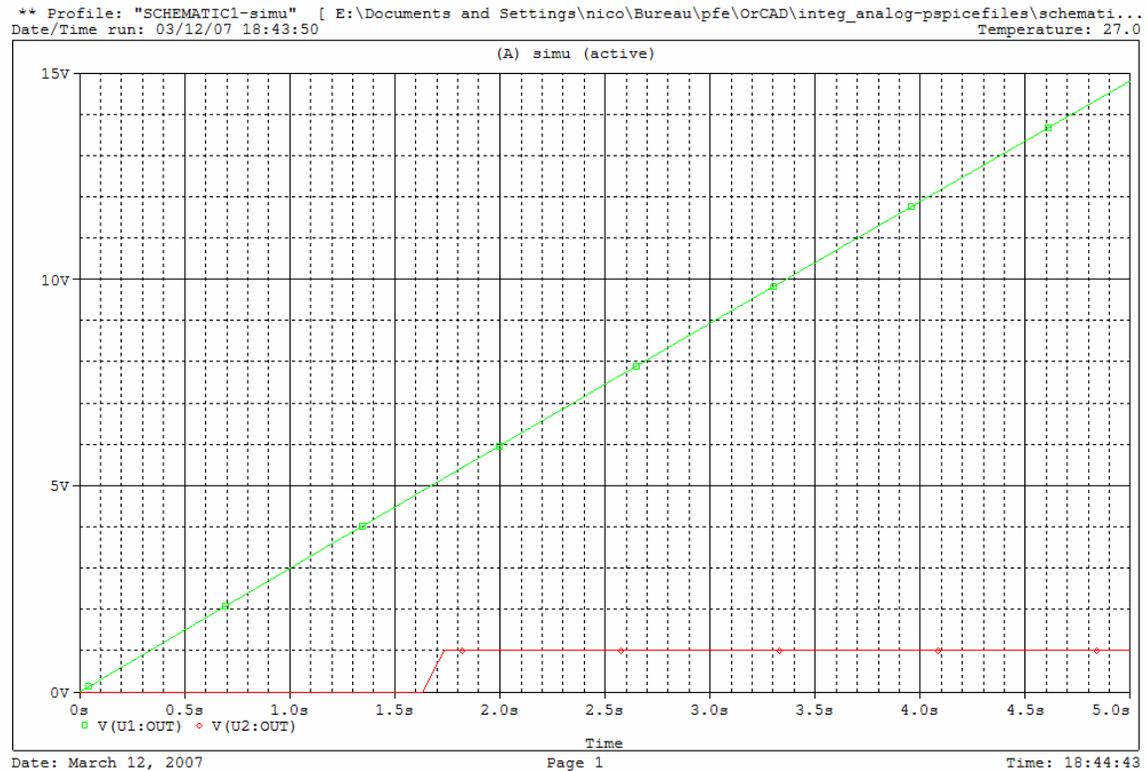
R1 est une résistance variable qui permet d'ajuster le rapport d'intégration.

Pour une raison obscure, le résultat de simulation (voir ci-dessous) est multiplié par deux par rapport à la valeur théorique de la sortie de l'intégrateur. Ceci peut être dû à un problème de modélisation de l'AOP. L'interrupteur « reset » permet de réinitialiser l'intégrale à 0. Il s'agit d'un composant critique du montage à ne surtout pas oublier.

L'AOP U2 est ensuite monté en comparateur, un pont diviseur de tension permet de régler la tension de seuil du comparateur. R2 est une résistance variable qui permet d'ajuster ce seuil.

U2 est alimenté en $V_+ = +1v$ et $V_- = 0v$

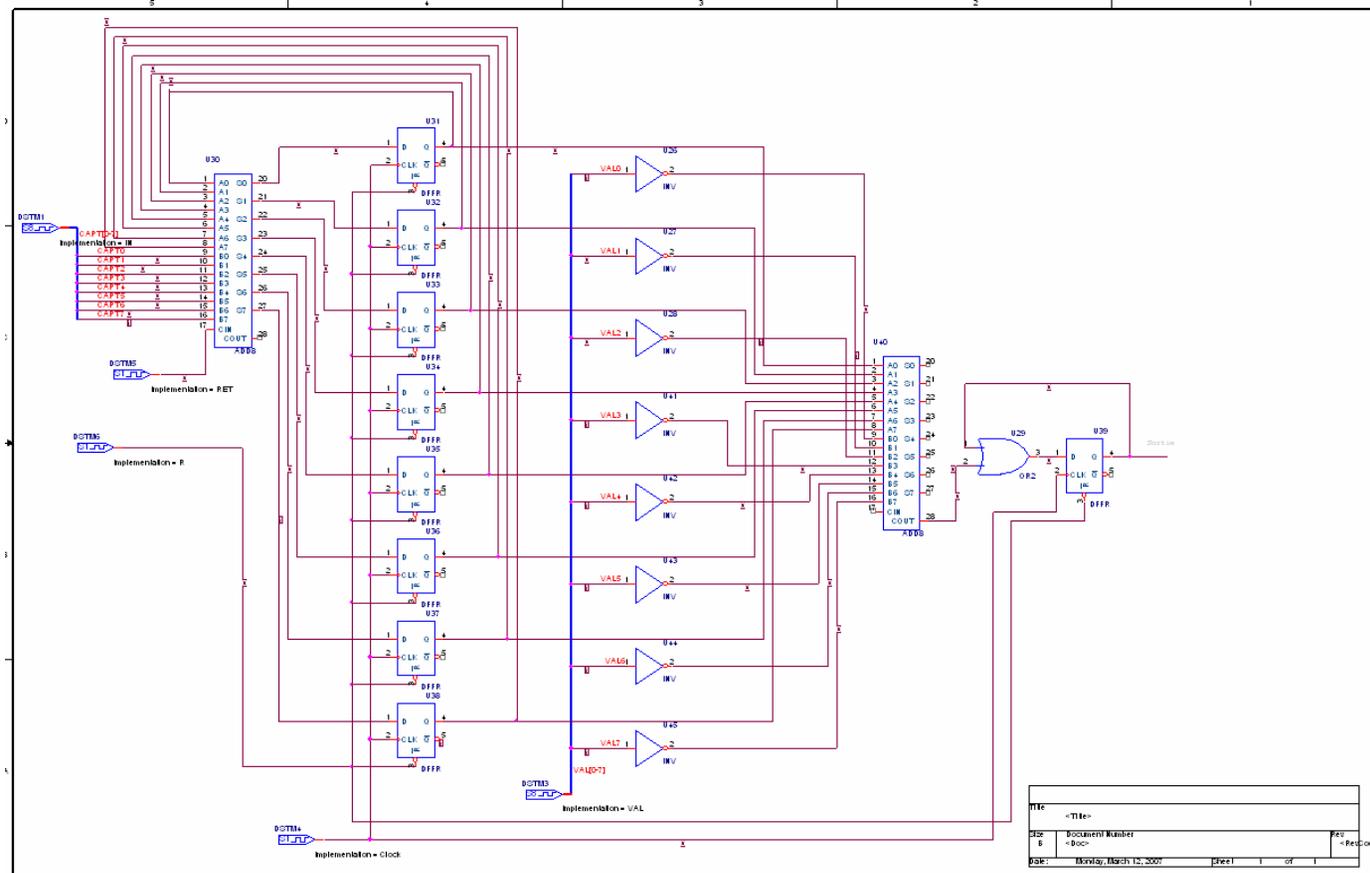
Les résultats de simulation sont les suivant :



Sur la courbe précédente, on voit que l'intégrale est bien linéaire (jusqu'à 15v). Le pont diviseur de tension est réglé pour que l'on ait une tension de seuil de 5v. On constate que le comparateur fonctionne bien puisque le signal de sortie commute à 1 volt. On remarque également que la commutation dure 1/10 de seconde, ce qui peut induire un retard de signal.

6.3.3.2. Schéma de la solution numérique pour l'intégration

Le logiciel Capture de la suite de logiciel ORCAD nous a permis de schématiser le fonctionnement du circuit numérique.



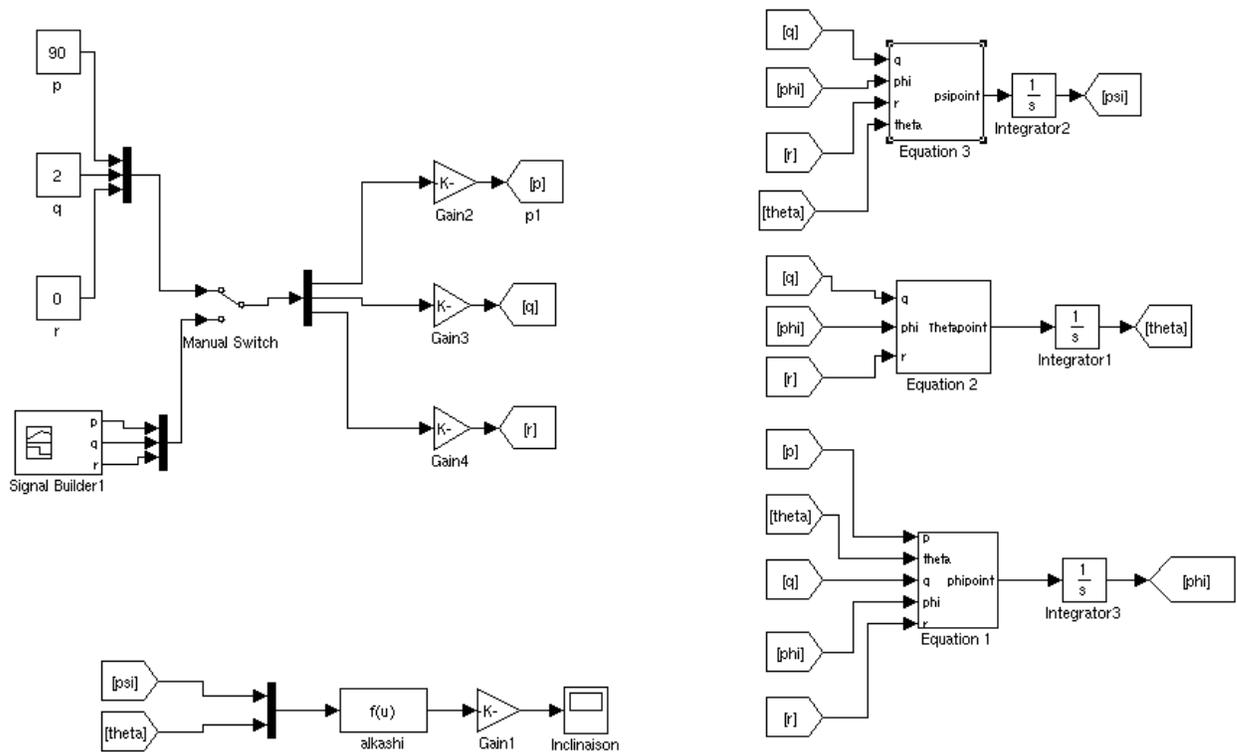
Les fichiers Orcad sont présents sur le cd-rom.

6.3.3.3. Simulation du couplage des capteurs gyrométriques

Le logiciel Matlab/Simulink nous a permis de réaliser une simulation du couplage des gyromètres pour le calcul de l'inclinaison à partir des vitesses de roulis, tangage et lacet.

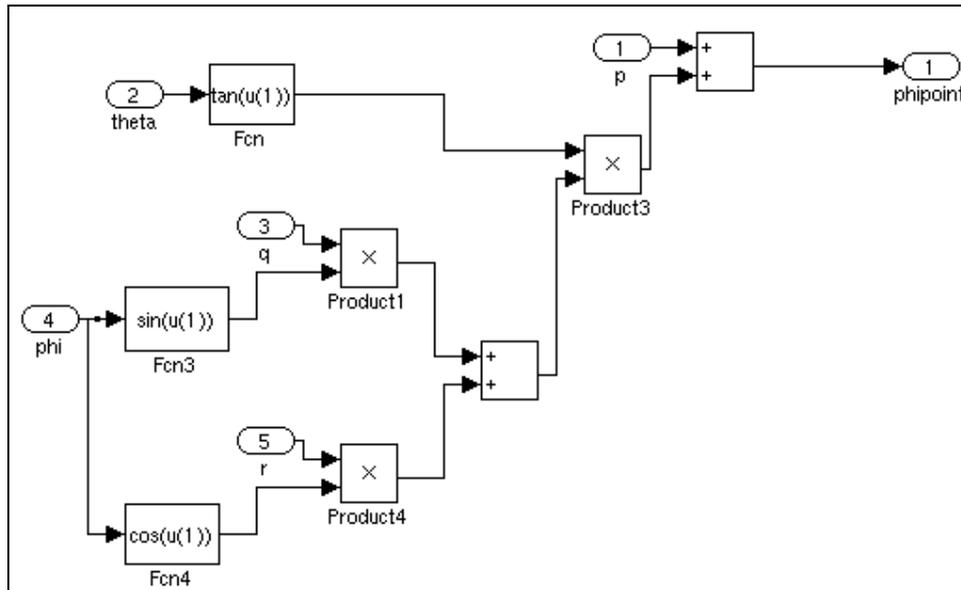
Nous avons modélisé les équations issues du modèle mathématique précédemment établi.

Voici le schéma de simulation que nous avons réalisé :

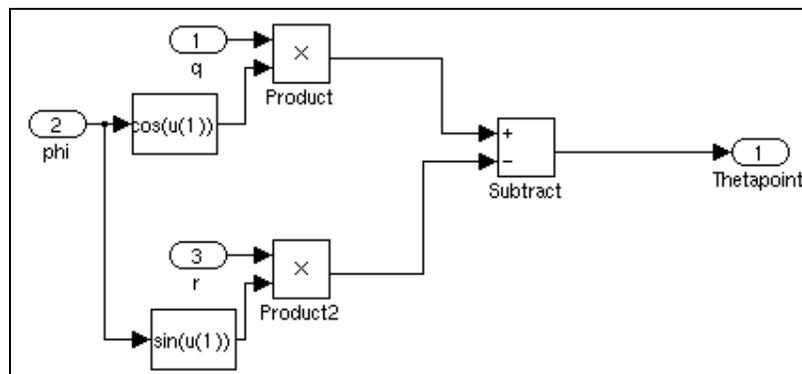


Chaque sous-système modélise une des équations préalablement établies.

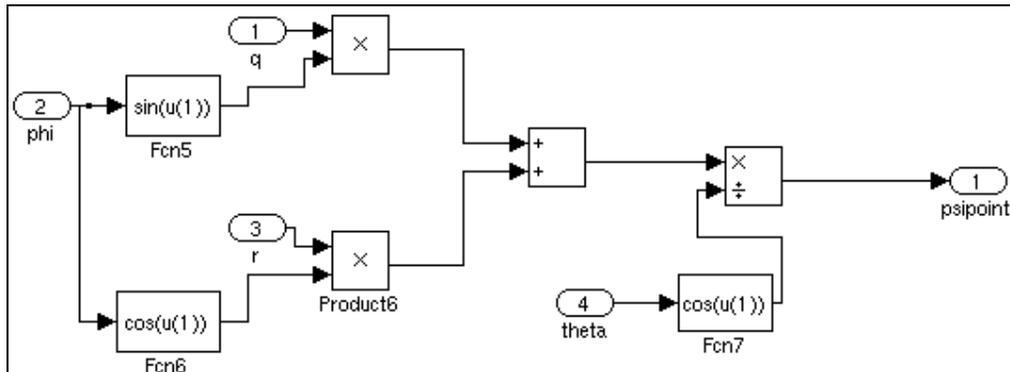
$$\dot{\varphi} = p + tg\theta(q \sin \varphi + r \cos \varphi)$$



$$\dot{\theta} = q \cos \varphi - r \sin \varphi$$



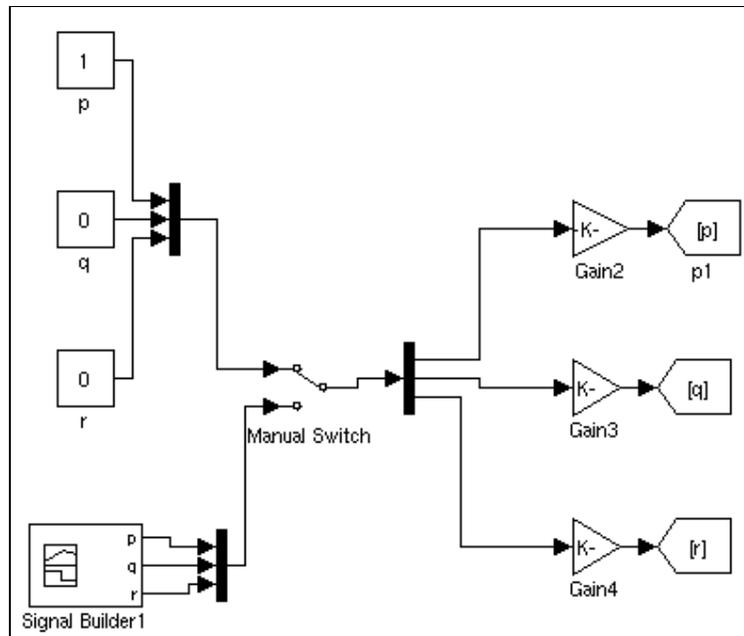
$$\dot{\psi} = \frac{q \sin \varphi + r \cos \varphi}{\cos \theta}$$



Voici les résultats de différents cas de simulation que nous avons pu tester :

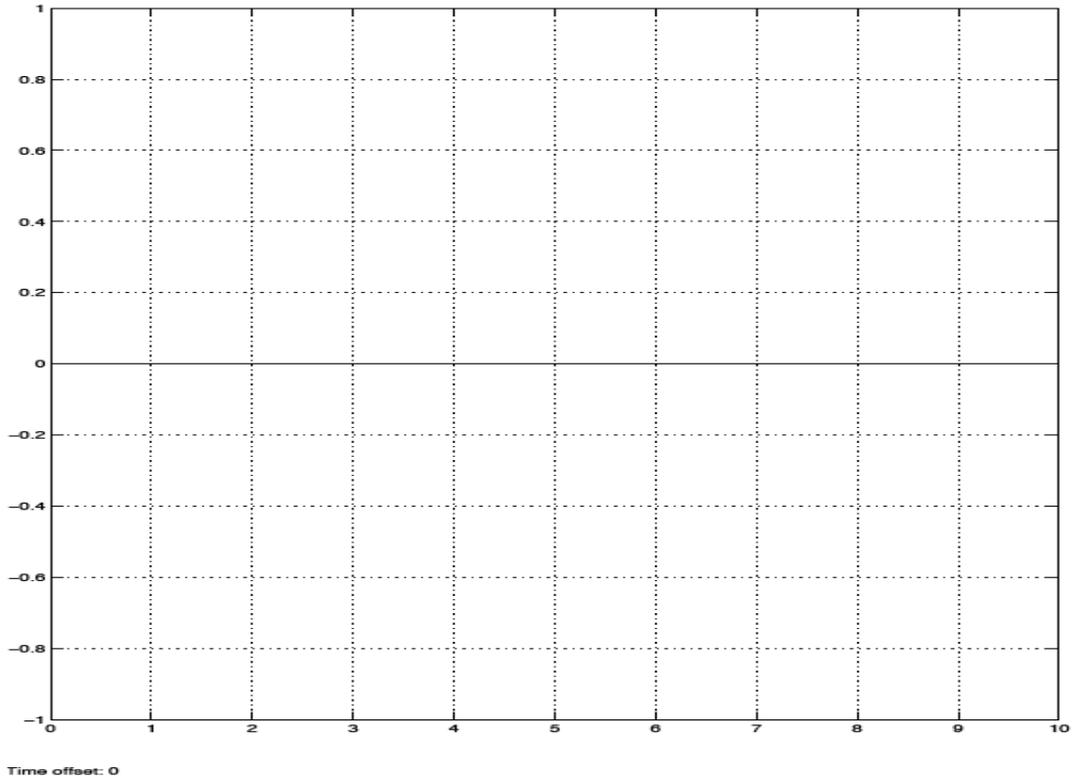
Cas 1 : effet d'une vitesse de roulis non nulle avec vitesses de tangage et lacet nulles

Nous modélisons les signaux capteur de la façon suivante, et on met en entrée une vitesse de roulis de 1°/s :



Une stimulation du capteur mesurant la vitesse de roulis ne devrait pas influencer l'inclinaison si les autres capteurs ne sont pas stimulés.

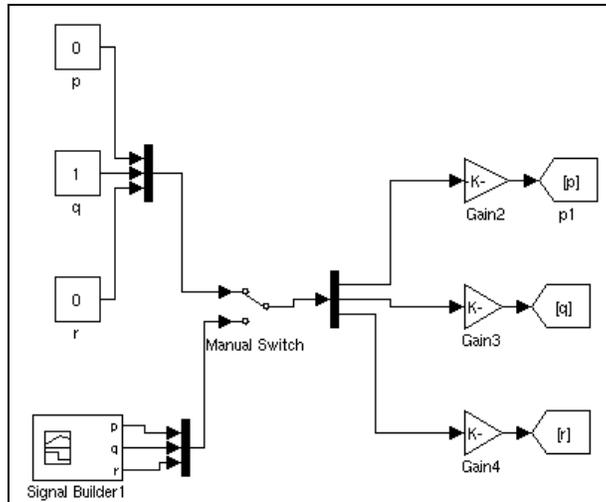
Résultat de la simulation 1 : Inclinaison en fonction du temps



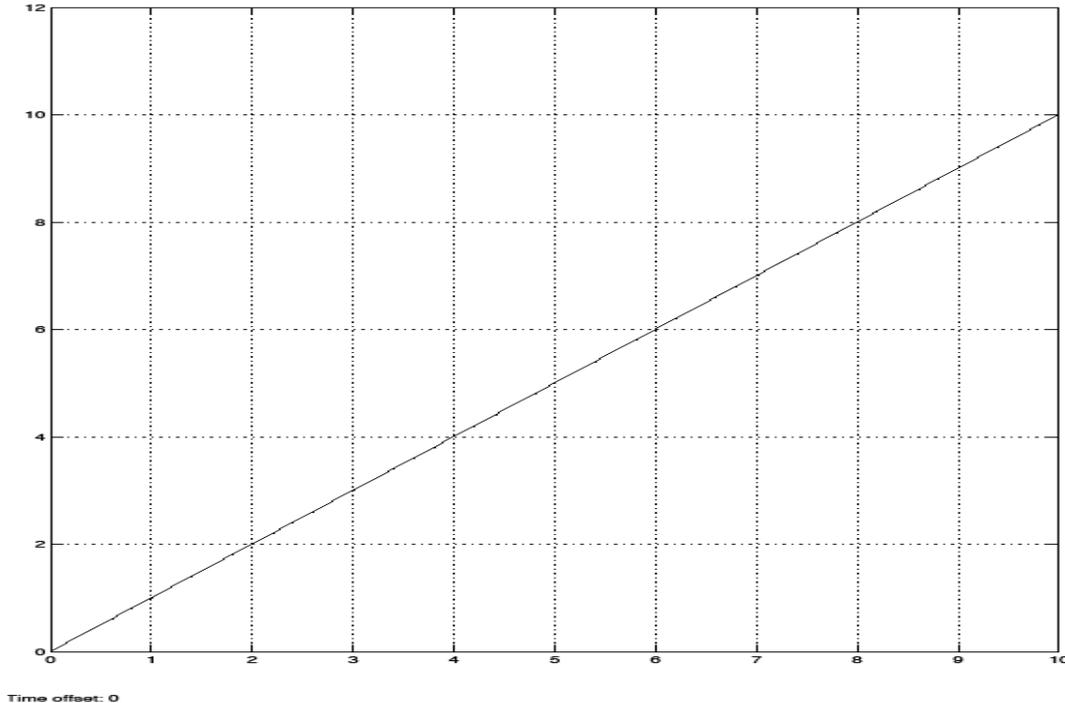
En effet, on constate que la valeur de l'inclinaison reste nulle.

Cas 2 : Effet d'une vitesse de tangage non nulle avec vitesses de roulis et lacet nulles :

On met en entrée une vitesse de tangage de 1°/s :



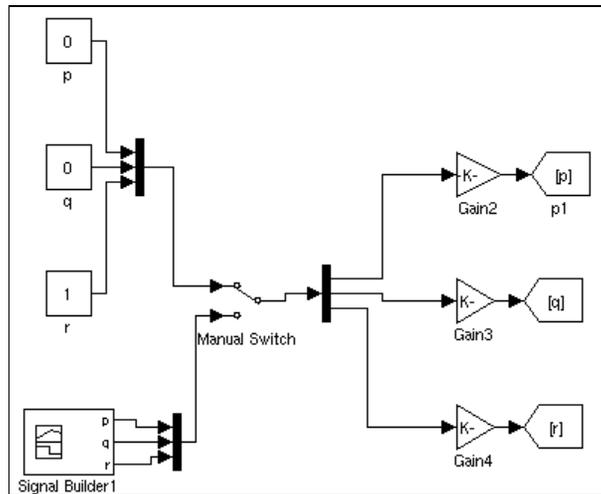
Résultat de la simulation 2 : inclinaison en fonction du temps



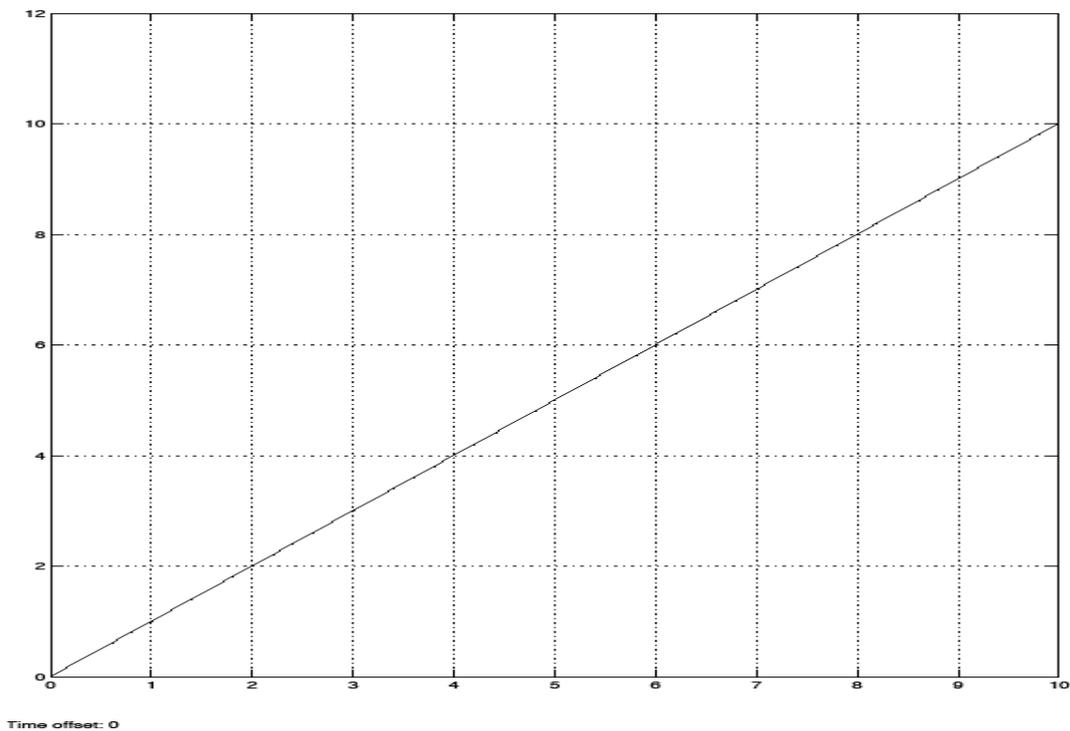
On constate que une vitesse constante de tangage provoque une évolution linéaire de l'inclinaison. De plus cette évolution se fait bien à la vitesse de 1°/s. Le résultat est donc bien cohérent.

Cas 3 : Effet d'une vitesse de lacet non nulle avec des vitesses de tangage et roulis nulles :

On met en entrée une vitesse de lacet de 1°/s :



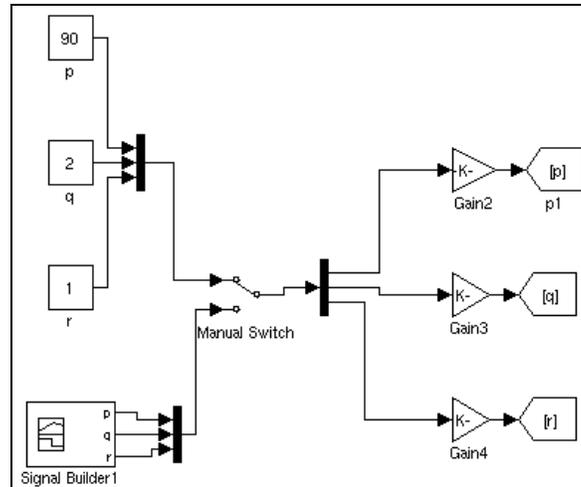
Résultat de la simulation 3 : inclinaison en fonction du temps



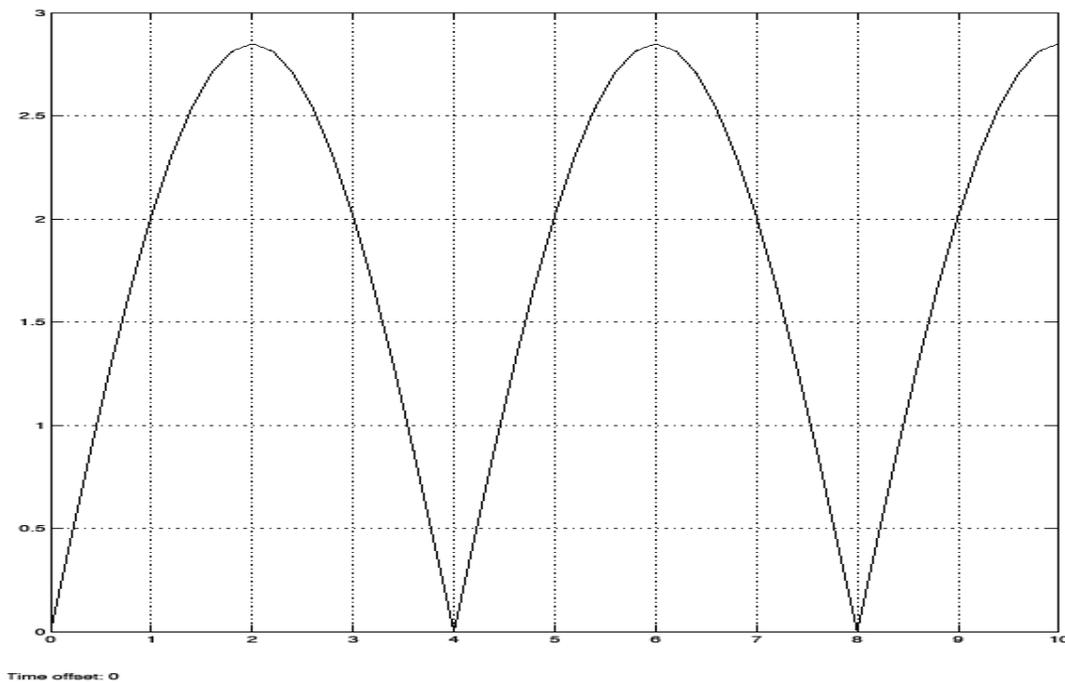
Même résultat que pour la simulation 2, ce qui est cohérent car le tangage et le lacet doivent avoir le même effet sur l'inclinaison de la fusée.

Cas 4 : Evolution constante des vitesses de tangage, lacet, et roulis.

On met en entrée une vitesse de roulis suffisamment importante ($90^\circ/s$) afin de constater l'influence du roulis sur le calcul de l'inclinaison. On met également en entrée une vitesse de tangage (par exemple : $2^\circ/s$) et une vitesse de lacet ($1^\circ/s$) :



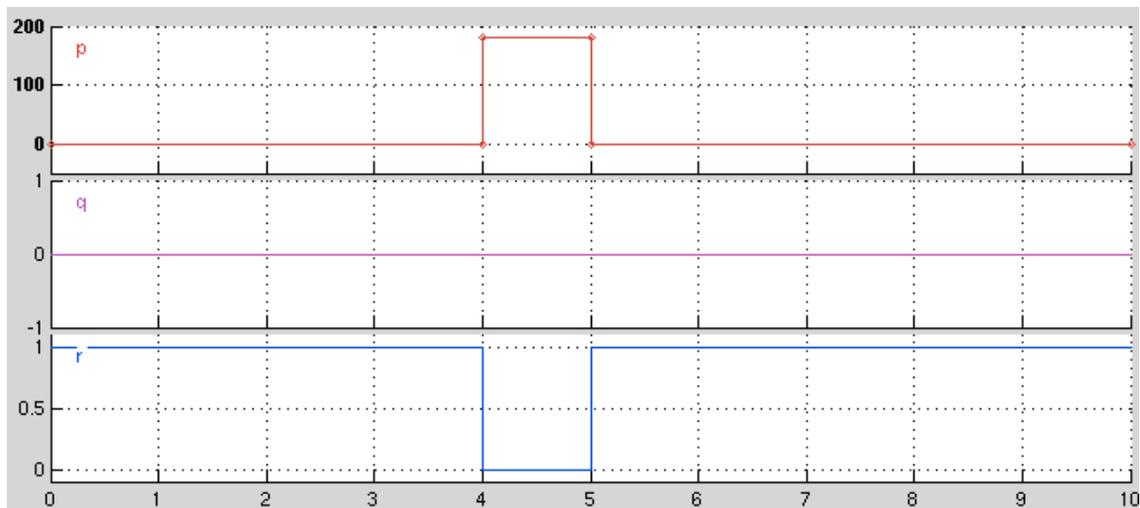
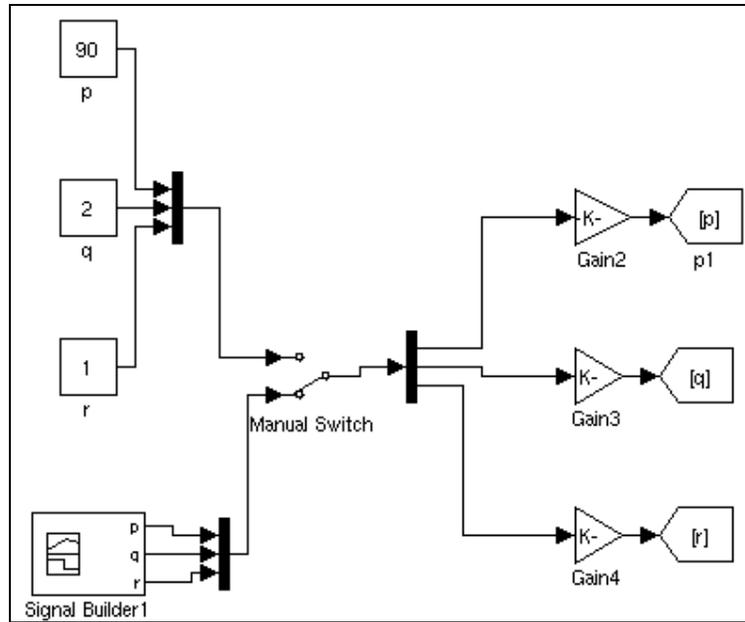
Résultats de la simulation 4 : Inclinaison en fonction du temps



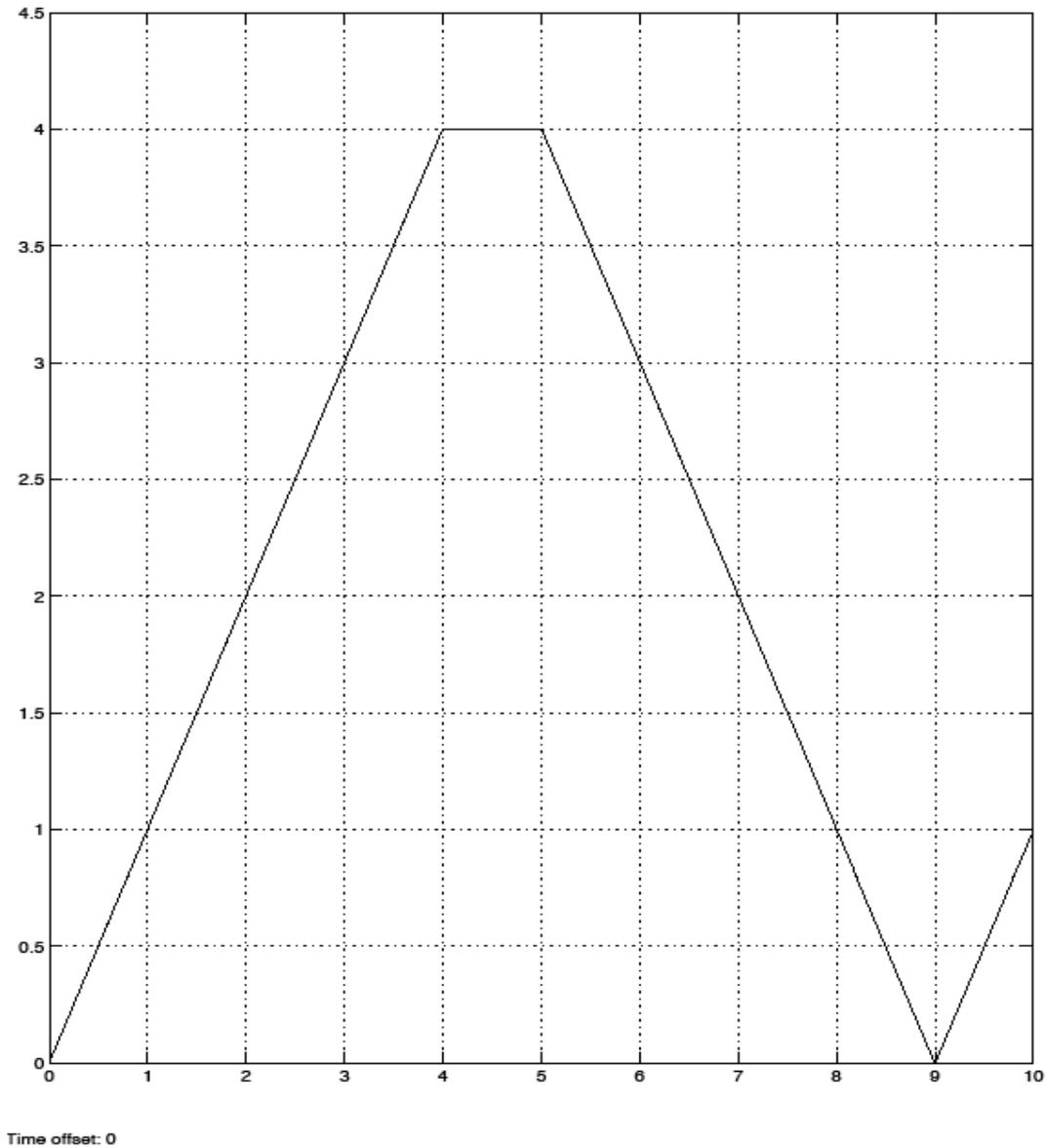
On constate l'effet de la vitesse de roulis qui ramène la fusée dans son axe de tir périodiquement. Le couplage des gyromètre semble donc bien fonctionner.

Cas 5 : Signaux évoluant en fonction du temps

Simulink nous permet d'élaborer des signaux plus ou moins complexes que l'on peut mettre en entrée du système. Par exemple on peut donner une vitesse de lacet à la fusée pendant un certain temps, puis faire faire un demi tour a la fusée suivant son axe de roulis et lui redonner une vitesse de lacet dans le même sens pour vérifier que la fusée revient dans son axe. Ce test valide en partie le couplage des capteurs :



Résultats de la simulation 5 : inclinaison en fonction du temps



On constate que la fusée se comporte comme prévu. L'inclinaison redevient nulle lorsqu'on applique une vitesse de lacet du même signe avant et après le demi tour. L'inclinaison augmente à nouveau après s'être annulée.



Etude de sécurité du Projet F01-0607

Version : 6
Date : 21/03/07

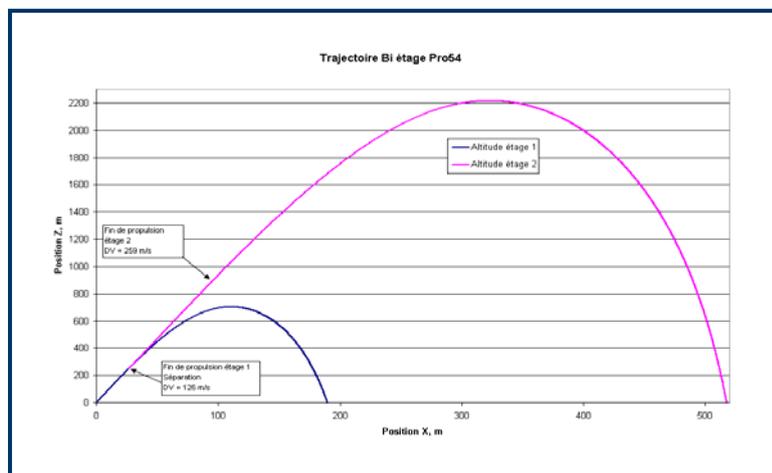
1. Présentation.....	3
1.1. Objectif initial.....	3
1.2. Objectif F01-0607	3
2. Description	4
2.1. Structure	5
2.1.1. Caractéristiques générales	5
2.1.2. 1 ^e étage	6
2.1.3. 2 ^e étage	7
2.1.4. Matériaux	8
2.2. Séparations.....	8
2.3. Système de récupération.....	8
2.3.1. 1 ^e étage	8
2.3.2. 2 ^e étage	8
2.4. L'électronique.....	10
2.4.1. Générale	10
2.4.2. L'électronique de l'expérience.....	10
2.4.3. Électronique de sécurité	11
2.5. Raccordement de la ligne de mise à feu du 2 ^e moteur :	16
3. Étude de sécurité.....	17
3.1. Analyse par phase.....	17
3.1.1. Schéma des différentes phases de vol	19
3.1.2. Liste des cas de pannes simples	20
3.1.3. Conséquences des différents cas de pannes et leurs résolutions	24
3.1.4. Résumé des solutions techniques apportées par l'étude des simples pannes:..	49
3.1.5. Étude de doubles pannes	51
3.1.6. Résumé des solutions techniques apportées par l'étude des doubles pannes:..	51
3.2. Étude par bloc.....	53
3.2.1. Étude des cas de pannes simples	54
3.2.2. Etude des cas de doubles pannes.....	58
3.2.3. Résumé des solutions techniques apportées.....	58
4. Architecture électronique finale.....	58
4.1. Architecture générale de l'électronique	58
4.2. Capteurs indispensables à la sécurité	58
4.3. Actionneurs et conditions initiales	58
5. Système mécanique final.....	58

1. Présentation

1.1. Objectif initial

AéroIpsa conduit deux projets ambitieux pour le lancement de Juillet 2007. Deux lanceurs qui se proposent de valider l'un le concept bi-étage, et pour le second le concept d'atterrissage vertical. L'objectif est donc de développer des technologies nouvelles et performantes pour la structure, la séparation, l'atterrissage et la propulsion, ainsi que d'assurer la plus grande fiabilité de ces systèmes grâce à un contrôle logiciel très stricte et éprouvé par de nombreux essais.

1.2. Objectif F01-0607



Le développement d'un nano lanceur biétage répond à un objectif de performances précis, exprimé en terme de vitesse, d'altitude et de charge utile. Notre volonté est de disposer pour juillet d'un lanceur offrant les conditions de sécurité suffisantes pour l'allumage du second étage, et permettant un vol transsonique culminant à plus de 2000 mètres. Cette ambition est des plus contraignantes, notamment pour le bilan de masse qui est le cœur de nos préoccupations.

Ceci suggère une structure composite résistante et légère, une électronique optimisée en encombrement et en consommation, de même qu'une intégration mûrement réfléchi. Ce lanceur sera également l'occasion d'éclairer le couplage moteur/structure grâce à une instrumentation adaptée. Une équipe de 15 étudiants et 2 enseignants sont investis dans ce projet.

Nous espérons à terme pouvoir lancer cette fusée avec deux pro54-5G, Pour cela cette année la fusée sera lancée avec un pro54-5G pour le 1 étage et un cariacou pour le 2 étage afin de valider l'électronique de sécurité. L'étude de sécurité sera effectuée pour un pro54-5G et un cariacou, mais la structure sera étudiée pour pouvoir accepter deux pro54-5G.

2. Description

Lexique

Ces termes seront utilisés tout au long de l'étude de sécurité

Etage 1 : il s'agit de l'étage du bas de la fusée

Etage 2 : il s'agit de l'étage du haut de la fusée

Moteur 1 : il s'agira d'un Pro54-5G, c'est le moteur qui se trouve dans l'étage1

Moteur 2 : il s'agira d'un cariacou, c'est le moteur qui se trouve dans l'étage 2

Temps des séquenceurs :

T1= temps de poussée du moteur 1

T2= temps de culmination +5 secondes

T3= temps de poussée du moteur 1 +4 secondes

T4=2 à 8 secondes

Parachute 1, para1 : il s'agit du parachute du 1 étage

Parachute 2, para2 : il s'agit du parachute du 1 étage

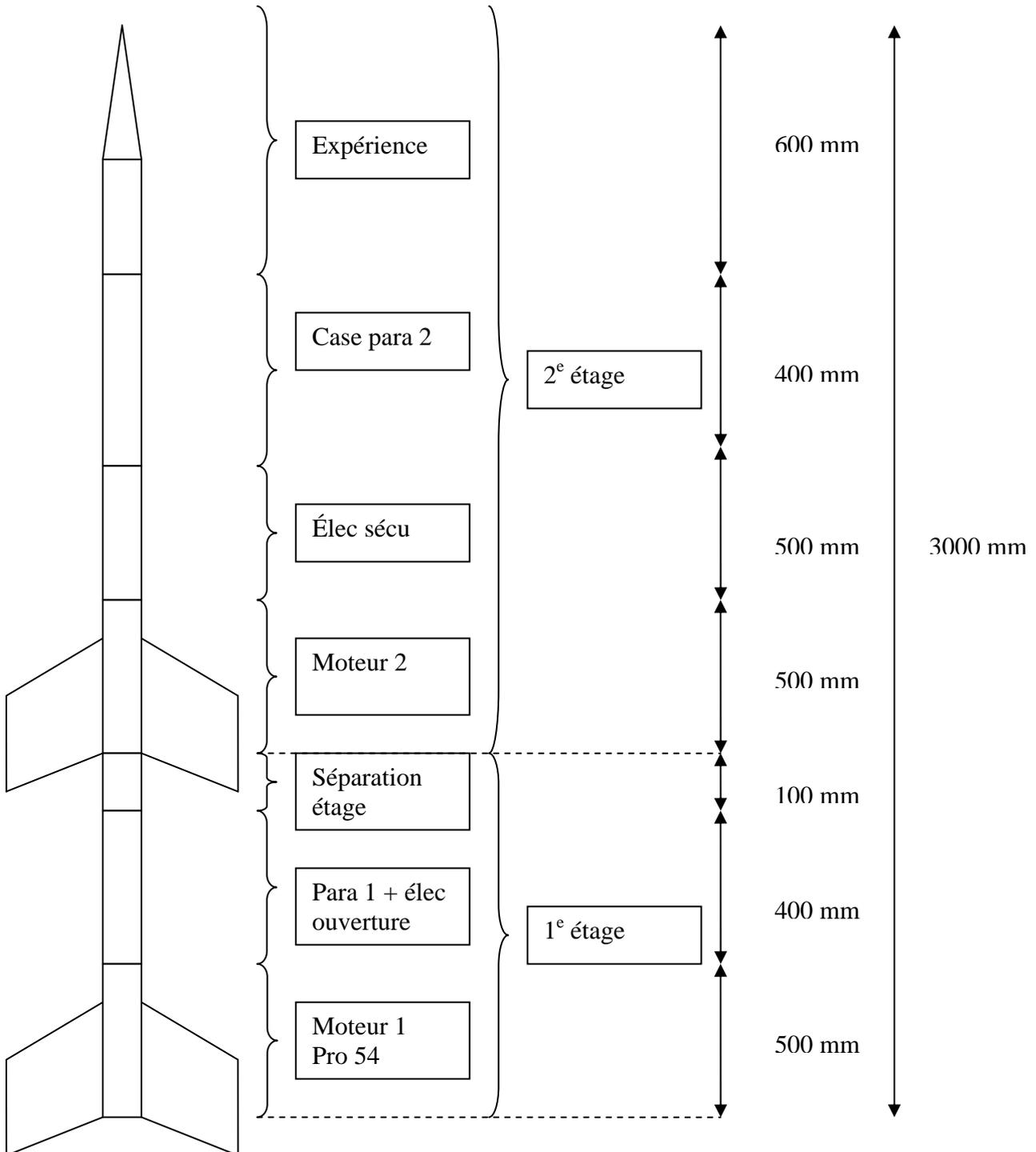
2.1. Structure

2.1.1. Caractéristiques générales

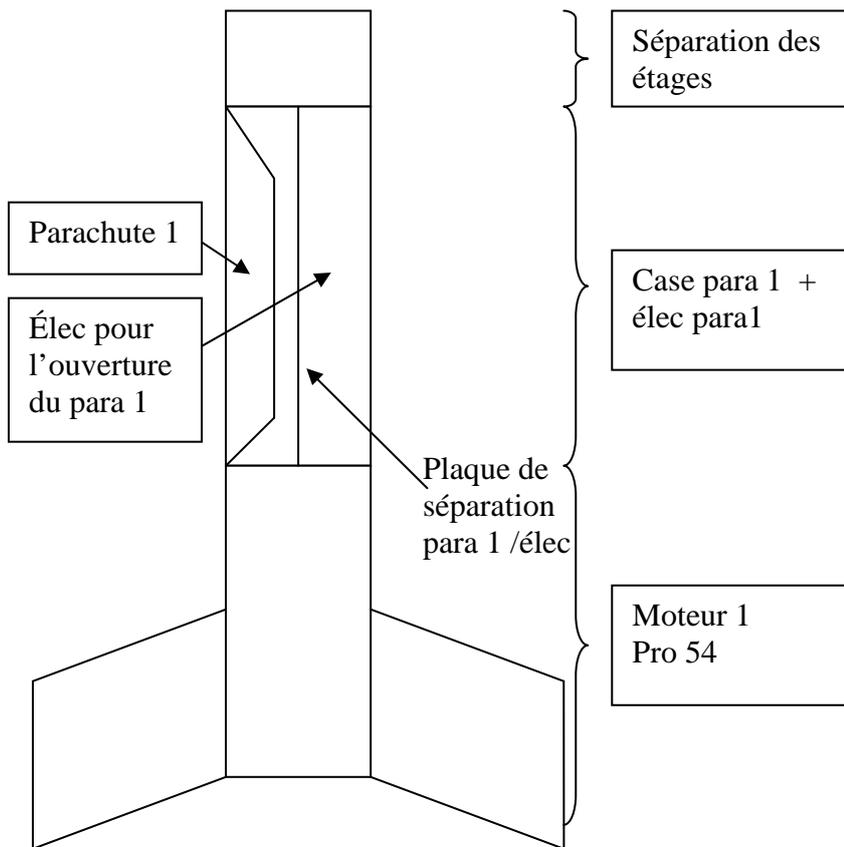
La fusée aura un poids d'environ 15 à 17kg.

Elle est destinée à pouvoir accepter à terme deux propulseurs Pro54-5G.

Le diamètre sera de 105mm pour une longueur de 3m environ.



2.1.2. 1^e étage



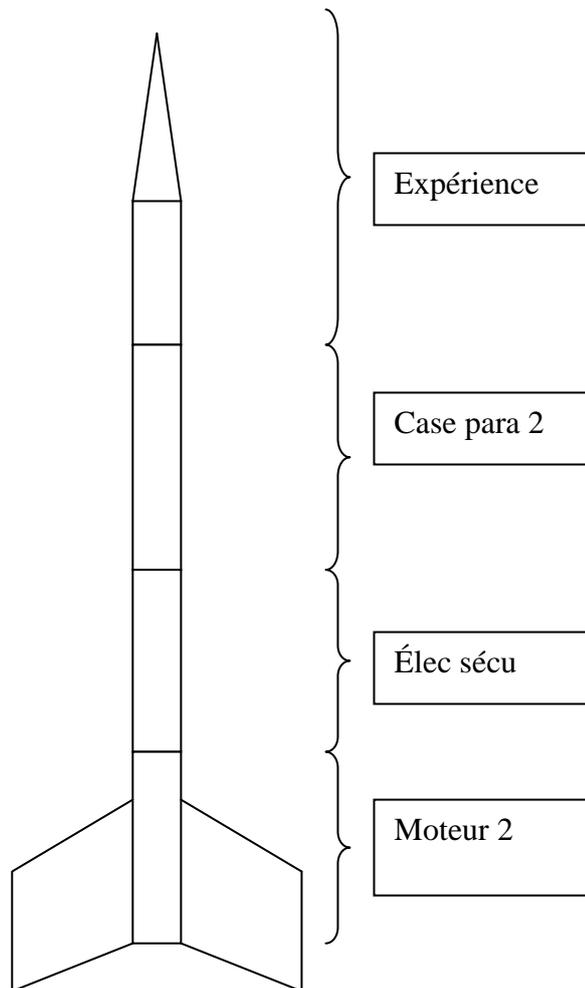
Le 1^e étage aura un poids de 5 à 6kg, un diamètre de 105mm pour une longueur de 1m
 Dans cet étage se trouvera le moteur 1 (type : PRO54-5G), le système de séparation inter-étage, le système d'ouverture du 1^e parachute destiné à la récupération de cet étage.

Il comportera un système de sécurité qui va permettre l'ouverture automatique du parachute 1 en cas de séparation des étages, comprenant son alimentation.
 L'ouverture de la porte est effectuée par une ventouse magnétique de tension inverse.

L'alimentation du système de séparation des étages sera également dans le 1^e étage, mais il sera commandé par le 2^e étage.

Cet étage aura une structure porteuse en aluminium, ainsi que la plaque de poussée et le système de séparation des étages ; la peau sera en carbone (peau semi-porteuse).
 Les ailerons et la jupe du moteur 1 seront en acier ou aluminium.

2.1.3. 2^e étage



Le 2^e étage aura un poids de 10 à 11kg, un diamètre de 105mm pour une longueur de 2m
Dans cet étage se trouvera le moteur 2, le système d'ouverture du parachute 2, toute l'électronique de l'expérience et de la télémessure, et l'électronique de sécurité destinée à l'allumage du second moteur.

Electronique :

Chaque partie sera alimentée de façon indépendante.

Il y aura une communication des données de l'électronique de sécurité vers la télémessure, pour permettre de connaître en temps réel l'état de la fusée et du moteur 2.

Mécanique :

L'ensemble de la fusée aura une structure porteuse en aluminium et une peau en carbone semi-porteuse (reprise des efforts de couple).

Les ailerons et la jupe du second étage seront en acier ou aluminium.

Les différentes pièces de jonction et la plaque de poussée seront en aluminium.

La coiffe sera en matériaux composites.

2.1.4. Matériaux

La fusée aura une structure porteuse avec une peau en carbone. Toutes les bagues de jonction, plaque de poussée et les renforts seront en aluminium. La peau du 1^e et 2^e étage et la coiffe seront en carbone. Les jupes du 1^e et 2^e étage et les ailerons seront en acier ou aluminium.

2.2. **Séparations**

Explications du système de séparation sur l'annexe systemedeseparation.doc

2.3. **Système de récupération**

2.3.1. 1^e étage

Le 1^e étage sera équipé d'un parachute capable de pouvoir supporter les efforts dus à une ouverture à la vitesse maximale, et dimensionné pour permettre la descente du 1^e étage à une vitesse de 12,5 m/s.

L'ouverture du parachute 1 sera actionnée grâce à une ventouse magnétique à tension inverse.

2.3.2. 2^e étage

Le parachute du 2^e étage sera dimensionné pour pouvoir effectuer une descente complète de la fusée (étages 1 et 2) à une vitesse maximale de 15m/s.

L'ouverture du parachute 2 sera actionnée grâce à une ventouse magnétique à tension inverse.

Chronologie de la fusée

Ceci est le début de la chronologie de lancement de notre fusée bi-étage.

R15

- Plier et ranger les parachutes 1 et 2.
- Changer les batteries ou vérifier qu'elles soient chargées.
- Rassembler les outils nécessaires pour rassembler la fusée.

Tente club

- Vérifier que la modulation fonctionne.
- Vérifier qu'il n'y a pas de dysfonctionnement sur l'électronique de sécurité.

Descente sur rampe

- Mise en place du propulseur du 2^e étage.
- Mise en place de l'inflamateur du 2^e étage.
- Vérifier que la ligne de mise à feu soit bien en court-circuit à l'aide d'un multimètre.
- Raccordement de la ligne de mise à feu du 2^e étage au système de sécurité.

- Fermeture du système de séparation des deux étages.
- Mise en place du propulseur du 1^{er} étage.
- Levée de la rampe.
- Vérifier que la modulation fonctionne.
- Mise en place de la canne d'allumage du 1^{er} étage.
- Mise en œuvre de la fusée.
- Raccordement de la ligne de mise à feu du 1^{er} étage au système de sécurité.
- Mise à feu.

2.4. L'électronique

2.4.1. Générale

Pour une question pratique, nous allons concevoir les systèmes électroniques de façon indépendante afin de garantir un maximum de fiabilité.

Chaque partie aura une alimentation dédiée.

Il y aura trois principaux circuits électroniques qui seront :

- l'expérience qui regroupe toute la chaîne de mesure, depuis le capteur jusqu'à l'émetteur.
- la sécurité : c'est le système qui va gérer les différents cas de panne, séparation des étages, ouverture du ou des parachutes et autoriser ou non l'allumage du second moteur. Cette partie sera effectuée en porte logique pour une plus grande fiabilité.
- L'électronique d'ouverture du para 1 : il y aura un système pour gérer l'ouverture du parachute en cas de séparation non autorisée, dans le cas où le signal d'ouverture envoyé par l'électronique de sécurité n'est pas reçu. Il comportera une minuterie pour permettre au parachute de s'ouvrir au bout de quelques secondes après l'allumage du second moteur afin d'éviter que le parachute ne prenne feu.

La fusée est autonome une fois mise en fonctionnement, il y aura une prise jack pour garder l'inflamateur en court-circuit le temps que la fusée est en rampe, le déclenchement de l'électronique et la détection du décollage se fera par une série de capteurs d'accélération.

2.4.2. L'électronique de l'expérience

Il s'agit pour nous de restituer l'ambiance vibratoire et acoustique de la coiffe et de la comparer avec la source de perturbations que constitue le moteur (nous considérerons le moteur du 2^e étage). Deux types de capteurs sont possibles, accéléromètre ou capteur de vibrations. Dans le 1^{er} cas, la composante continue est prise en compte tandis que le capteur de vibrations n'est sensible qu'aux variations d'accélération et dispose donc d'une plus grande sensibilité. Deux capteurs de même type seront donc nécessaires dans la coiffe et autant au niveau du moteur. Ils devront être solidaires de la structure. Nous nous attendons à retrouver des perturbations de la propulsion mais aussi de l'aérodynamique, l'intérêt étant de pouvoir les quantifier l'une et l'autre et déterminer de qui – propulsion ou aérodynamique – est dimensionnant.

Nous souhaitons également développer un instrument de mesure de pression type Pitot afin de corréliser la vitesse calculée par ce biais à la vitesse calculée par intégration de l'accélération. Pour cela, nous avons besoin de 2 capteurs de pression absolue et d'un capteur de température (température totale) dont les mesures nous permettront de connaître avec une grande précision (si la mesure l'est également) le mach et la vitesse de vol.

2.4.3. Électronique de sécurité

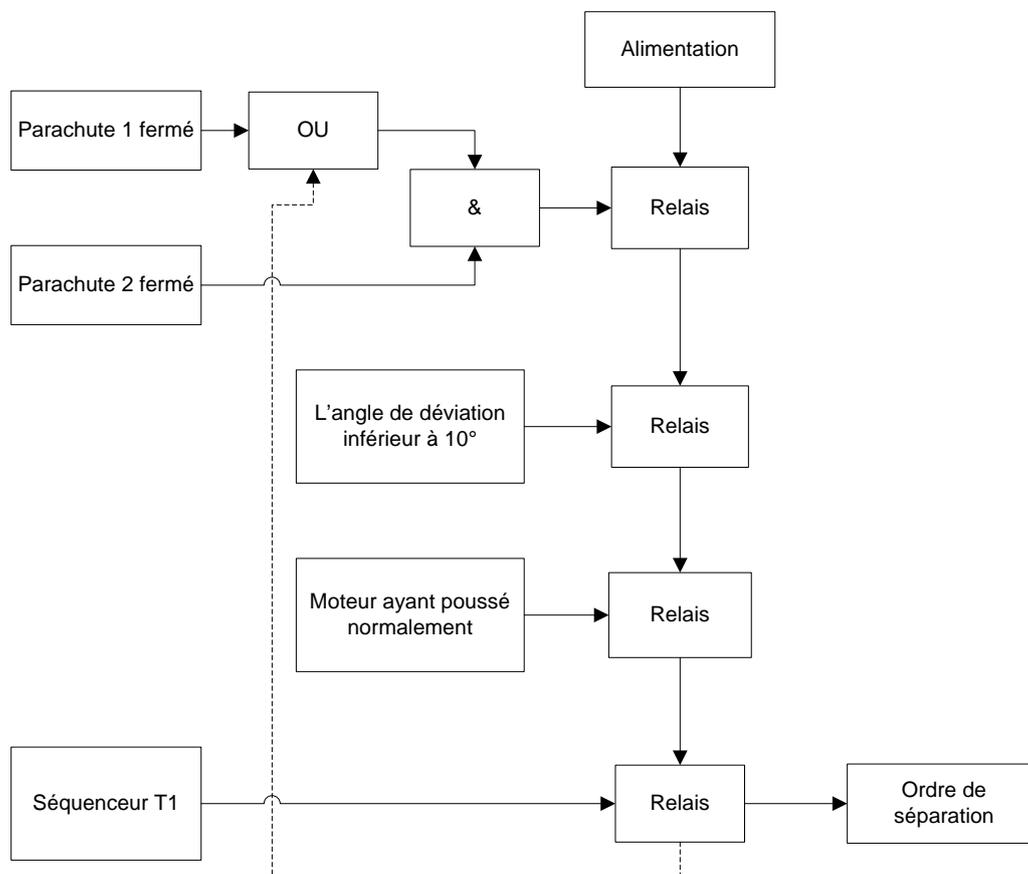
Pour le moment nous nous orientons sur ce type d'architecture d'électronique pour le système de sécurité.

Nous allons marquer les conditions à remplir avec le schéma électronique et chronogramme correspondant.

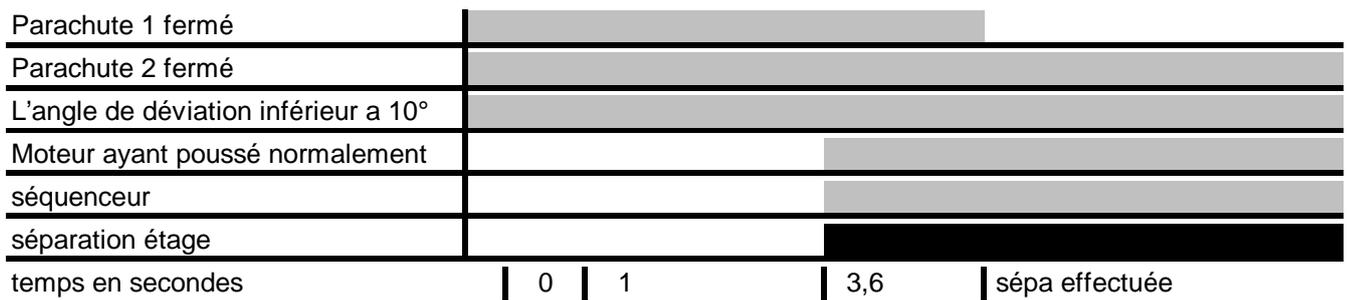
Note : pour tous les relais, leur position au repos est celle où le courant ne passe pas.

Séparation des étages :

- pour autoriser la séparation des étages il faut s'assurer :
 - o que les parachutes 1 et 2 soient bien fermés : on laisse passer le courant tant que la case parachute est fermée.
 - o temps de poussée du moteur 1 : une fois le temps de poussée validé, on laisse passer le courant qui va rester bloqué.
 - o vérifier que le moteur est poussé correctement : on laisse passer le courant une fois qu'on a vérifié que le moteur est poussé correctement et reste bloqué.
 - o un changement de l'angle entre l'axe longitudinal de la fusée et l'axe de la rampe doit être inférieur à 10° : on laisse passer le courant tant que l'angle n'est pas dépassé.
- schéma électronique pour la séparation des étages



- chronogramme pour la séparation des étages



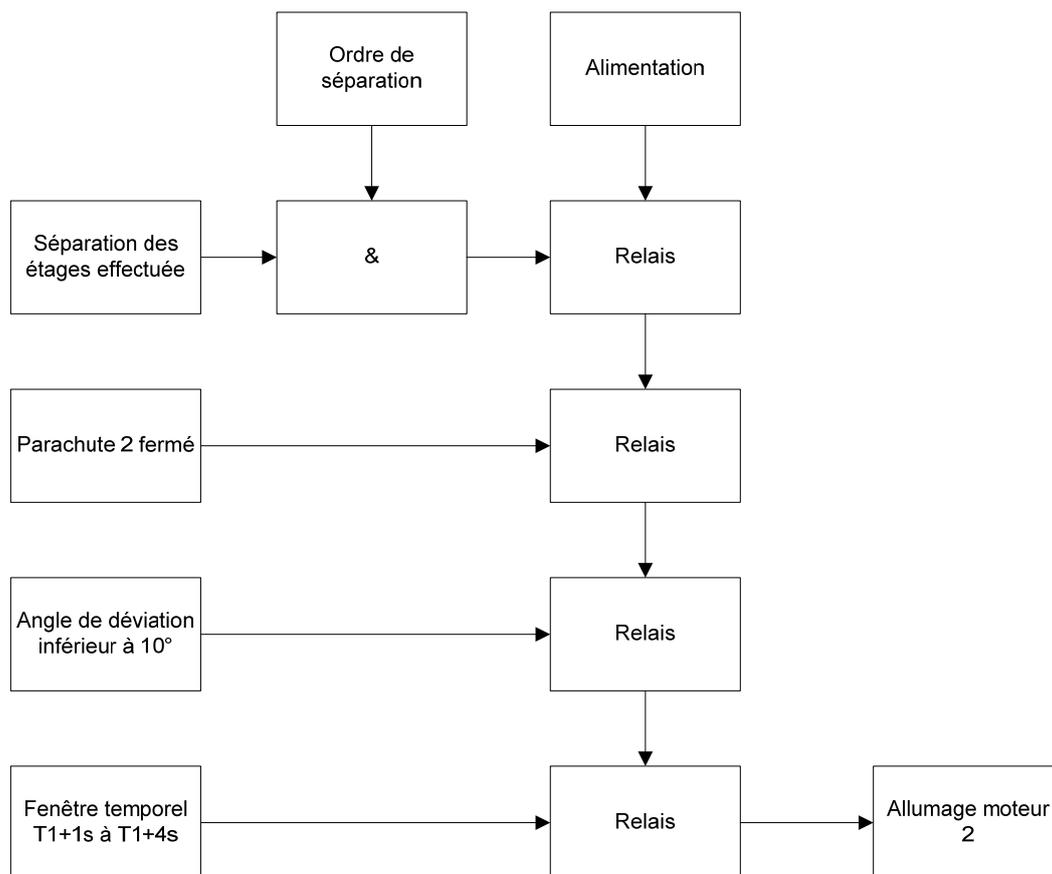
Allumage du 2^e moteur :

- pour autoriser l'allumage du moteur 2 il faut s'assurer :
 - o d'avoir reçu l'ordre de la séparation des étages : on laisse passer le courant une fois l'ordre donné.
 - o une bonne séparation des étages: on laisse passer le courant une fois l'ordre donné.
 - o un changement de l'angle entre l'axe longitudinal de la fusée et l'axe de la rampe doit être inférieur à 10° : on ne laisse pas passer le courant une fois que l'angle est dépassé et une fois que l'angle est dépassé on ne peut pas refaire passer le courant sans réinitialiser l'électronique.
 - o un fenêtrage temporel de T1+1s à T1+5s
(Temps de poussée du moteur 1+1s à temps de poussée du moteur 1+5secondes) : on laisse passer le courant dans la fenêtre temporel
 - o s'assurer que le parachute 2 soit bien fermé : on laisse passer le courant tant que la case parachute est fermée.

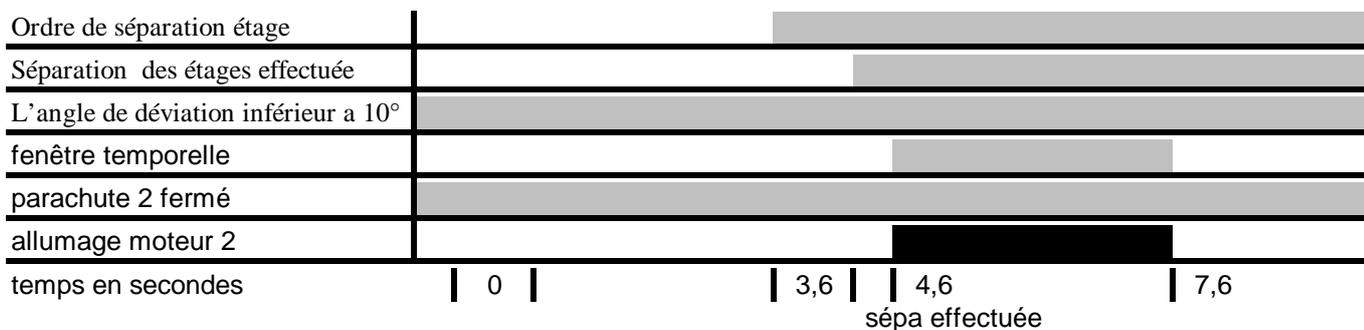
Les temps de la fenêtre temporel sont choisis de la façon suivante :

- o T1+1s : nous préférons laisser 1s de plus pour permettre un certain délai pour la séparation des étages.
 - o T1+4s : pour une raison de sécurité nous préférons ne pas laisser un délai trop long sur la possibilité d'allumage du moteur 2, mais on lui laisse 3s pour être sûr d'avoir un allumage correct.
- (/!\ Le fenêtrage temporel n'est pas encore définitif /!\)

- schéma électronique pour l'allumage du 2^e moteur



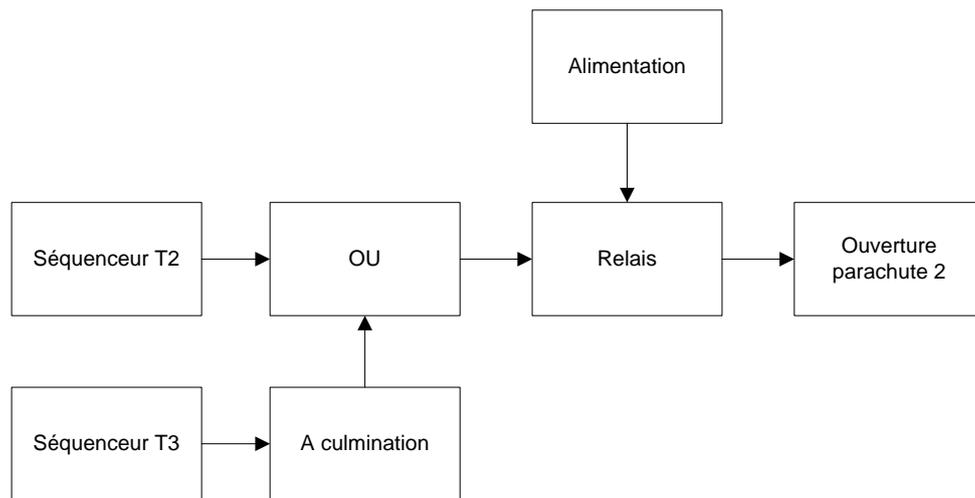
- chronogramme pour l'allumage du 2^e moteur



Ouverture parachute 2 :

- pour l'ouverture du parachute 2 :
 - o la minuterie 1 laisse passer le courant à T3= temps de poussé du moteur 1 + 4s
 - o la minuterie 2 laisse passer le courant à T2= temps de culmination + 5s
 - o à culmination : on laisse passer le courant une fois la culmination atteinte

- schéma électronique pour l'ouverture parachute 2



Ouverture parachute 1 :

- pour l'ouverture du parachute 1 il faut :
 - o que la séparation des étages se soit effectuée : on laisse passer le courant à partir de la séparation.
 - o que la minuterie se soit déclenchée lors de la séparation des étages, $T4 = 2s$ à $8s$: on laisse passer le courant après le délai T.

- schéma électronique pour l'ouverture parachute 1

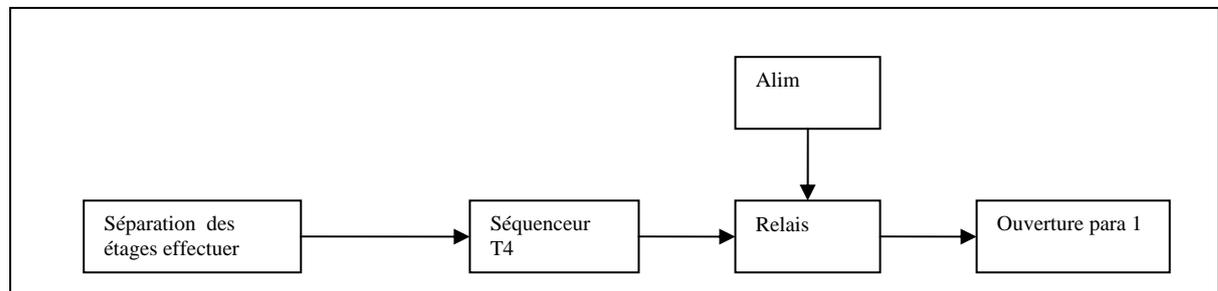
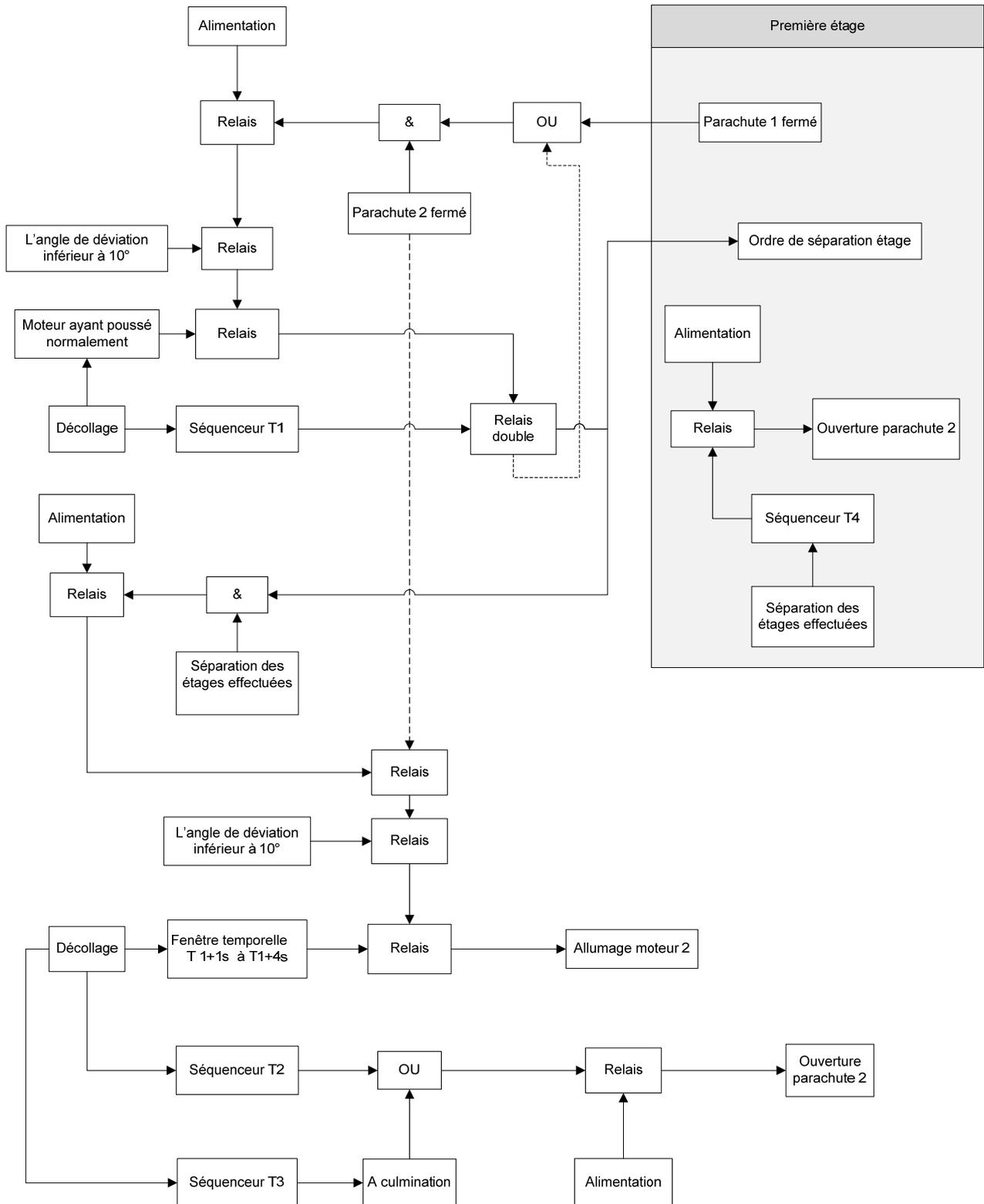


Schéma électronique complet du système de sécurité :



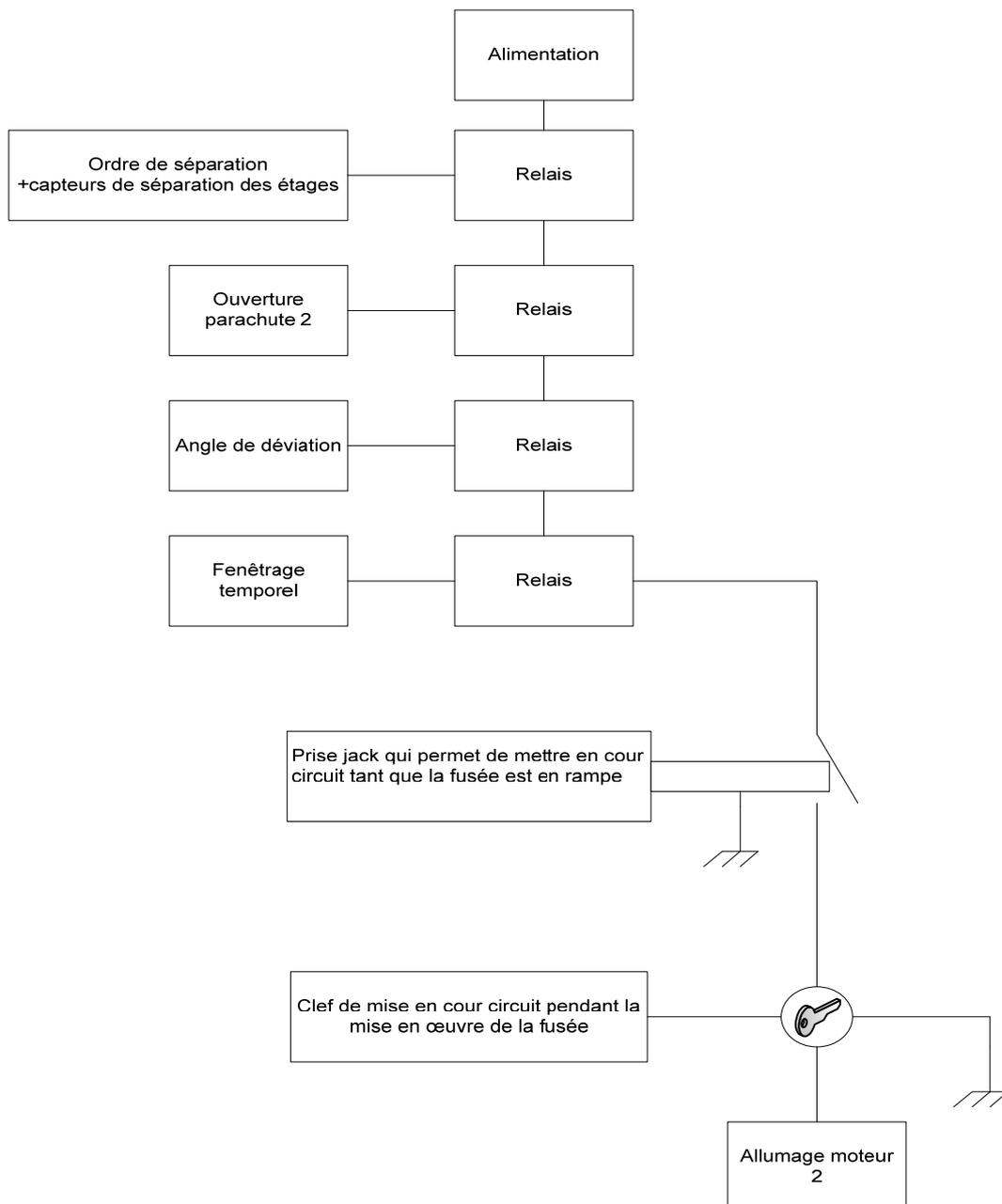
2.5. Raccordement de la ligne de mise à feu du 2^e moteur :

Sur la ligne de mise à feu, on trouvera différents systèmes pour pouvoir mettre l'inflamateur en court-circuit lors de son branchement à la carte d'électronique de sécurité.

- Il y aura une clef pour pouvoir verrouiller en court-circuit (seul le pyrotechnicien aura la clef).
- Un jack qui permettra de mettre l'inflamateur en court-circuit, il sera retiré au décollage de la fusée.
- Un point de mesure pour s'assurer qu'il n'y a pas de courant sur la ligne de mise à feu lors du branchement de l'inflamateur.

Note : Quand les relais sont au repos, ils relient la ligne de mise à feu à la masse.

Schéma électronique de la ligne de mise à feu moteur 2 :



3. Étude de sécurité

Nous allons étudier les différents risques, incidents et accidents qui pourraient survenir durant la mise en œuvre de la fusée et lors du vol de la fusée, ainsi que lors de la récupération dans le cas où le moteur 2 n'aurait pas été allumé.

Pour l'étude de sécurité nous effectuerons d'abord différentes analyses des divers cas de pannes et étudierons leurs conséquences pour trouver le meilleur moyen de les résoudre.

Pour cela nous allons faire une analyse par phase dans le cas d'une simple panne puis en double panne, et une analyse par bloc ; déterminer tous les cas de vol possibles avec une dégradation de la fusée (pannes en série) par phase de vol, mettre en place les différentes procédures requises à la mise en œuvre de cette fusée bi-étage. Une fois ces étapes d'analyses achevées, nous pourrons commencer à faire l'étude de la mécanique et de l'électronique de sécurité pour répondre parfaitement aux contraintes de sécurité.

3.1. Analyse par phase

Nous allons effectuer tout d'abord une analyse par phase en considérant les cas de pannes qui peuvent se produire sur les différents éléments.

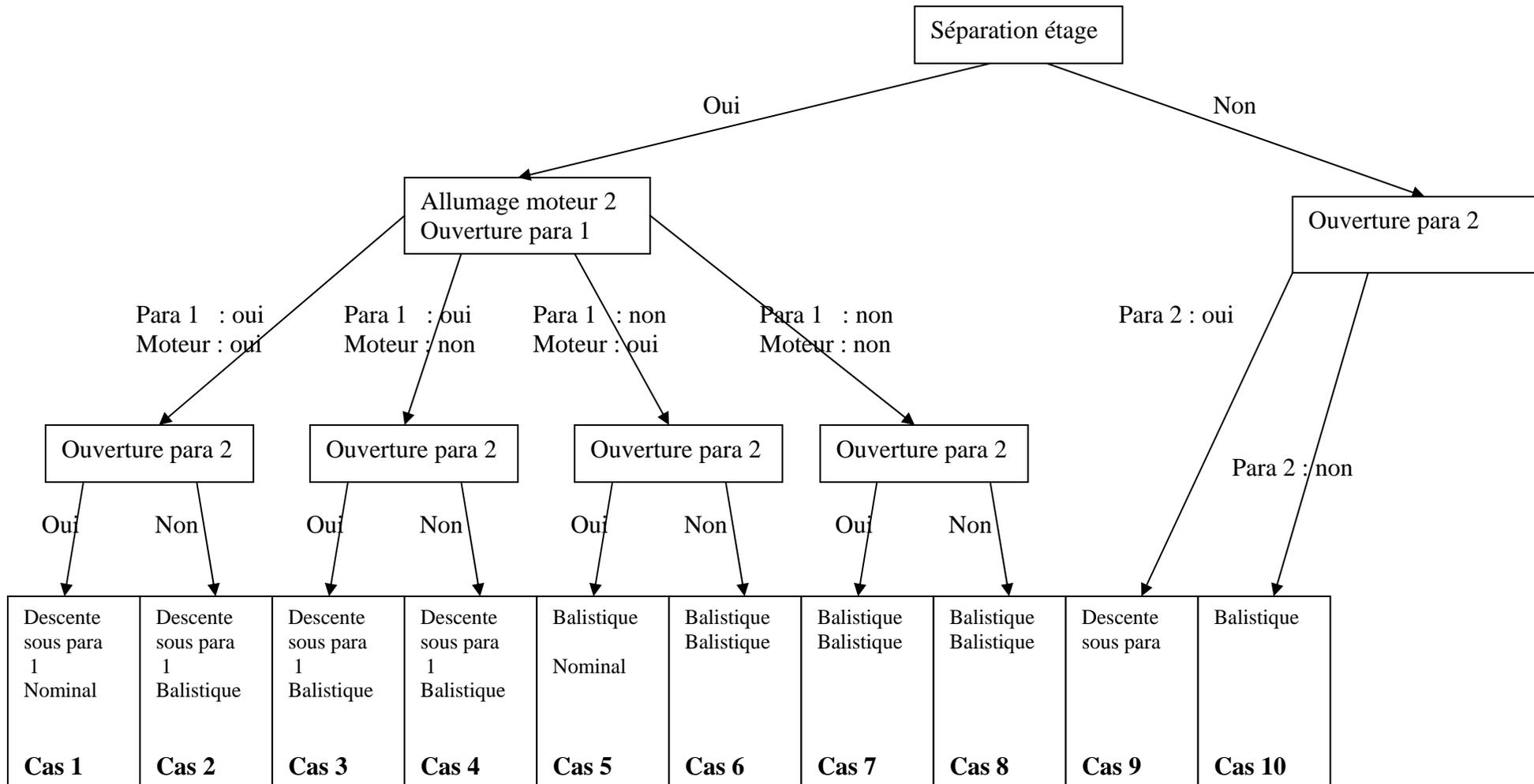
Les différentes phases de vol pour le lancement d'une fusée bi-étage :

- Descente sur rampe
- Mise en place du propulseur du 2^e étage
- Mise en place de l'inflamateur du 2^e étage
- Raccordement de la ligne de mise à feu du 2^e étage au système de sécu
- Fermeture du système de séparation des deux étages
- Mise en place du propulseur du 1^e étage
- Levé de la rampe
- Mise en place de la canne d'allumage du 1^e étage
- Mise en œuvre de la fusée
- Raccordement de la ligne de mise à feu du 1^e étage au système de sécu
- Mise à feu
- Sortie de rampe
- Vol de la fusée

Schémas des différents cas de vol possibles prenant en compte l'ouverture des parachutes 1 et 2, la séparation des étages, et la mise à feu du 2^e moteur.

Nous considérons 4 résultats différents pour le vol de la fusée :

- le nominal: nous considérons que le cas nominal correspond au vol où nous avons l'allumage du second moteur en tout sécurité et le 2^e étage qui redescend avec son parachute.
- balistique : nous considérons comme balistique les cas où la fusée n'a pas ouvert son parachute, ce qui entraîne une perte de la fusée et/ou le non allumage du 2^e moteur en toute sécurité.



3.1.2. Liste des cas de pannes simples

Mise en place du propulseur du 2^e étage

- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure

Mise en place de la canne d'allumage du 2^e étage

- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure

Raccordement de la ligne de mis à feu du 2^e étage au système de sécurité

- mise à feu intempestive du moteur 2
- mauvais branchement
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure

Fermeture du système de séparation des deux étages

- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure
- mauvaise fermeture inter-étage
- débranchement ou sectionnement du fil de l'inflamateur du 2^e moteur

Mise en place du propulseur du 1^e étage

- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure
- séparation des étages intempestive

Mise en rampe et levé de la rampe

- mise à feu intempestive du moteur 1
- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure
- séparation des étages intempestive

Mise en place de la canne d'allumage du 1^e étage

- mise à feu intempestive du moteur 1
- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure
- séparation des étages intempestive

Mise en œuvre de la fusée

- mise à feu intempestive du moteur 1
- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- endommagement de la structure
- séparation des étages intempestive
- oubli de basculement d'un ou plusieurs interrupteurs

Raccordement de la ligne de mise à feu du 1^e étage

- mise à feu intempestive du moteur 1

Du décollage à la sortie de rampe :

- incident moteur 1
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- séparation des étages intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- mise à feu intempestive du moteur 2

Sortie de rampe jusqu'à la fin de pousse du moteur 1 :

- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- séparation des étages intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent
- mise à feu intempestive du moteur 2

De la fin de poussée du moteur 1 jusqu'à la séparation des étages :

- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- séparation des étages intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent
- mise à feu intempestive du moteur 2

Séparation des étages jusqu'à l'allumage du 2^e moteur

- pas de séparation
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent
- mise à feu intempestive du moteur 2

Descente sous parachute du 1^e étage :

- pas d'ouverture du parachute du 1^e étage
- arrachage du parachute du 1^e étage
- rafale de vent qui ramènera le 1^e étage en zone publique

Allumage du 2^e moteur jusqu'à la fin de poussée du 2^e moteur :

- incident moteur 2
- ouverture parachute 2 intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent

Fin de poussée du 2^e moteur jusqu'à culmination avec l'allumage du moteur 2 :

- ouverture prématurée para 2
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent

Descente sous le parachute du 2^e étage :

- pas d'ouverture du parachute du 2^e étage
- arrachage du parachute du 2^e étage
- rafale de vent qui ramènera le 2^e étage en zone publique

Non allumage moteur 2 jusqu'à la culmination sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 2 intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent

Descente sous le parachute du 2^e étage sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2
- rafale de vent qui ramènera le 2^e étage en zone publique
- pas d'ouverture du parachute du 2^e étage
- arrachage du parachute du 2^e étage

Non séparation jusqu'à la culmination sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2
- ouverture parachute 1 intempestive
- ouverture parachute 2 intempestive
- perte d'éléments mécaniques
- rafale de vent
- séparation des étages intempestive

Balistique du 2^e étage sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2

Descente de la fusée (1^e et 2^e étages) sous le parachute 2 sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2
- rafale de vent qui ramènera le 2^e étage en zone publique
- séparation des étages intempestive
- arrachage du parachute du 2^e étage

Balistique de la fusée (1^e et 2^e étages) sans allumage du moteur 2

- mise à feu intempestive du moteur 2
- séparation des étages intempestive

Etude de sécurité du Projet F01-0607



Récupération de la fusée en nominal avec le moteur 2 armé

- mise à feu intempestive du moteur 2

Récupération de la fusée en balistique avec le moteur 2 armé

- mise à feu intempestive du moteur 2

3.1.3. Conséquences des différents cas de pannes et leurs résolutions

Nous traiterons uniquement des cas de pannes qui peuvent survenir après la descente en zone rampe. Tout les incidents qui pourraient survenir avant la descente en zone de rampe sont considérés comme sans importance, de même, ne sont pas pris en compte les erreurs de mise en œuvre de la fusée (une chronologie sera mise en œuvre en fonction de la fusée et de l'étude de sécurité).

Mise en place du propulseur du 2^e étage

Cas de panne : **ouverture para 2 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **endommagement de la structure**

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention en manœuvrant la fusée ou ses morceaux

Mise en place de la canne d'allumage du 2^e étage

Cas de panne : **endommagement de la structure**

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : **ouverture para 2 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommager

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Raccordement de la ligne de mise à feu du 2^e étage au système de sécu

Cas de panne : mise à feu du moteur 2 intempestive

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens
- perte du 2^e étage

Solution :

- vérifier que le connecteur soit bien en court-circuit à l'aide d'un multimètre avant branchement
- assurer un connecteur en court-circuit lorsque la fusée est inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : mauvais branchement

Cause :

- erreur humaine
- mauvais contact sur le bornier

Conséquence :

- risque de court-circuit
- non allumage du 2^e moteur au moment prévu

Solution :

- assurer un branchement fiable et sûr

Cas de panne : ouverture para 2 intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : endommagement de la structure

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Fermeture du système de séparation des deux étages

Cas de panne : **mise à feu du moteur 2 intempestive**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens
- perte du 2^e étage

Solution :

- assurer un connecteur en court-circuit lorsque la fusée est inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : **ouverture para 1 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **ouverture para 2 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommager

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **endommagement de la structure**

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : **mauvaise fermeture inter-étage**

Cause :

- déformation des pièces
- mauvaise mise en place des goupilles

Conséquence :

- risque de destruction au lancement de la fusée
- risque de séparation prématurée
- risque d'induire le système de sécurité en erreur sur l'état de la fusée

Solution :

- prévoir un système visuel pour s'assurer de la bonne attache des étages
- système simple à mettre en œuvre (2 personnes max)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (pas de jeu possible entre les différentes pièces mécaniques)

Cas de panne : débranchement ou sectionnement du fil de l'inflamateur du 2^e moteur

Cause :

- manque d'attention lors de l'assemblage et de la fermeture du système de séparation

Conséquence :

- non allumage du moteur 2 au moment approuvé par le système de sécu
- risque de mise à feu intempestive du moteur 2

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (pas de jeu possible entre les différentes pièces mécaniques, place prévu pour faire passer les fils de l'inflamateur)
- essais sur table à la réception des pièces

Mise en place du propulseur du 1^e étage

Cas de panne : mise à feu du moteur 2 intempestive

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens
- perte du 2^e étage

Solution :

- assurer un connecteur en court-circuit lorsque la fusée est inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : ouverture para 1 intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : ouverture para 2 intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : endommagement de la structure

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : séparation des étages intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur
- peut être dangereux pour les pyrotechniciens (faire une erreur avec le 1^{er} moteur)

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)
- prévoir une sécurité pour éviter ce type d'incident

Mise en rampe et levé de la rampe

Cas de panne : mise à feu du moteur 2 intempestive

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens
- perte du 2^e étage

Solution :

- assure un connecteur en court-circuit lorsque la fusée est inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : ouverture para 1 intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture

- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : ouverture para 2 intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : endommagement de la structure

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : séparation des étages intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur
- peut être dangereux pour les pyrotechniciens (faire une erreur avec le 1^{er} moteur)

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)
- prévoir une sécurité pour éviter ce type d'incident

Mise en place de la canne d'allumage du 1^e étage

Cas de panne : mise à feu du moteur 2 intempestive

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens

- perte du 2^e étage

Solution :

- assure un connecteur en court-circuit lorsque la fusée et inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : **ouverture para 1 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **ouverture para 2 intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **endommagement de la structure**

Cause :

- cogner la fusée
- la faire tomber

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : **séparation des étages intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur
- peut être dangereux pour le pyrotechnicien (faire une erreur avec le 1^{er} moteur)

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)
- prévoir une sécurité pour éviter ce type d'incident

Cas de panne : **mise à feu du moteur 1 intempestive**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens

Solution :

Mise en œuvre de la fusée

Cas de panne : mise à feu du moteur 1 intempestive

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens et membre du club

Solution :

Cas de panne : mise à feu du moteur 2 intempestive

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- mise en danger des pyrotechniciens
- perte du 2^e étage

Solution :

- assurer un connecteur en court-circuit lorsque la fusée est inerte ou que l'ordre d'allumage n'a pas été donné

Cas de panne : ouverture para 1 intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : ouverture para 2 intempestive

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **endommagement de la structure**

Cause :

- cogner la fusée

Conséquence :

- annulation ou report du lancement

Solution :

- faire attention quand on manœuvre la fusée ou ses morceaux

Cas de panne : **séparation des étages intempestive**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- peut entraîner un endommagement de la structure ou du moteur
- peut être dangereux pour le pyrotechnicien (faire une erreur avec le 1^{er} moteur)

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)
- prévoir une sécurité pour éviter ce type d'incident

Cas de panne : **oubli de basculement d'un ou plusieurs interrupteur(s)**

Cause :

- erreur sur la chronologie
- erreur humaine

Conséquence :

- non allumage de certains systèmes électriques

Solution :

- suivre à la lettre la chronologie

Raccordement de la ligne de mis à feu du 1^{er} étage

Cas de panne : **mise à feu du moteur 1 intempestive**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- indépendant de notre volonté

Solution :

Du décollage à la sortie de rampe :

Cas de panne : incident moteur 1

Cause :

- explosion moteur
- non feu moteur

Conséquence :

- risque de destruction du 1^e étage, risque d'explosion du 2^e moteur
- risque que les capteurs d'accélération captent une accélération et mettent en marche le reste de l'électronique

Solution :

- vérifier l'intégrale de poussée pour vérifier le bon fonctionnement du moteur
- procédure CNES

Cas de panne : ouverture para 1 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- risque de déstabiliser la fusée
- arrachage du parachute du 1 étage
- force la séparation ou la détériore

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (reprise des efforts sur le système de séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 2
- dimensionner le parachute 2 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : ouverture para 2 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et de descente sous parachute 1
- dimensionner le parachute 1 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : séparation des étages prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- perte du 2^e étage
- perte de stabilité du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Cas de panne : perte d'éléments mécaniques

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : mise à feu du moteur 2 prématurée

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera court-circuitée pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécu
- Vérifier si moteur 2 est allumé grâce à un capteur de température.

Sortie de rampe jusqu'à la fin de poussée du moteur 1 :

Cas de panne : ouverture para 1 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- risque de déstabiliser la fusée
- arrachage du parachute du 1^e étage
- force la séparation ou la détériore

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (reprise des efforts sur le système de séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 2
- dimensionner le parachute 2 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : ouverture para 2 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture

- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 1
- dimensionner le parachute 1 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : séparation des étages prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- perte du 2^e étage
- perte de stabilité du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Cas de panne : perte d'éléments mécaniques

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : rafale de vent

Conséquence :

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Cas de panne : mise à feu du 2^e moteur prématurée

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécu

De la fin de poussée du moteur 1 jusqu'à la séparation des étages :

Cas de panne : ouverture para 1 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- risque de déstabiliser la fusée
- arrachage du parachute du 1 étage
- force la séparation ou la détériore

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (reprise des efforts sur le système de séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 2
- dimensionner le parachute 2 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : ouverture para 2 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 1
- dimensionner le parachute 1 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : séparation défectueuse

Cause :

- Panne moteur
- Pièce cassée
- Pièce qui grippe

Conséquence :

- impossibilité d'allumer le second moteur

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Cas de panne : perte d'éléments mécaniques

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : rafale de vent

Conséquence :

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Cas de panne : mise à feu du 2^e moteur prématurée

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité

Séparation des étages jusqu'à l'allumage du 2^e moteur (sans l'allumage)

Cas de panne : pas de séparation

Cause :

- Panne moteur
- Pièce cassée
- Pièce qui grippe

Conséquence :

- Pas d'allumage possible du 2^e moteur

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Cas de panne : ouverture para 1 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture

- porte endommagée

Conséquence :

- risque de déstabiliser la fusée
- arrachage du parachute du 1^e étage
- force la séparation ou la détériore

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (reprise des efforts sur le système de séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 2
- dimensionner le parachute 2 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : ouverture para 2 prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner (haut coef de sécurité) les éléments mécaniques (le parachute, dimensions du système d'ouverture de la séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 1
- dimensionner le parachute 1 pour assurer une vitesse acceptable
- inhiber l'allumage

Cas de panne : perte d'éléments mécaniques

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : rafale de vent

Conséquence : cas catastrophe, indépendant de notre système

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- vérifier la trajectoire pour autoriser l'allumage du 2^e moteur

Cas de panne : mise à feu du 2^e moteur prématurée

Cause :

- ordre d'allumage intempestif

- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité

Descente sous parachute du 1^e étage :

Cas de panne : pas d'ouverture de la case parachute du 1^e étage

Cause :

- Panne moteur
- Casse d'éléments mécaniques qui empêche l'ouverture

Conséquence :

- Perte du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : arrachage du parachute du 1^e étage

Cause :

- Casse d'éléments mécaniques
- Sangle sectionnée

Conséquence :

- Perte du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : rafale de vent qui ramènera le 1^e étage en zone publique

Conséquence :

- Risque d'atterrissage du 1^e étage en zone publique
- Risque d'atterrissage du 1^e étage en dehors du gabarit

Solution :

- Indépendant de notre volonté
- Assurer une vitesse de descente plus forte que pour le 2^e étage pour limiter l'influence du vent

Allumage du 2^e moteur jusqu'à la fin de poussée du 2^e moteur :

Cas de panne : incident moteur 2

Cause :

- Explosion moteur
- Non feu moteur

Conséquence :

Solution :

- mise en place des procédures CNES
- risque de destruction du 2^e étage

Cas de panne : **ouverture du para 2 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **perte d'éléments mécaniques**

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : **rafale de vent**

Conséquence : cas catastrophe, indépendant de notre système

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Fin de poussée du 2^e moteur jusqu'à la culmination avec l'allumage du moteur 2 :

Cas de panne : **ouverture du para 2 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : perte d'éléments mécaniques

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : rafale de vent

Conséquence :

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Descente sous parachute du 2^e étage :

Cas de panne : pas d'ouverture du parachute du 2^e étage

Cause :

- Panne moteur
- Casse d'éléments mécaniques empêche l'ouverture

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : arrachage du parachute du 2^e étage

Cause :

- Casse d'éléments mécaniques
- Sangle sectionnée

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : rafale de vent qui ramènera le 2^e étage en zone publique

Conséquence :

- Risque d'atterrissage du 2^e étage en zone publique
- Risque d'atterrissage du 2^e étage en dehors du gabarit

Solution :

- Indépendant de notre volonté

- Dimensionner le parachute de telle sorte que la fusée ne puisse parcourir sous parachute plus que sa portée balistique.

Non allumage moteur 2 jusqu'à la culmination sans allumage du moteur 2

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécu
- Fenêtrage temporelle pour autoriser l'allumage du moteur

Cas de panne : **ouverture para 2 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **perte d'éléments mécaniques**

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : **rafale de vent**

Conséquence : cas catastrophe, indépendant de notre système

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Non séparation jusqu'à culmination sans allumage moteur 2

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur

Cas de panne : **ouverture para 1 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- risque de déstabiliser la fusée
- arrachage du parachute du 1^e étage
- force la séparation ou la détériore

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- bien dimensionner les éléments mécaniques (reprise des efforts sur le système de séparation)
- vol en mode dégradé : pas de séparation et descente sous parachute 2
- dimensionner le parachute 2 pour assurer une vitesse acceptable

Cas de panne : **ouverture para 2 prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- porte endommagée

Conséquence :

- déstabilise la fusée et perte de la trajectoire de la fusée
- arrachage du parachute du 2^e étage
- force la séparation ou la détériore
- perte de la fusée

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la séparation)

Cas de panne : **perte d'éléments mécaniques**

Cause :

- choc sur la fusée
- défaut de conception

Conséquence :

- perte de stabilité
- perte de trajectoire

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques

Cas de panne : **rafale de vent**

Conséquence :

- perte de stabilité
- changement de direction

Solution :

- rien à faire

Cas de panne : **séparation des étages prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- perte du 2^e étage
- perte de stabilité du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Descente sous parachute du 2^e étage sans allumage moteur 2

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur

Cas de panne : **rafale de vent qui ramènera le 2^e étage en zone publique**

Conséquence :

- Risque d'atterrissage du 2^e étage en zone publique

- Risque d'atterrissage du 2^e étage en dehors du gabarit

Solution :

- Indépendant de notre volonté
- Dimensionner le parachute de telle sorte que la fusée ne puisse parcourir sous parachute plus que sa portée balistique.

Cas de panne : pas d'ouverture du parachute du 2^e étage

Cause :

- Panne moteur
- Casse d'éléments mécaniques empêche l'ouverture

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : arrachage du parachute du 2^e étage

Cause :

- Casse d'éléments mécaniques
- Sangle sectionnée

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Balistique du 2^e étage sans allumage moteur 2

Cas de panne : mise à feu du 2^e moteur prématurée

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur

Descente de la fusée (1^e et 2^e étage) sous parachute 2 sans allumage moteur 2

Cas de panne : mise à feu du 2^e moteur prématurée

Cause :

- ordre d'allumage intempestif

- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur

Cas de panne : rafale de vent qui ramènera la fusée en zone public

Conséquence :

- Risque d'atterrissage du 2^e étage en zone publique
- Risque d'atterrissage du 2^e étage en dehors du gabarit

Solution :

- Indépendant de notre volonté
- Dimensionner le parachute de telle sorte que la fusée ne puisse parcourir sous parachute plus que sa portée balistique.

Cas de panne : séparation des étages prématurée

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- perte du 2^e étage
- perte de stabilité du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Cas de panne : arrachage du parachute du 2^e étage

Cause :

- Casse d'éléments mécaniques
- Sangle sectionnée

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)

Cas de panne : pas d'ouverture du parachute du 2^e étage

Cause :

- Panne moteur
- Casse d'éléments mécaniques empêche l'ouverture

Conséquence :

- Perte du 2^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (le parachute, dimension du système d'ouverture de la trappe)
- ordonne ouverture du parachute 1

Balistique de la fusée (1^e et 2^e étage) sans allumage moteur 2

Cas de panne : **mise à feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur

Cas de panne : **séparation des étages prématurée**

Cause :

- mauvaise fermeture
- ordre intempestif d'ouverture
- rupture d'éléments mécaniques

Conséquence :

- perte du 2^e étage
- perte de stabilité du 1^e étage

Solution :

- bien dimensionner les éléments mécaniques (système de séparation, fiabilité du système de séparation)

Récupération de la fusée en nominal sans allumage moteur 2

Cas de panne : **mise a feu du 2^e moteur prématurée**

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.

- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur
- Indique au PC l'état du moteur

Récupération de la fusée en balistique sans allumage moteur 2

Cas de panne : mise à feu du 2^e moteur prématurée

Cause :

- ordre d'allumage intempestif
- court-circuit

Conséquence :

- risque d'explosion du moteur 2 si pas de séparation des étages (sortie de moteur obstruée)
- perte de la trajectoire des 2 étages
- Perte de la fusée

Solution :

- La ligne de mise à feu sera mise en court-circuit pendant toute la phase de vol sauf au moment de sa mise à feu prévue et autorisée par l'électronique de sécurité.
- Fenêtrage temporel pour autoriser l'allumage du moteur
- Indique au PC l'état du moteur

3.1.4. Résumé des solutions techniques apportées par l'étude des simples pannes:

Mécanique :

- bien dimensionner les éléments mécaniques
 - du système de récupération
 - le parachute et sa fixation
 - du système d'ouverture de la trappe
 - fiabilité des systèmes d'ouvertures
 - système de séparation des étages
 - reprise des efforts de la structure sur le système de séparation
 - fiabilité des systèmes de séparation
 - s'assurer que les deux étages s'écartent l'un de l'autre sans changement de trajectoire
 - s'assurer que les fils pour les signaux des capteurs de séparation ne gênent pas le bon déroulement de la séparation
 - prévoir système pour bloquer le ressort en position comprimée pour une séparation en douceur en cas de désamorçage
 - corps de la fusée
 - bon dimensionnement les éléments de la fusée, ailerons, ...
 - attache moteur
 - s'assurer du système de fixation du moteur 1
 - s'assurer du système de fixation du moteur 2 pour éviter qu'il tombe lors de la séparation des étages
- Stabilité de la fusée
 - Assurer une bonne stabilité dynamique
 - Fusée avec les deux étages assemblés
 - 2^e étage seul

Electronique sécurité :

- Mettre en place un système fiable pour garder la ligne de mise à feu du moteur 2 en court-circuit sauf au moment de l'allumage
- Mise en place d'un système de communication inter-étage qui ne risque pas de se bloquer lors de la séparation des étages (prise jack, contacteur électrique,...)
- Rapidité et fiabilité du système de sécurité
- Choisir les capteurs et s'assurer que l'ensemble du système de sécurité puisse supporter le vol sans risquer de perturber les données ou se désintégrer à cause de l'accélération.

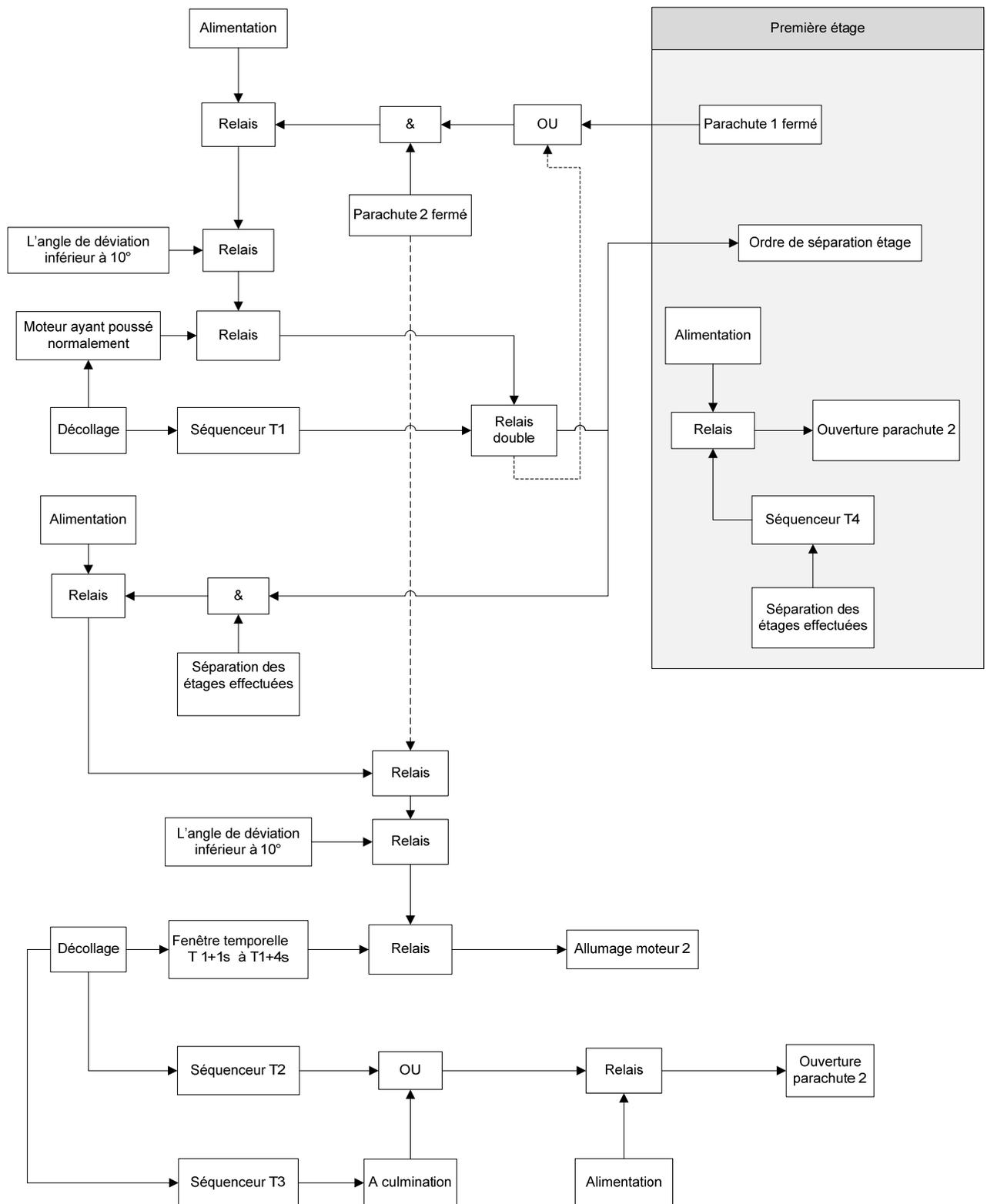
Chronologie :

- vérifier la bonne fermeture du système de séparation
- vérifier la bonne fermeture des parachutes 1 et 2
- vérifier à l'aide d'un voltmètre la mise en court-circuit de l'inflamateur
- vérifier la mise en œuvre de la fusée
- vérifier le branchement de l'inflamateur

Pour le moment nous n'avons apporté aucune modification au schéma électronique de sécurité.

Schéma électronique de sécurité toujours en vigueur, (explication page 9 à 12)

Schéma électronique complet du système de sécurité :



3.1.5. Étude des doubles pannes

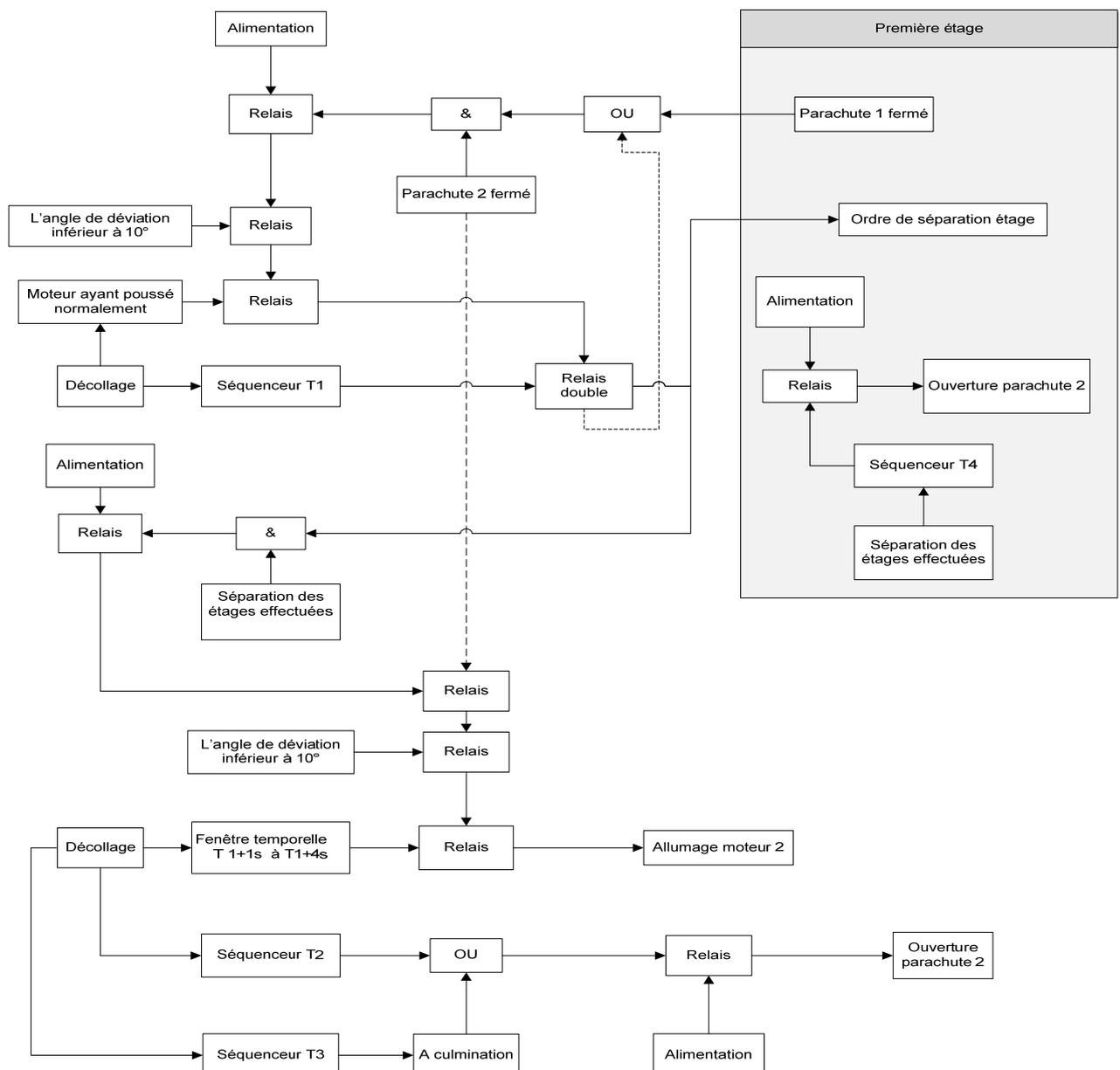
Voir fichier Excel « bipannephaseevolV6.xls »

3.1.6. Résumé des solutions techniques apportées par l'étude des doubles pannes:

Électronique :

Pour le moment l'électronique de sécurité répond aux différents cas de doubles pannes, donc aucune modification ne sera apportée au schéma électronique.

- Vérifier et fiabiliser la ligne de mise a feu moteur 2
- Le temps T4 devra avoir un délai supérieur a 3,6 secondes, pour empêcher une ouverture du parachute 1 pendant la poussée du moteur 1



Mécanique :

- les parachutes 1 et 2 doivent pouvoir supporter une ouverture à la vitesse max
- système de séparation :
 - avoir un système de séparation fiable et bien dimensionner les goupilles
 - s'assurer qu'il n'y est pas de risques de sectionner le fil de l'inflamateur du moteur 2
 - le système de séparation doit être capable de supporter l'allumage du moteur 2 en étant fermé

Chronologie :

- Vérifier au différentes étapes de mise en œuvre la bonne fermeture des parachutes 1 et 2
- Vérifier la bonne fermeture du système de séparation
- Graisser ou huiler les parties en contact avec le système de séparation

Nouvelle chronologie :

R15

- Plier et ranger les parachutes 1 et 2
- Changer les batteries ou vérifier quelle soient chargées
- Rassembler les outils utiles pour rassembler la fusée

Tente club

- Vérifier que la modulation fonctionne
- Vérifier qu'il n'y a pas de disfonctionnement sur l'élec de sécu
- Vérifier la bonne fermeture des parachutes

Descente sur rampe

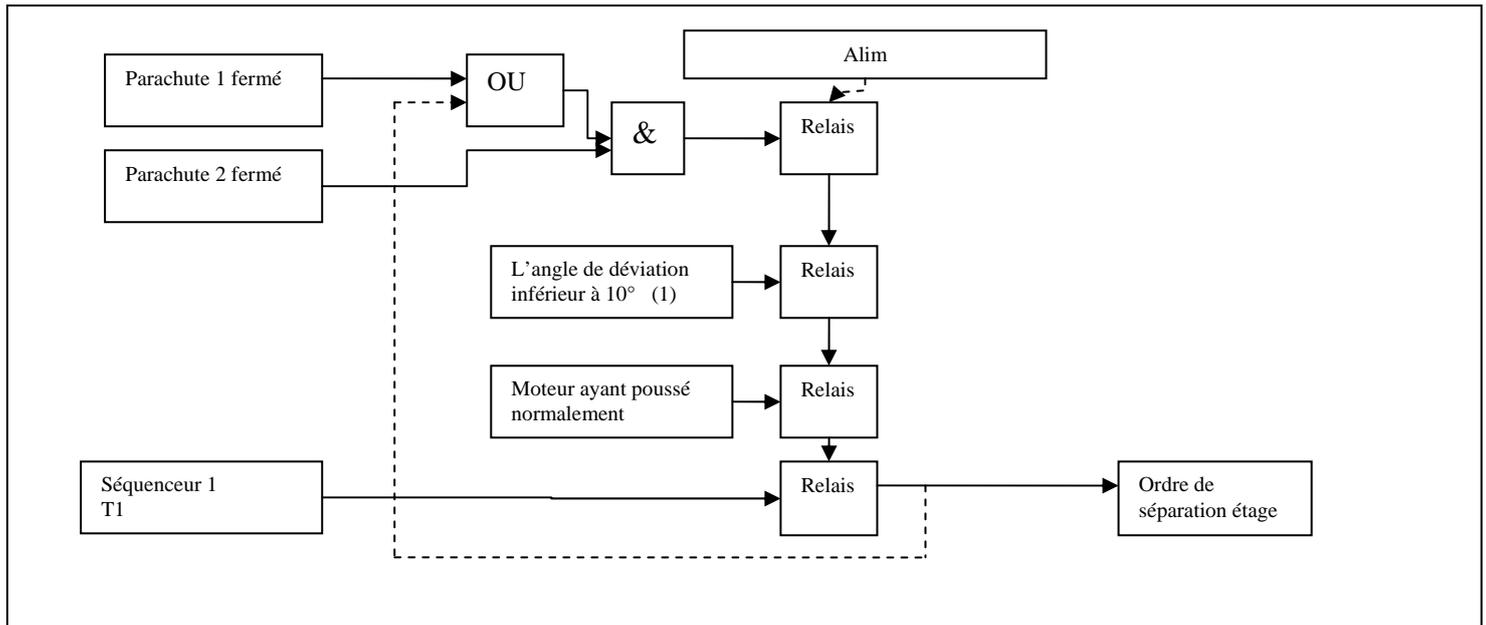
- Mise en place du propulseur du 2^e étage
- Mise en place de l'inflamateur du 2^e étage
- Vérifier la bonne fermeture du parachute 2
- Vérifier que la ligne de mise à feu soit bien en court-circuit à l'aide d'un multimètre
- Raccordement de la ligne de mise à feu du 2^e étage au système de sécu
- Graisser ou huiler les parties du système de séparation
- Fermeture du système de séparation des deux étages
- Vérifier la bonne fermeture du parachute 1 et 2
- Vérifier la bonne fermeture du système de séparation
- Mise en place du propulseur du 1^e étage
- Levée de la rampe
- Vérifier que la modulation fonctionne
- Mise en place de la canne d'allumage du 1^e étage
- Mise en œuvre de la fusée
- Vérifier la bonne fermeture du parachute 1 et 2
- Vérifier la bonne fermeture du système de séparation
- raccordement de la ligne de mise à feu du 1^e étage au système de sécu
- Mise à feu

3.2. Étude par bloc

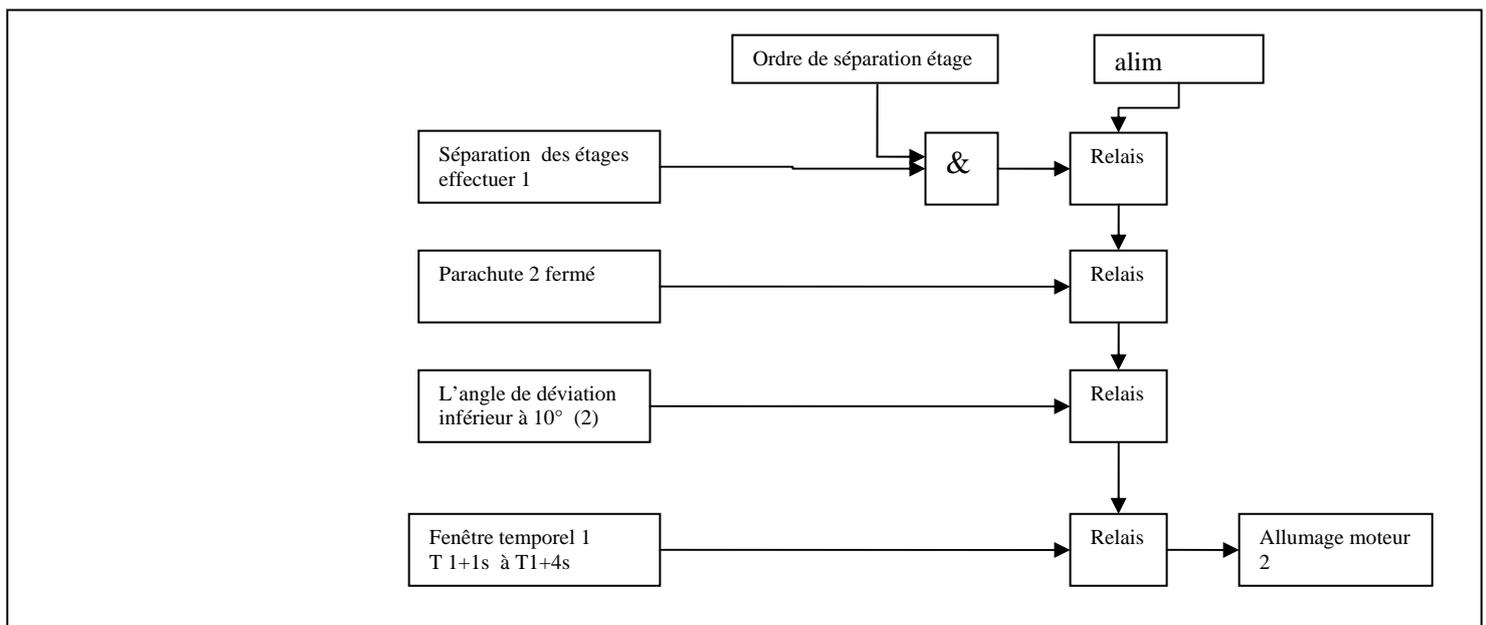
Pour cette étude nous allons commencer de bas en haut, nous considérerons tous les éléments mécaniques et électroniques de la fusée bi-étage.

Pour cette étude nous allons numéroter les séquenceurs ainsi que les éléments en double.

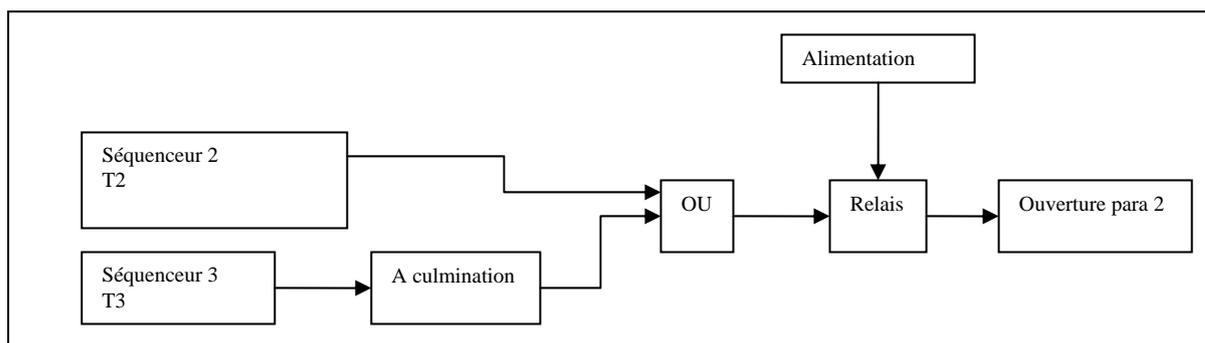
- schéma électronique pour la séparation des étages



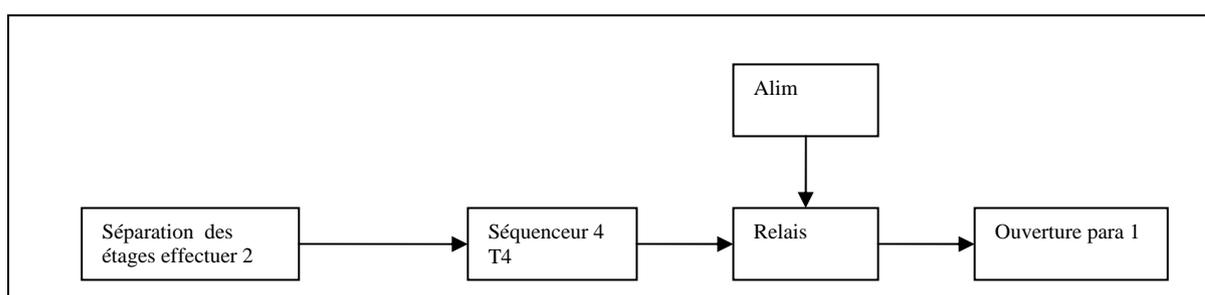
- schéma électronique pour l'allumage du 2^e moteur



- schéma électronique pour l'ouverture parachute 2



- schéma électronique pour l'ouverture parachute 1



3.2.1. Étude des cas de pannes simples

élément	Panne possible	conséquence	Cas résolu ?	solution
<u>Mécanique :</u>				
Moteur 1	Explosion	Ejection d'élément	Oui	Protocole CNES
	Long feu	Atterrissage propu armé	Oui	Protocole CNES
	Non feu	Pas de poussée	Oui	Protocole CNES
Aileron 1 composite	arrachage	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Pièce de jonction	Perte d'intégrité	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Attache moteur 1	Perte d'intégrité	Retomber du moteur en fin de pousse sans para	Oui	Dimensionnement
Parachute 1	Torche	Descente très rapide	Oui	Dimensionnement
	Arrachage	Balistique	Oui	Dimensionnement
	Bloqué à intérieur	Balistique	Oui	Dimensionnement
Porte para 1	arrachage	Ouverture para 1	Oui	Soigner la conception
	Pas	Balistique	Oui	Dimensionnement

	d'ouverture			
Structure étage 1	Perte d'intégrité	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Séparation des étages	Non séparation	Descente sous para 2	Oui	Dimensionnement
	Perte d'intégrité	Séparation des étages intempestifs	Oui	Dimensionnement
	Mauvaise séparation	Risque de déstabiliser la fusée	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Interdiction d'allume moteur 2 • Dimensionnement
Moteur 2	Explosion	Ejection d'élément	Oui	Protocole CNES
	Long feu	Atterrissage propu arme	Oui	Protocole CNES
	Non feu	Pas de poussée	Oui	Protocole CNES
Attache moteur 2	Perte d'intégrité	Retombée du moteur en fin de poussée ou a la séparation sans para	Oui	Dimensionnement
Aileron 2	arrachage	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Parachute 2	Torche	Descente très rapide	Oui	Dimensionnement
	Arrachage	Balistique	Oui	Dimensionnement
	Bloque à intérieur	Balistique	Oui	Dimensionnement
Composite	Perte d'intégrité	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Pièce de jonction	Perte d'intégrité	Perte d'intégrité	Oui	Dimensionnement
Attache carte elec sécu	Carte qui se promène	Court-circuit	Oui	Dimensionnement
Porte para 2	arrachage	Ouverture para 1	Oui	Soigner la conception
	Pas d'ouverture	Balistique	Oui	Dimensionnement
<u>Electronique :</u>				
Séparation des étages effectuer 2	Défaillance	Mauvaise info sur la séparation des étages	Oui	Plusieurs capteurs en série
Séquenceur 4	Déclenchement intempestif	Pas possible	Oui	Pas alimente avant la séparation des étages
	Pas de déclenchement	Non ouverture parachute 1	Oui	Avoir une minuterie fiable
Ventouse magnétique	Défaillance	Ouverture para 1	Oui	Dimensionnement
Séquenceur 2	Déclenchement intempestif	Ouverture parachute2	Oui	Avoir une minuterie fiable
	Pas de	Pas de sécu sur	Oui	Pas de conséquence en

	déclenchement	l'ouverture du parachute 2		simple panne par bloc
Séquenceur 3	Déclenchement intempestif	Risque d'ouverture du parachute 2 si la fusée s'incline trop tôt	Oui	Avoir une minuterie fiable
	Pas de déclenchement	Pas de déclenchement de l'inclinaison de la fusée	Oui	Séquenceur 3 ouvrira le parachute 2
A culmination	Déclenchement intempestif	Pas possible		Pas alimente
	Pas de déclenchement	Pas d'ouverture parachute2 a culmination	Oui	Séquenceur 2 ouvrira le parachute 2
Ventouse magnétique	Défaillance	Ouverture para 2	Oui	Dimensionnement
Fenêtre temporel 1	Déclenchement intempestif	Risque d'allumage intempestif en dehors de la fenêtre	Oui	Avoir un fenêtrage fiable
	Pas de déclenchement	Pas d'allumage moteur 2 possible	Oui	Avoir un fenêtrage fiable
L'angle de déviation inférieur à 10° (2)	Déclenchement intempestif	Risque d'allumage moteur 2 pas dans le bon axe	Oui	Deux systèmes pour vérifier l'inclinaison
	Pas de déclenchement	Pas d'allumage moteur 2 possible	Oui	Avoir un système fiable
Parachute 2 fermé	Info erronée	Ouverture para 2	Oui	Pas de séparation, donc pas d'allumage moteur 2
Séparation des étages effectuer 1	Défaillance	Mauvaise info sur la séparation des étages	Oui	Plusieurs capteurs en série
Inflamateur moteur 2	Défaillance	Pas d'allumage	Oui	Qualité CNES
Séquenceur 1 T1	Déclenchement intempestif	Déclenchement prématuré de la séparation des étages	Oui	Avoir une minuterie fiable
	Pas de déclenchement	Pas de séparation des étages	Oui	Avoir une minuterie fiable
Moteur ayant poussé normalement	Déclenchement intempestif	Risque d'effectuer la séparation des étages	Oui	Avoir un système fiable
	Pas de déclenchement	Pas de séparation des étages	Oui	Avoir un système fiable
L'angle de déviation inférieur à 10° (1)	Déclenchement intempestif	Déclenchement prématuré de la séparation des étages	Oui	Avoir un système fiable
	Pas de déclenchement	Pas de séparation possible	Oui	Avoir un système fiable

Parachute 1 fermé	Info erronée	Ouverture para 1	Oui	Pas de séparation, donc pas d'allumage moteur 2
Câble de transmissions des données inter étage	Reste attachée	Risque de déstabiliser le 2° étage	Oui	Voir Cas 1 ci dessous
	Casse	Perte d'info sur l'état du 1° étage Perte d'info sur l'ordre de séparation des étages	Oui	Dimensionnement
Electronique sécu	Carte elec qui grille	électronique HS	Oui	Prévoir une alimentation fiable et différent système de surtension
Cerveau moteur	Défaillance	Non ouverture para 2	Oui	Dimensionnement

- cas 1 : après séparation des étage le câble de transmissions de données inter étage reste attaché aux deux étages.

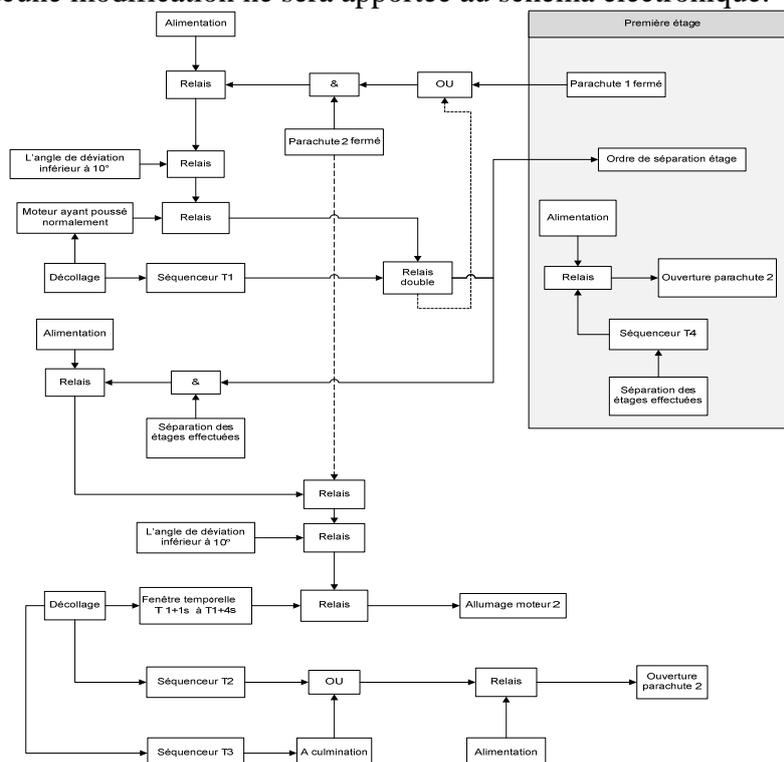
Conséquence : Ceci peut entraîner un risque de déstabilisation du 2° étage, risque d'autant plus grand si le second moteur s'allume

Solution : la transmission de donnée s'effectuera au travers d'un contacteur

3.2.2. Résumé des solutions techniques apportées par l'étude des doubles pannes:

Électronique :

Pour le moment l'électronique de sécurité répond aux différents cas de doubles pannes, donc aucune modification ne sera apportée au schéma électronique.



3.2.3. Etude des cas de doubles pannes

Voir fichier excel « bipanneparblocv2.xls »

3.2.4. Résumé des solutions techniques apportées

4. Architecture électronique finale

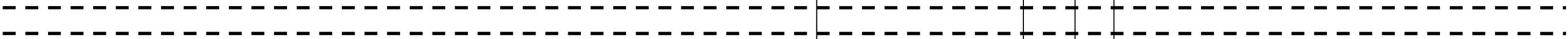
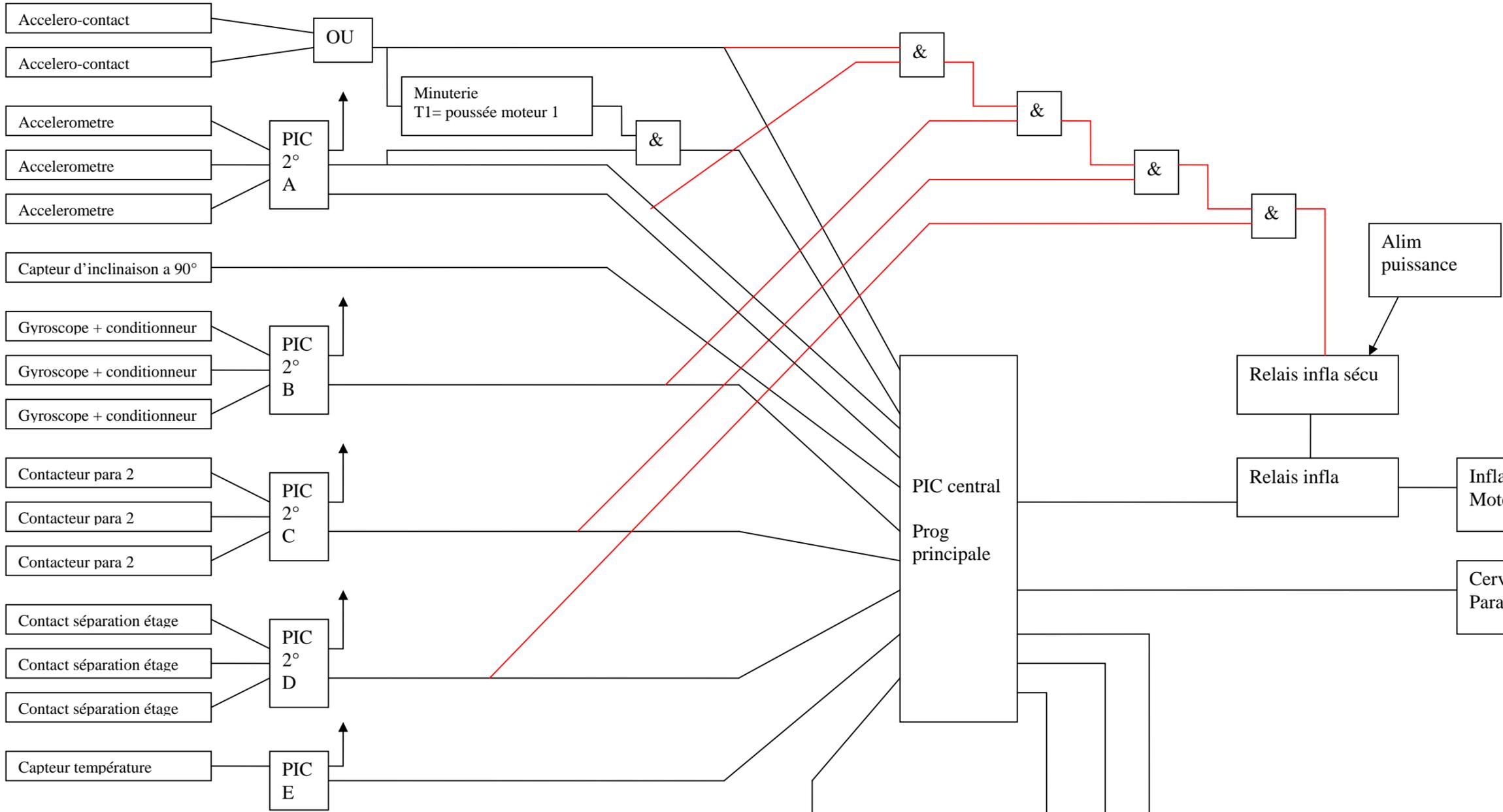
4.1. Architecture générale de l'électronique

4.2. Capteurs indispensables à la sécurité

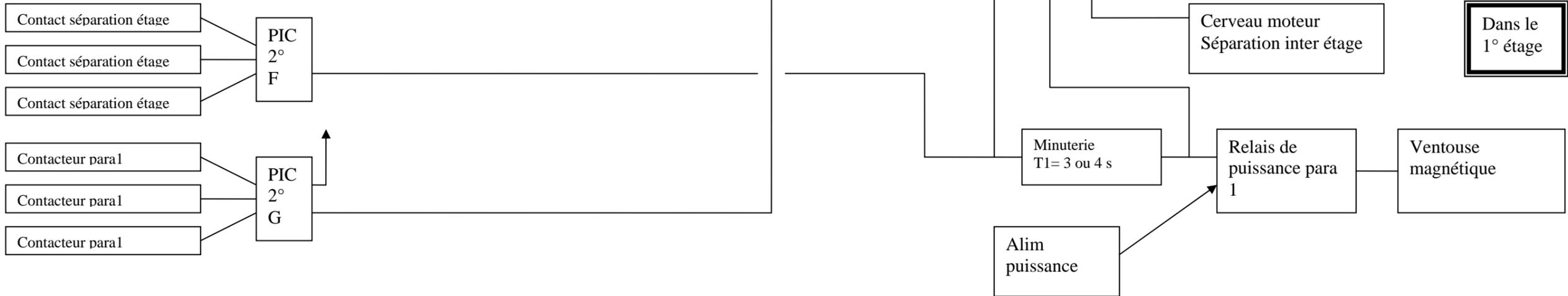
4.3. Actionneurs et conditions initiales

5. Système mécanique final

Dans le 2° étage



Dans le 1° étage



AEROIPSA

**PRESENTATION DU
FONCTIONNEMENT
ET DES CARACTERISTIQUES DU
SYSTEME DE SEPARATION**

Président de l'association Aéroipsa :
Guillaume Jourdan

Equipe Structure :
Thomas Boutard, Guillaume Gilbert, Mickael Leroux, Jean-Charles Saint-Marc

1. Vue générale du système

Ce document est une présentation du fonctionnement du système de séparation de la fusée de l'association Aéroipsa. Cette brève présentation reprend les grandes lignes de conception de ce système et n'est pas exhaustif.

La figure ci-dessus présente les principaux éléments constituant le système de séparation :

- Partie du système de séparation lié au second étage (partie bleue)
- Partie du système de séparation lié au premier étage (partie orange)
- Pions de maintien des ressorts
- Mécanisme de verrouillage et déverrouillage des deux parties du système de séparation

Les ressorts ne sont pas représentés, leur position est décrite plus loin.

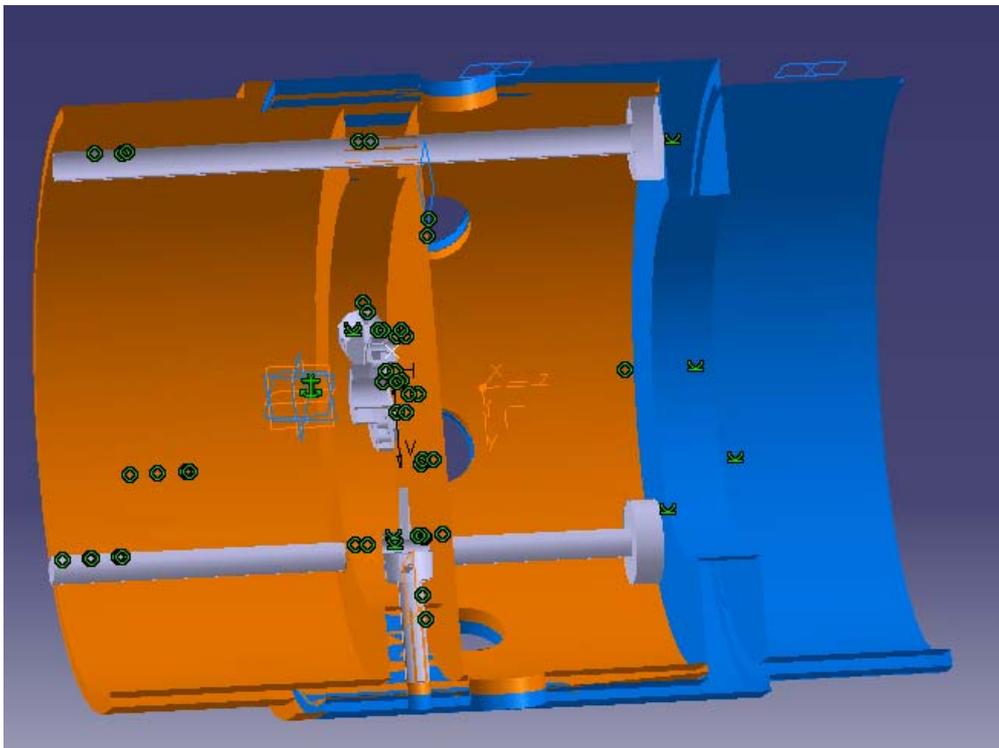


Figure 1: Vue en coupe de l'assemblage permettant la séparation

2. Ouvertures d'échappement

Ouverture d'échappement en cas d'allumage moteur avant la fin de la séparation des deux étages. La somme des surfaces de ces ouvertures est égale à la surface de la sortie moteur.

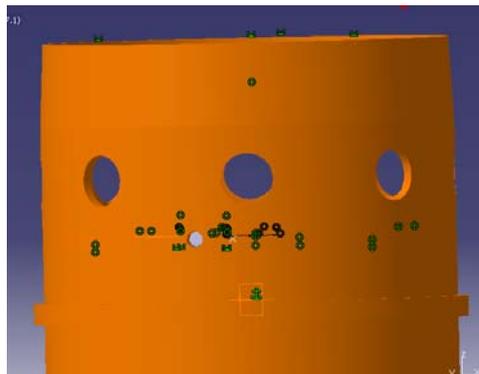


Figure 2: Vue des ouvertures d'échappement

Le calcul de la surface de ces ouvertures est détaillé dans le tableau suivant :

Calcul de la surface d'éjection des gaz		
Diamètre d'éjection moteur	35	mm
Surface d'éjection moteur	962,11275	mm ²
Nombre de trous	8	
Surface par trou	120,264094	mm ²
Diamètre d'un trou	12,3743687	mm

3. Ressorts d'éjection

Ils sont au nombre de trois. Ceci pour répartir les efforts et empêcher une éjection dissymétrique du deuxième étage. Les axes de ces ressorts sont confondus avec les axes des pions.

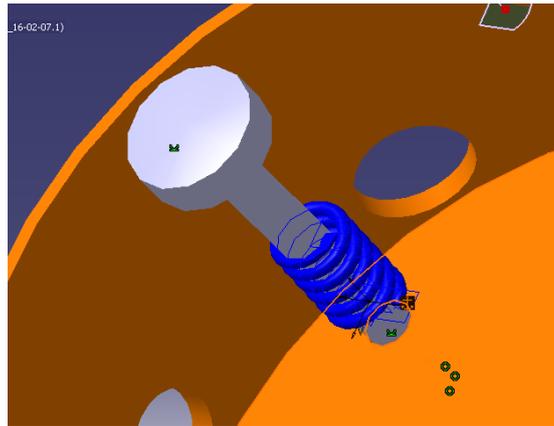


Figure 3: Vue de l'assemblage du ressort d'éjection et du pion de maintient

Les caractéristiques des ressorts de poussée ont été définies de manière exhaustive. Ils sont présentés dans le tableau suivant :

Dimensionnement des ressorts		
Nombre de ressort n	1	3
Raideur k (N/m)	53142,772	17714,257
Raideur k (N/mm)	53,142772	17,714257
$k = (2 \times M \times g \times Z) / (Lo - Lc)^2$		
Force F (N)	1594,2832	531,42772
$F = k \times (Lo - Lc)$		
Constantes:		
Pesanteur g (m/s ²)	9,815	
Données		
Masse à éjecter M (kg)	11	
Longueurs	mm	m
Hauteur à atteindre Z	221,5	0,2215
Longueur au repos Lo	64	0,064
Longueur comprimée Lc	34	0,034

4. Système de maintient des ressorts d'éjection

Ce système est constitué de trois pions et butées associées (non représentées). Ces pions fournissent la force nécessaire à la séparation du deuxième étage. C'est sur ces pions que s'exercent les forces des ressorts. Ces pions servent de guide aux ressorts pour empêcher les effets de flambement. Les ressorts sont comprimés lorsque le système de séparation est armé.

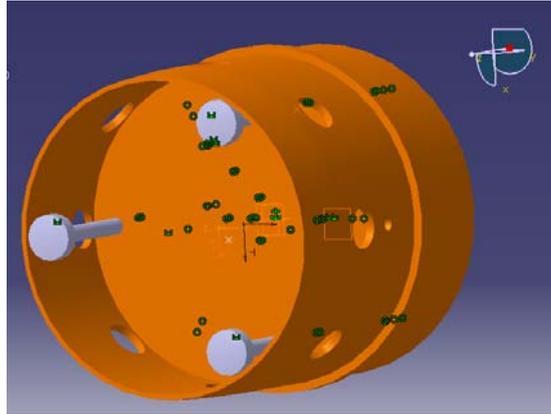


Figure 4 : Vue des pions de poussée insérés dans la partie de séparation du 1er étage

Ces pièces sont guidées par des ouvertures placées dans la partie de séparation du deuxième étage et elles restent attachées à cette partie après séparation pour empêcher les ressorts de se désolidariser de l'ensemble pour des raisons de sécurité.

Connaissant les efforts auxquels étaient soumis les pions d'éjection, nous avons effectué les calculs pour différents types de matériaux afin de déterminer lequel est le plus adapté:

Matériau	EN AW - 1050 [Al 99,5]	EN AB - 21 000 [Al Cu 4 Mg Ti]	EN AB - 43 000 [Al Si 10 Mg]	EN AB - 44 200 [Al Si 12]	EN AB - 51 300 [Al Mg 5]
Résistance a la rupture (Rm)	80	330	250	170	180
Résistance élastique (Re)	35	200	180	80	100
calcul de la contrainte admissible par les pions					
Coefficient de sécurité $3 < k < 4$	3,5				
Nombre de pions (n)	3				
Diamètre d'un pion (\varnothing_n)	5				
Section d'un pion (S_n) : $S_n = \frac{\pi}{4} \times \varnothing_n^2$	19,63495408				
Section équivalente (S) : $S = S_n \times n$	58,90486225				
Contrainte maximale admissible (F1) : $F1 = R_m \times S / k$	1346,3968 52	5553,887013	4207,490161	2861,09331	3029,39291
Contrainte maximale admissible (F2) : $F2 = R_e \times S$	2061,6701 79	11780,97245	10602,87521	4712,38898	5890,48622

Nous n'avons pas encore arrêté le choix du matériau pour des raisons de coût, de difficulté d'approvisionnement et de difficulté de fabrication

5. Système de verrouillage et déverrouillage du système de séparation

Le fonctionnement de ce mécanisme de séparation est le suivant : lors de la phase de séparation la servocommande entraine la pièce centrale dans un mouvement de rotation. Ce mouvement entraine trois bras liés à la pièce centrale. Ces bras entraînent une rétraction des goupilles vers l'intérieur ce qui provoque la désolidarisation des deux étages de la fusée.

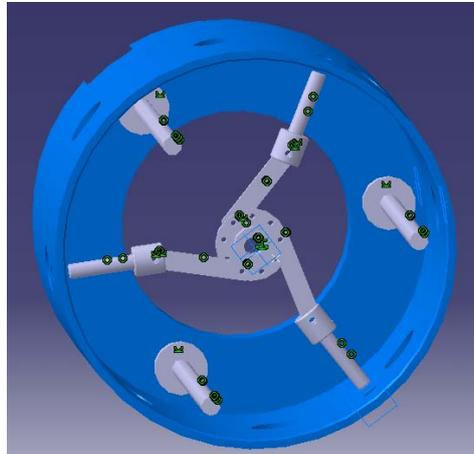


Figure 5: Vue du mécanisme de verrouillage/déverrouillage

Chaque goupille maintient en position verrouillée les deux étages en s'insérant dans deux trous (un pour chaque partie du système de séparation) percés en face l'un de l'autre.

Les goupilles sont guidées en translation, la fermeture ou l'ouverture du système est donc simple et se résume à placer les trous dans lesquels passent les goupilles en face l'un de l'autre et à actionner le mécanisme en commandant la servocommande.

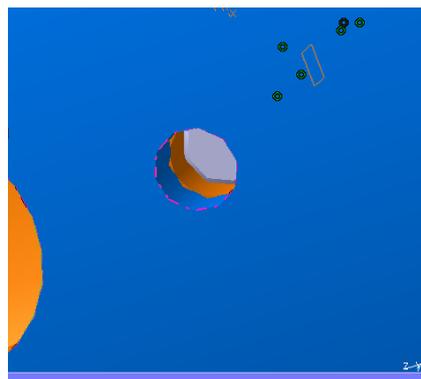


Figure 6: Vue des trous permettant le passage de la goupille de verrouillage

Le schéma ci-dessus présente une vue rapprochée des trous dans lesquels passe la goupille pour maintenir le verrouillage des deux parties du système de séparation. On retrouve les éléments suivants :

- En orange il s'agit de la partie du système de séparation liée au premier étage.

- En bleu il s'agit de la partie du système de séparation liée au deuxième étage.
- En gris l'extrémité de la goupille ici en position rétractée (donc système de séparation déverrouillé).

Le calcul du cisaillement sur les goupilles a été effectué et donne les résultats suivants :

Calcul du cisaillement pour les goupilles			
Effort tranchant	T	1594,283167	N
Matériau			
Coefficient de sécurité	s	1,5	
Resistance élastique du matériau choisi	Re	420	MPa
Module d'élasticité	E	2,10E+11	Pa
Coefficient de Poisson	v	0,33	
Qualité du matériau		Aciers mi-durs	
Resistance élastique au glissement	Reg	294	MPa
Resistance pratique au glissement $R_{pg} = Reg / s$	Rpg	196	MPa
Module de Coulomb $G = E / (1 + v)$	G	7,895E+10	Pa
Goupille			
Calcul du diamètre $d = \text{SQRT} ((4 \times T) / (\Pi \times R_{pg}))$	d	4	mm
Contrainte supportée $ \tau = T / (\Pi \times (d^2 / 4))$	τ	127	MPa
Nombre de goupilles	n	3	

6. Blocage du système de séparation en position armée lors du montage

Il s'effectue très simplement en plaçant un objet suffisamment résistant dans les ouvertures d'éjection des gaz moteur en cas d'allumage précoce.

	Moteur 1	Alleron 1	composite	pièce de jonction	attache moteur 1	Parachute 1	Porte para 1	structure étage 1	Séparation des étages	Moteur 2	Attache moteur 2	Alleron 2	Parachute 2	composite	pièce de jonction	Attache carte élec sécu	Porte para 2	Suppression des étages effectuer	Séquenceur 4	Ventouse magnétique (2)	Séquenceur 2	Séquenceur 3	A culmination	Ventouse magnétique (1)	Fenetrage temporel	Angle de déviation inférieur à 10° (2)	Parachute 2 fermé	Suppression des étages effectuer	Inflamateur moteur 2	Séquenceur 1	Moteur ayant poussé normalement	Angle de déviation inférieur à 10° (1)	Parachute 1 fermé	câble de transmissions des données inter étage	électronique de sécu	cerveau moteur		
	explosion long feu non feu	arrachage	perte d'intégrité	perte d'intégrité	perte d'intégrité	torche arrachage bloqué à l'intérieur	arrachage pas d'ouverture perte d'intégrité	non séparator perte d'intégrité mauvaise séparator	explosion non feu long feu	perte d'intégrité	arrachage	torche arrachage bloqué à l'intérieur	perte d'intégrité	perte d'intégrité	carte qui se promène	arrachage pas d'ouverture	défaillance	déclenchement intempestif pas de déclenchement	défaillance	déclenchement intempestif pas de déclenchement	défaillance	déclenchement intempestif pas de déclenchement	déclenchement intempestif pas de déclenchement	info erronée	défaillance	déclenchement intempestif pas de déclenchement	déclenchement intempestif pas de déclenchement	déclenchement intempestif pas de déclenchement	info erronée	reste attaché casse	carte elec qui grille	défaillance						
Moteur 1	explosion long feu non feu																																					
Alleron1		arrachage																																				
composite (1)			perte d'intégrité																																			
pièce de jonction (1)			perte d'intégrité																																			
attache moteur 1			perte d'intégrité																																			
Parachute 1						torche arrachage bloqué à l'intérieur																																
Porte para 1						arrachage pas d'ouverture																																
structure étage 1						perte d'intégrité																																
Séparation des étages						non séparator perte d'intégrité mauvaise séparator																																
Moteur 2						explosion non feu long feu																																
Attache moteur 2						perte d'intégrité																																
Alleron 2						arrachage																																
Parachute 2						torche arrachage bloqué à l'intérieur																																
composite (2)						perte d'intégrité																																
pièce de jonction (2)						perte d'intégrité																																
Attache carte élec sécu						carte qui se promène																																
Porte para 2						arrachage pas d'ouverture																																
Séparation des étages						défaillance																																
Séquenceur 4						déclenchement intempestif pas de déclenchement																																
Ventouse magnétique (2)						défaillance																																
Séquenceur 2						déclenchement intempestif pas de déclenchement																																
Séquenceur 3						déclenchement intempestif pas de déclenchement																																
A culmination						déclenchement intempestif pas de déclenchement																																
Ventouse magnétique (1)						défaillance																																
Fenetrage temporel						déclenchement intempestif pas de déclenchement																																
Angle de déviation inférieur à 10° (2)						déclenchement intempestif pas de déclenchement																																
Parachute 2 fermé						info erronée																																
Séparation des étages						défaillance																																
Inflamateur moteur 2						déclenchement intempestif pas de déclenchement																																
Séquenceur 1						déclenchement intempestif pas de déclenchement																																
Moteur ayant poussé normalement						déclenchement intempestif pas de déclenchement																																
Angle de déviation inférieur à 10° (1)						déclenchement intempestif pas de déclenchement																																
Parachute 1 fermé						info erronée																																
câble de transmissions des données inter étage						reste attaché casse																																
électronique de sécu						carte elec qui grille																																
cerveau moteur						défaillance																																

sans consequence
 resolue
 non resolue
 aberant


g ($m.s^{-2}$) 9,81
 ρ_0 ($g.L^{-1}$) 1,3
 C_x 1

M (kg) 15 *masse totale de la fusée*
 m_1 (kg) 5 *masse du premier étage*
 m_2 (kg) 10 *masse du deuxième étage*

V_{d1max} ($m.s^{-1}$) 20 *vitesse de descente de la fusée*
 V_{d2max} ($m.s^{-1}$) 15 *restée entière*
pour le premier étage
pour le second étage

V_{01} ($m.s^{-1}$) 200 *vitesse à l'ouverture du*
 V_{02} ($m.s^{-1}$) 300 *parachute*
pour le premier étage
pour le second étage

**calcul des dimensions du parachute
du premier étage**

S_1 (m^2) 0,56596154

a_1 (m) 0,33644065

s'il y a eu séparation $\rightarrow V_{d1}$?

V_{d1} ($m.s^{-1}$) 11,5470054

Calcul de la résistance nécessaire

F_1 (N) 14715

**calcul des dimensions du parachute du
second étage**

S_2 (m^2) 1,00615385

a_2 (m) 0,44858753

s'il y a eu séparation $\rightarrow V_{d2}$?

V_{d2} ($m.s^{-1}$) 12,2474487

Calcul de la résistance nécessaire

F_2 (N) 58860

D

C

B

A

4

4

3

3

2

2

1

1

0.2 × 45°

∅ 2 g6 (-0.002
-0.008)

8

Tolerance generales ISO 2768 - mK

Goupille

AEROIPSA

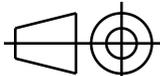
DESIGNED BY:
G.GILBERT

DATE:
26/03/2007

CHECKED BY:
XXX

DATE:
XXX

SIZE
A4



SCALE
10:1

WEIGHT (kg)
XXX

DRAWING NUMBER
06

Matiere
AU4G

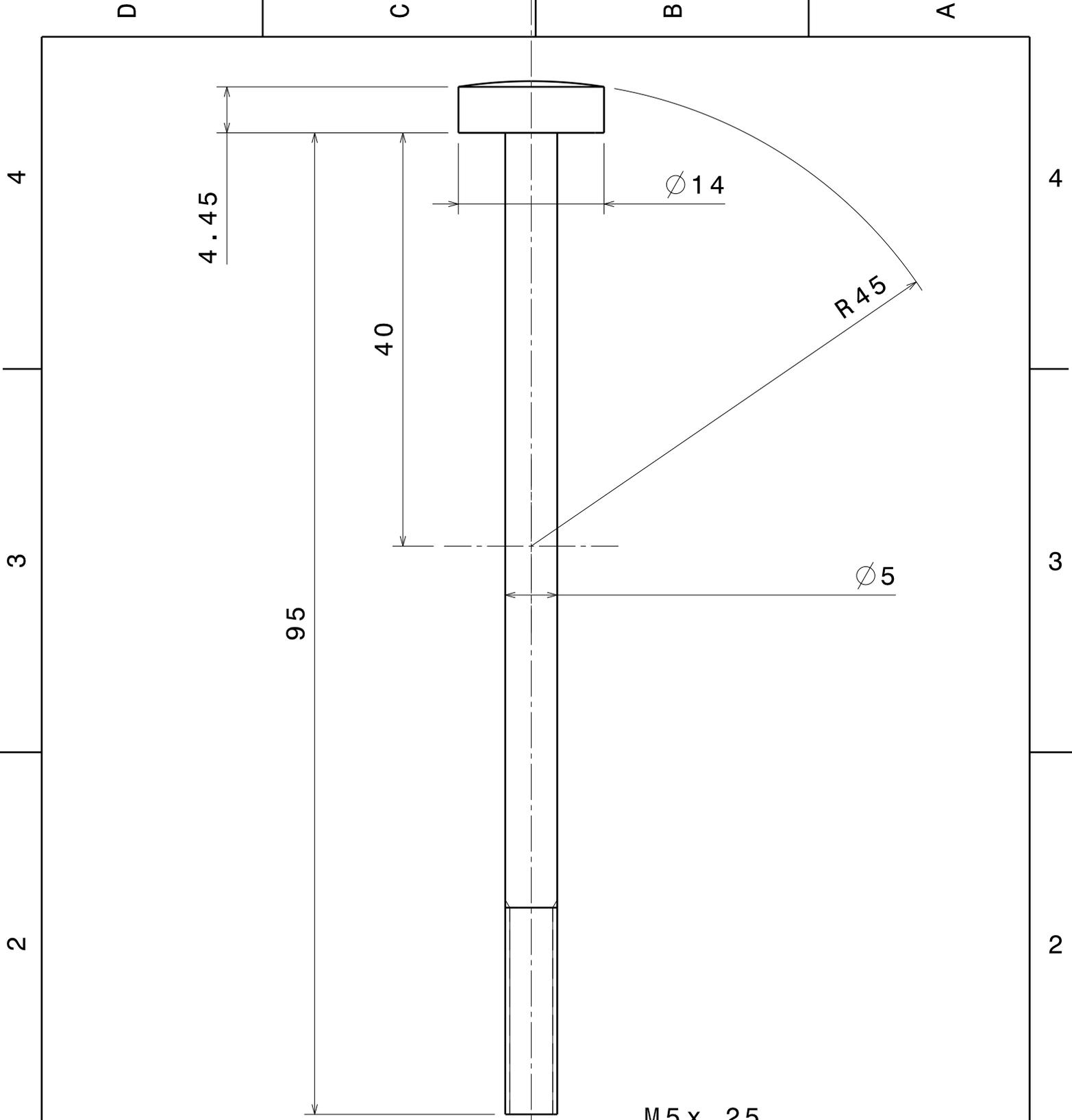
SHEET
1 / 1

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A



Tolerances generales ISO 2768 - mK

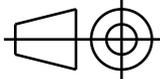
M5 x 25

DESIGNED BY:
G.JOURDAN
DATE:
26/03/2007
CHECKED BY:
XXX
DATE:
XXX

Pion de contact

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

SIZE
A4



AeroIPSA

SCALE
2:1

WEIGHT (kg)
XXX

DRAWING NUMBER
04

Matiere
C45 (acier)

SHEET
1 / 1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

C

B

A

3 x 0,3 x 45°

 $\phi 4$ g6 (E)
 $\phi 0.02$

A

A

 $\phi 8$

8

17

6

1.6

 $\phi 2$ H7 ($+0.010$ / 0)

Coupe A-A

Tolerances generales ISO 2768 - mK

DESIGNED BY:

jourdan1

DATE:

25/03/2007

CHECKED BY:

XXX

DATE:

XXX

SIZE

A4



AeroIPSA

SCALE

3:1

WEIGHT (kg)

XXX

DRAWING NUMBER

07

Matiere

C45 (acier)

SHEET

1/1

I

-

H

-

G

-

F

-

E

-

D

-

C

-

B

-

A

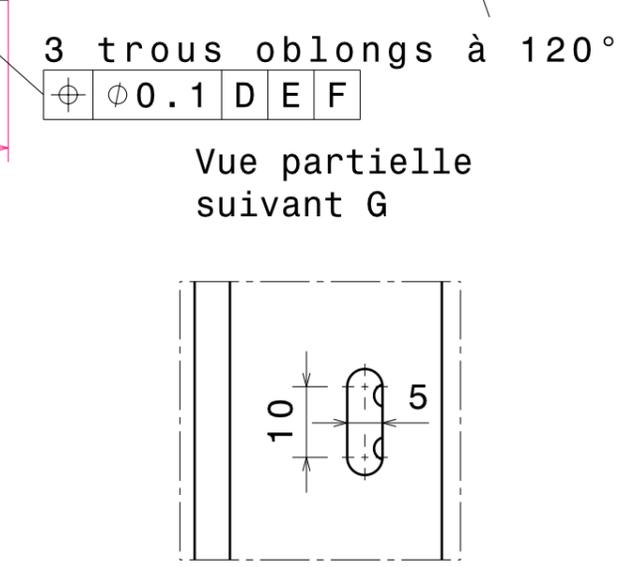
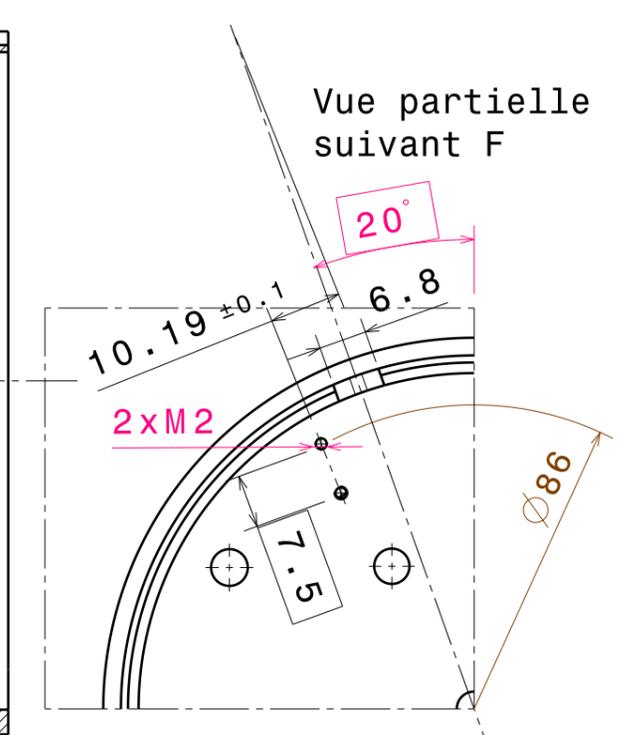
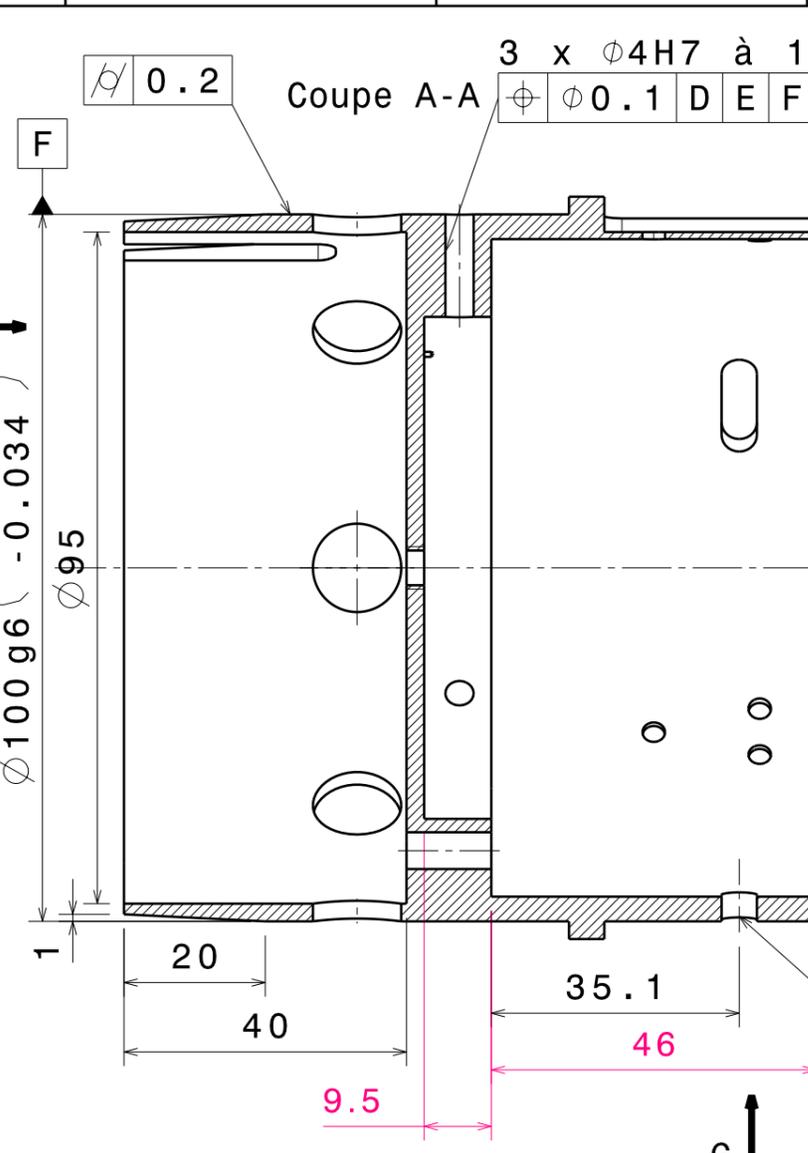
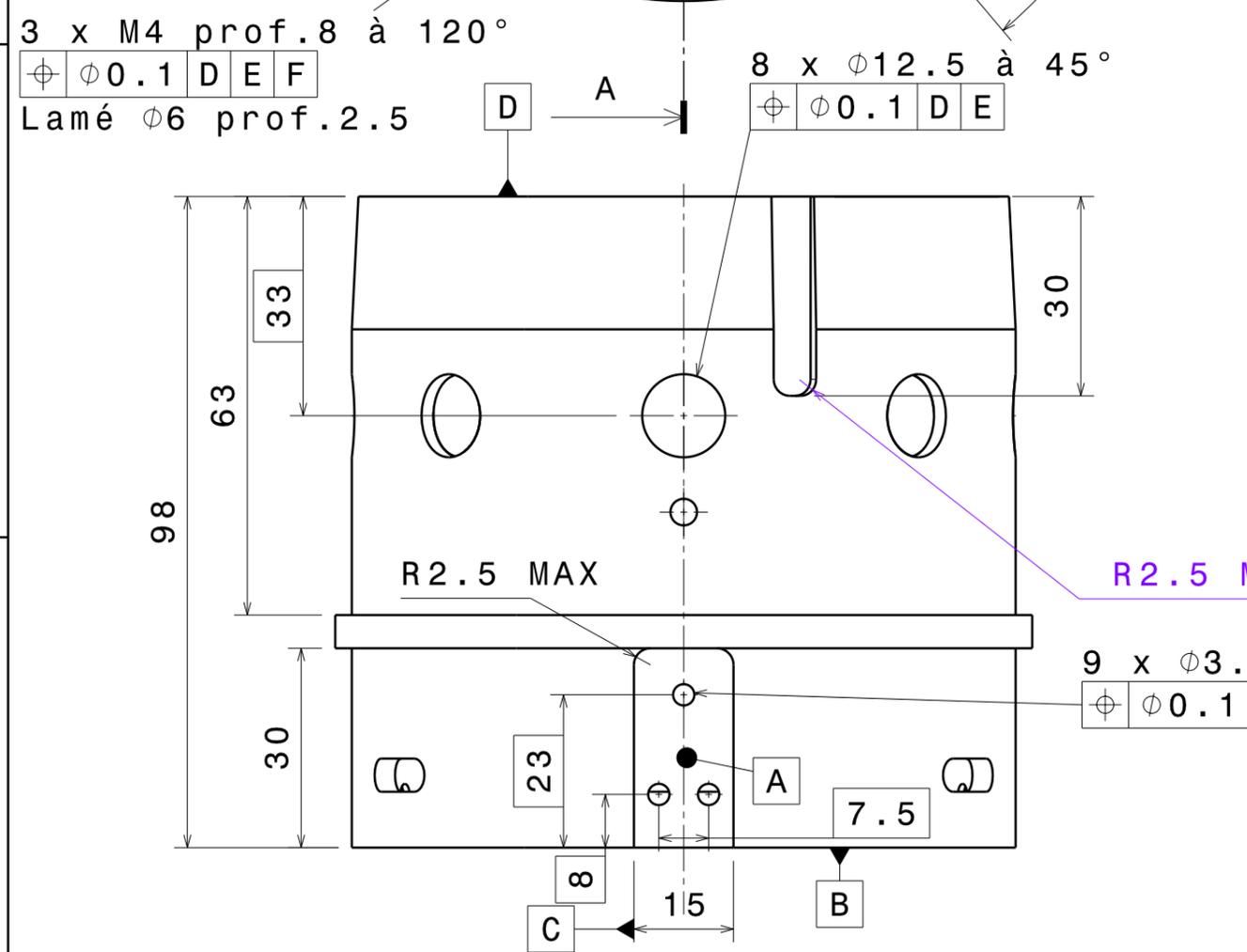
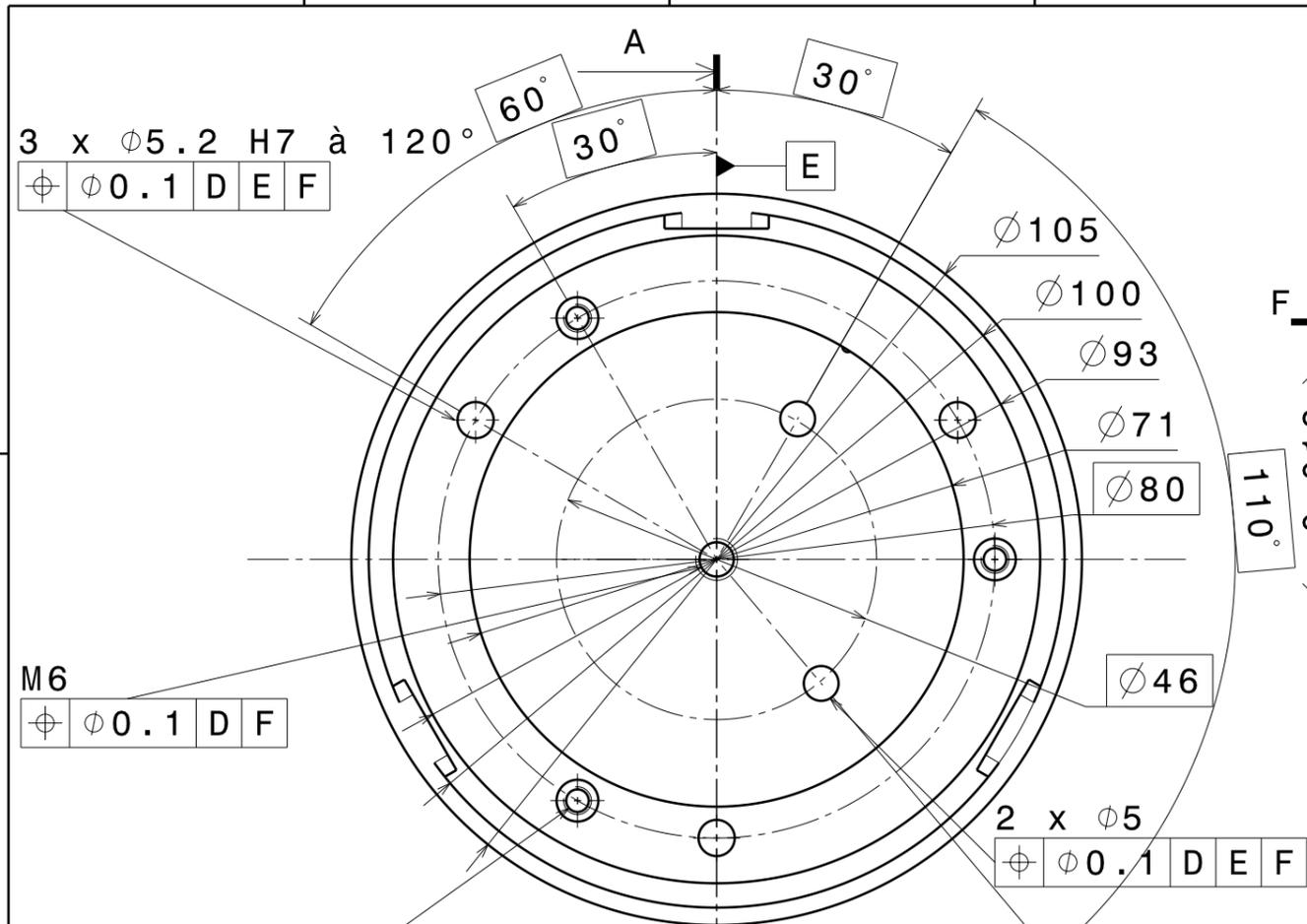
-

Piston sepa

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A



Tolérance générale ISO 2768 mK

Si problèmes, contacter: M. GILBERT : 06 25 63 62 06 ou M. LEROUX : 06 61 30 70 64		AEROIPSA			
DRAWN BY M. LEROUX		DATE 26/03/2007		Titre Séparation premier étage	
CHECKED BY XXX	DATE XXX	Format A3	Numéro 01	Matière AU4G	REV X
DESIGNED BY XXX	DATE XXX	Echelle 1:1	Poids(kg)	XXX	SHEET 1/1

D

C

B

A

4

4

3

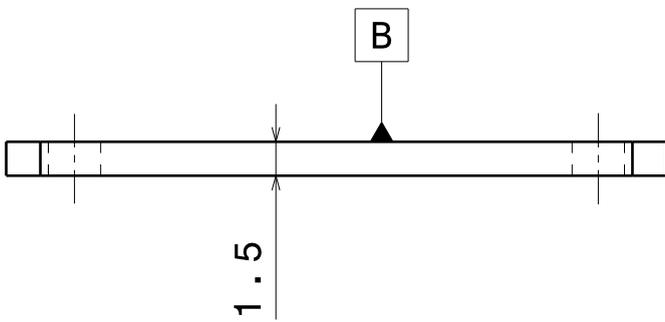
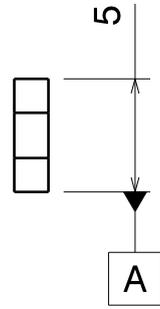
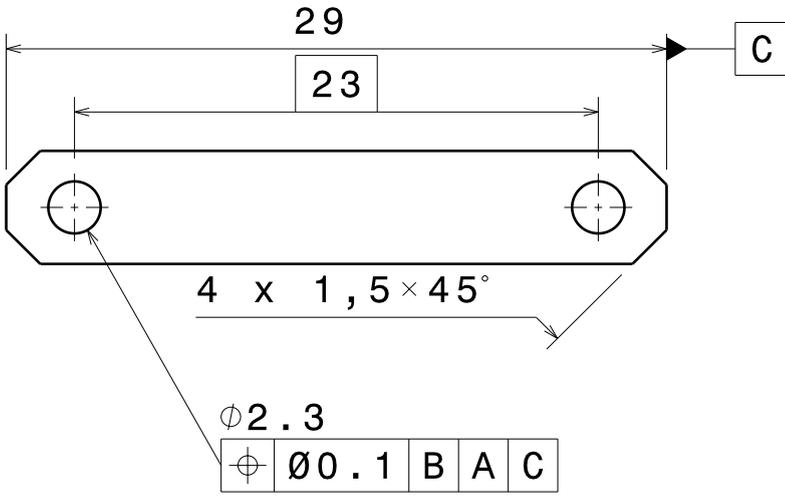
3

2

2

1

1



Tolerances generales ISO 2768 - mK

DESIGNED BY:
G.JOURDAN

DATE:
26/03/2007

CHECKED BY:
XXX

DATE:
XXX

Tire Piston

SIZE
A4

AeroIPSA

SCALE
3:1

WEIGHT (kg)
XXX

DRAWING NUMBER
05

Matiere
AU4G

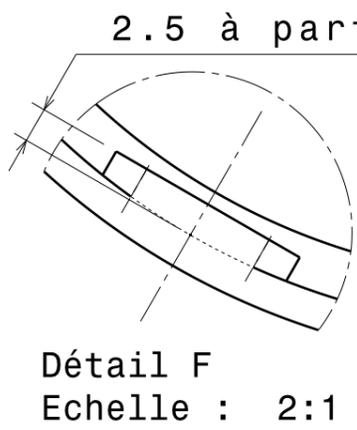
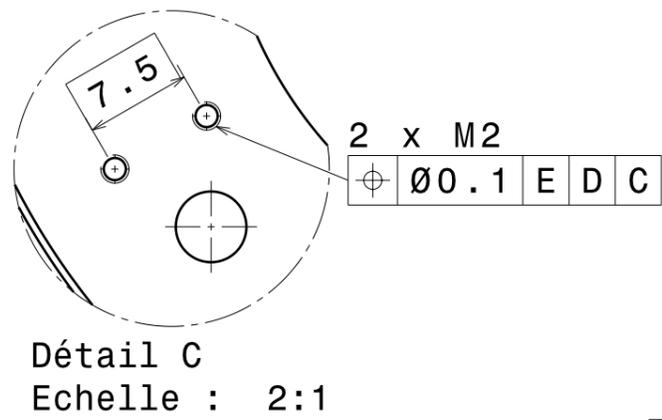
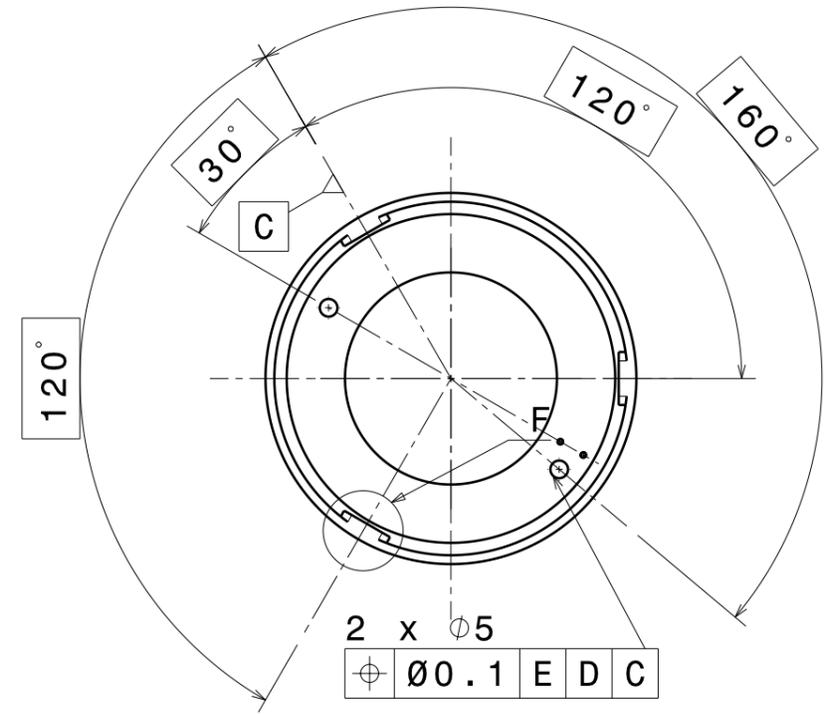
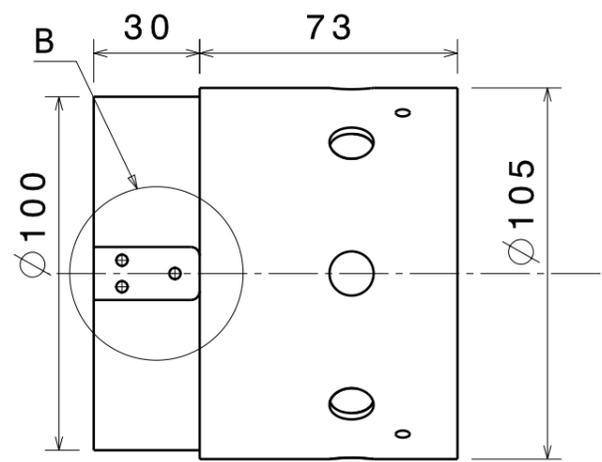
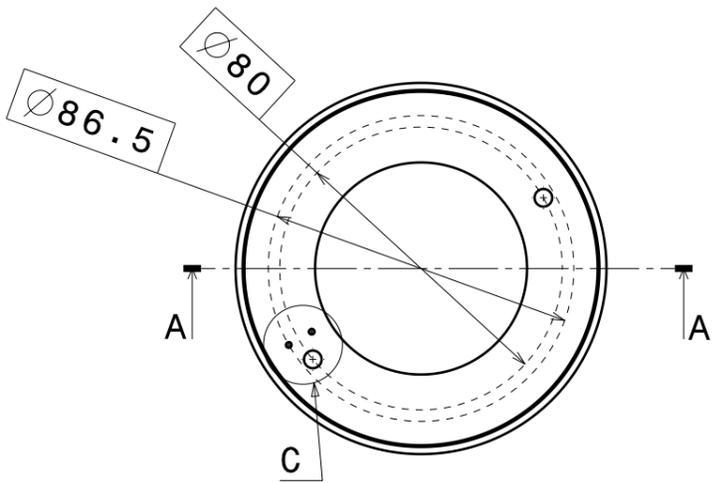
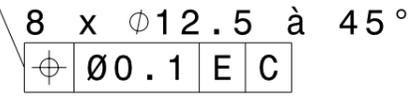
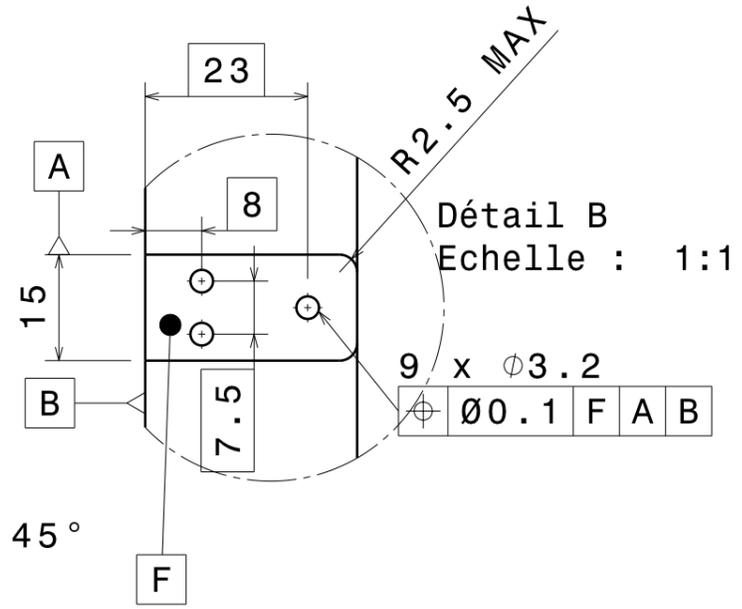
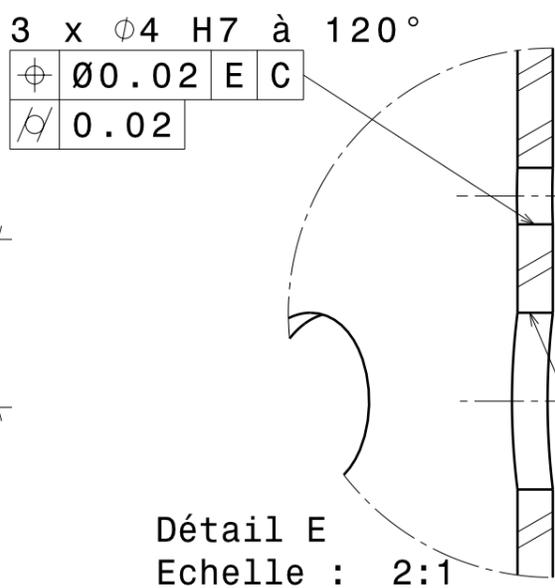
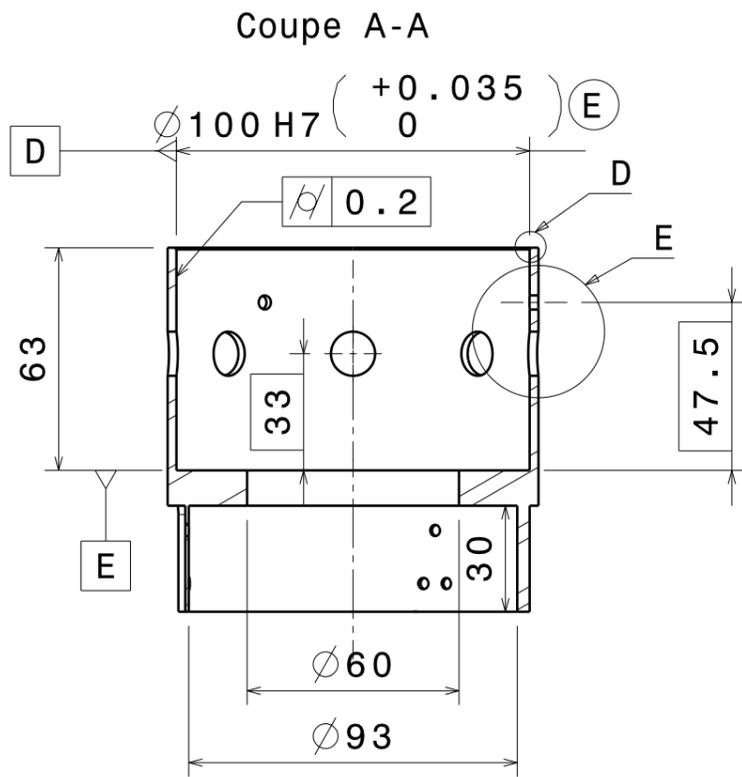
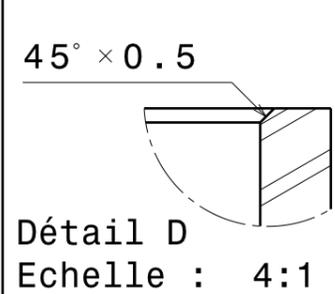
SHEET
1 / 1

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A



Tolérances générales ISO 2768 - mK

Des chanfreins de 0.1 sont autorisés pour casser les angles

Si problemes, contacter: Mr GILBERT : 06 25 63 62 06 ou Mr LEROUX : 06 61 30 70 64		AEROIPSA			
DRAWN BY G.GILBERT		DATE 26/03/2007		Titre Séparation deuxième étage	
CHECKED BY XXX		DATE XXX		Format A3	Numéro 02
DESIGNED BY XXX		DATE XXX		Matière AU4G	REV X
		Echelle 1:2		Poids(kg) XXX	SHEET 1/1

D

C

B

A

4

4

3

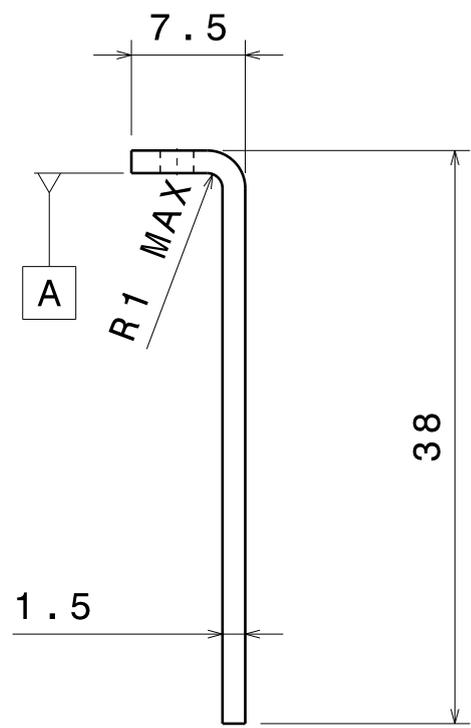
3

2

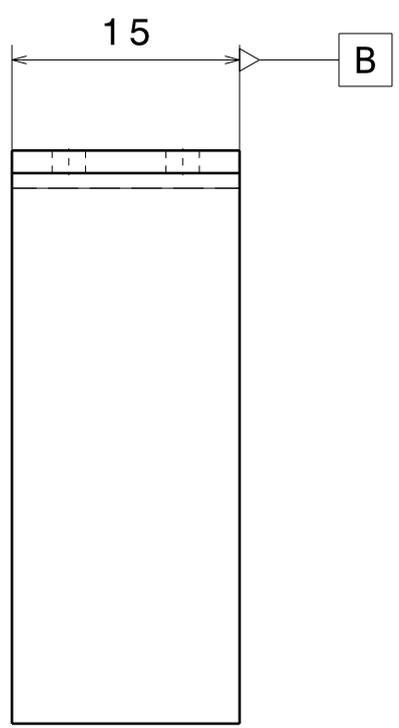
2

1

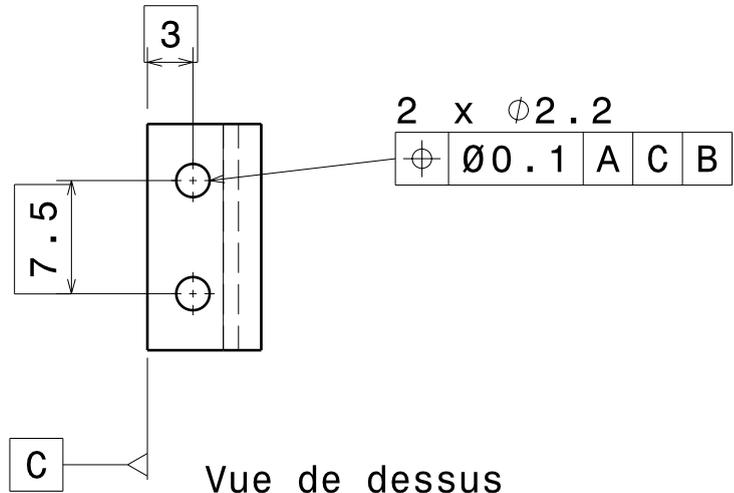
1



Vue de face
Echelle : 2:1



Vue de gauche
Echelle : 2:1



Vue de dessus
Echelle : 2:1

DESIGNED BY: G.JOURDAN
DATE: 26/03/2007
CHECKED BY: XXX
DATE: XXX
SIZE A4
SCALE 2:1
WEIGHT (kg) XXX

<h1>equerre tole pliee</h1>			
DRAWING NUMBER 03	Matiere S235 (Acier)	SHEET 1/1	

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A