

ESTACA Space Odyssey



# X-MAE

Projet de fusée expérimentale de l'ESO 2001-2002

Auteurs : **Rémy BOMPOINT**  
**Vincent GIRARD**



# **SOMMAIRE**

## **REMERCIEMENTS**

### **I - LE CLUB** **1**

### **II - LE PROJET** **2**

### **III - SYNOPTIQUE** **3**

### **IV - EXPERIENCES & PROPULSEUR** **5**

#### **1. PRESENTATION DES DIFFERENTES EXPERIENCES** **5**

1 - MESURE DE PRESSION 5

2 - MESURE DE TEMPERATURE 5

#### **2. CHOIX DU PROPULSEUR** **6**

#### **3. ANTENNES** **6**

1 - DISPOSITION DES ANTENNES 6

2 - PROTECTION HF 6

3 - INTEGRATION DES ANTENNES 7

### **V - ELECTRONIQUE** **8**

#### **1. ARCHITECTURE GENERALE** **8**

#### **2. LE SEQUENCEUR** **9**

1 - LE MOTEUR A COURANT CONTINU 9

2 - L'ETAGE DE PUISSANCE 9

3 - LA BASE DE TEMPS 10

4 - LE GROUPE DE COMPTAGE 10

5 - L'AUTORISATION DE CHARGEMENT 11

6 - L'AUTORISATION DE COMPTAGE 11

7 - ENTrees / SORTIES ET ALIMENTATION 11

#### **3. DIODES & INTERRUPTEURS** **12**

1 - MISE EN ŒUVRE OGIVE 12

2 - MISE EN ŒUVRE PARTIE BASSE 12

<b>4. <u>LA TELEMESURE</u></b>	<b>13</b>
1 - LES CAPTEURS UTILISES	13
2 - LE CONDITIONNEMENT	13
3 - LE VCO	14
4 - LE SOMMATEUR	15
5 - LES ENTREES / SORTIES	15
<b><u>VI - MECANIQUE</u></b>	<b>16</b>
<b>1. <u>LA STRUCTURE GENERALE</u></b>	<b>16</b>
<b>2. <u>CARACTERISTIQUES DE LA FUSEE</u></b>	<b>17</b>
1 - CARACTERISTIQUES MECANQUES	17
2 - DONNEES DE VOL	17
<b>3. <u>SYSTEME DE SEPARATION</u></b>	<b>18</b>
<b>4. <u>SYSTEME DE RECUPERATION</u></b>	<b>20</b>
1 - DIMENSIONNEMENT DU RESSORT	20
2 - DIMENSIONNEMENT DU PARACHUTE	22
<b>5. <u>EXPERIENCES</u></b>	<b>22</b>
1 - MESURE DE TEMPERATURE :	22
2 - MESURE DE PRESSION :	23
<b>6. <u>INTEGRATION</u></b>	<b>25</b>
<b><u>VII - COMPTE RENDU DE VOL X-MAE</u></b>	<b>27</b>
<b>1. <u>MECANIQUE</u></b>	<b>27</b>
1 - CONTROLES	27
2 - MISE EN ŒUVRE	28
3 - VOL	28
<b>2. <u>ELECTRONIQUE GENERALE</u></b>	<b>30</b>
1 - CONTROLES	30
2 - MISE EN ŒUVRE	30
3 - VOL	30
<b>3. <u>CHAINE DE MESURE &amp; EXPERIENCES</u></b>	<b>31</b>
1 - CONTROLES	31
2 - MISE EN ŒUVRE	32
3 - VOL & EXPLOITATION	32

**ANNEXES**

# REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous ceux sans qui ce projet n'aurait pu exister :

- **L'ESTACA** pour avoir mis à notre disposition des locaux, des moyens de conception et un soutien financier.
- Le **CNES** et tous les membres de l'**ANSTJ** (bénévoles et permanents) pour la gestion et l'organisation de l'activité aérospatiale des clubs amateurs français.

Nous remercions aussi nos partenaires industriels et financiers :

- **Le Crédit Lyonnais**
- **Union Thermique** pour l'aluminium AU-4G et ALUMEC
- **M-Composite** pour les moules des pièces en composites et leurs conseils
- **Aérazur** (filiale de **Zodiac**) pour le parachute

Enfin, un grand merci à nos suiveurs **Alain DARTIGALONGUE** et **Stéphane PIERRE-JEAN** pour leur appui technique et leurs conseils.

# I- LE CLUB

L'**ESTACA Space Odyssey** (E.S.O.), association de loi 1901, a été créée en 1991 autour d'un premier projet, GANDALF, qui reçu le prix SNPE (Société Nationale des Poudres et Explosifs). Son objectif est la conception, la fabrication et le lancement de fusées.

Actuellement, 5 projets sont en cours de réalisation dont 3 fusées expérimentales et 2 mini-fusées.

Adresse : 34-36, rue Victor Hugo  
92300 Levallois-Perret

Statut : Association loi 1901

Membre du Conseil d'Administration pour l'année 2001/2002 :

PRESIDENT :	REMY BOMPOINT
VICE-PRESIDENT :	VINCENT GIRARD
Trésorier :	Wolfgang BROCHARD
Secrétaire :	Pierre ZIVEC
Autres membres :	Jean-Christophe LE CLECH Sébastien BELIN

Nombre d'adhérents pour l'année 2001/2002 : 44, tous élèves ingénieur des 5 années de l'Ecole Supérieur des Techniques Aéronautiques et de Construction Automobile (E.S.T.A.C.A.)

## II - LE PROJET

### ***Objectif***

Le projet X-MAE est un projet de fusée expérimentale débuté en septembre 2001 et devant voler la première semaine d'août 2002.

L'objectif de cette fusée est de réaliser des solutions techniques singulières et donc souvent difficiles à mettre en œuvre ou à contrôler.

### ***Descriptif du projet***

Dans cet objectif, X-MAE possède une aérodynamique complexe. Elle comporte des ailerons en flèche inverse couplés à des plans canards, ainsi qu'un rétreint contenant le parachute dans la partie haute de la fusée. La stabilité ne pouvant pas être calculée à l'aide des logiciels fournis par l'ANSTJ, elle fera l'objet d'une étude.

De plus, elle emporte deux expériences :

- une mesure de température afin de caractériser la fonte du chocolat sous l'effet de l'échauffement de la plaque de poussée dû au propulseur.
- une mesure de pression afin de caractériser l'amortissement des vibrations induites en vol par du caoutchouc

Les données sont retransmises au sol par l'intermédiaire d'une télémesure dont l'antenne est de type moustache le long du corps de la fusée. Cela simplifie l'intégration et nous permet aussi de continuer à recevoir la télémesure après séparation.

### ***Récapitulatif des principales caractéristiques :***

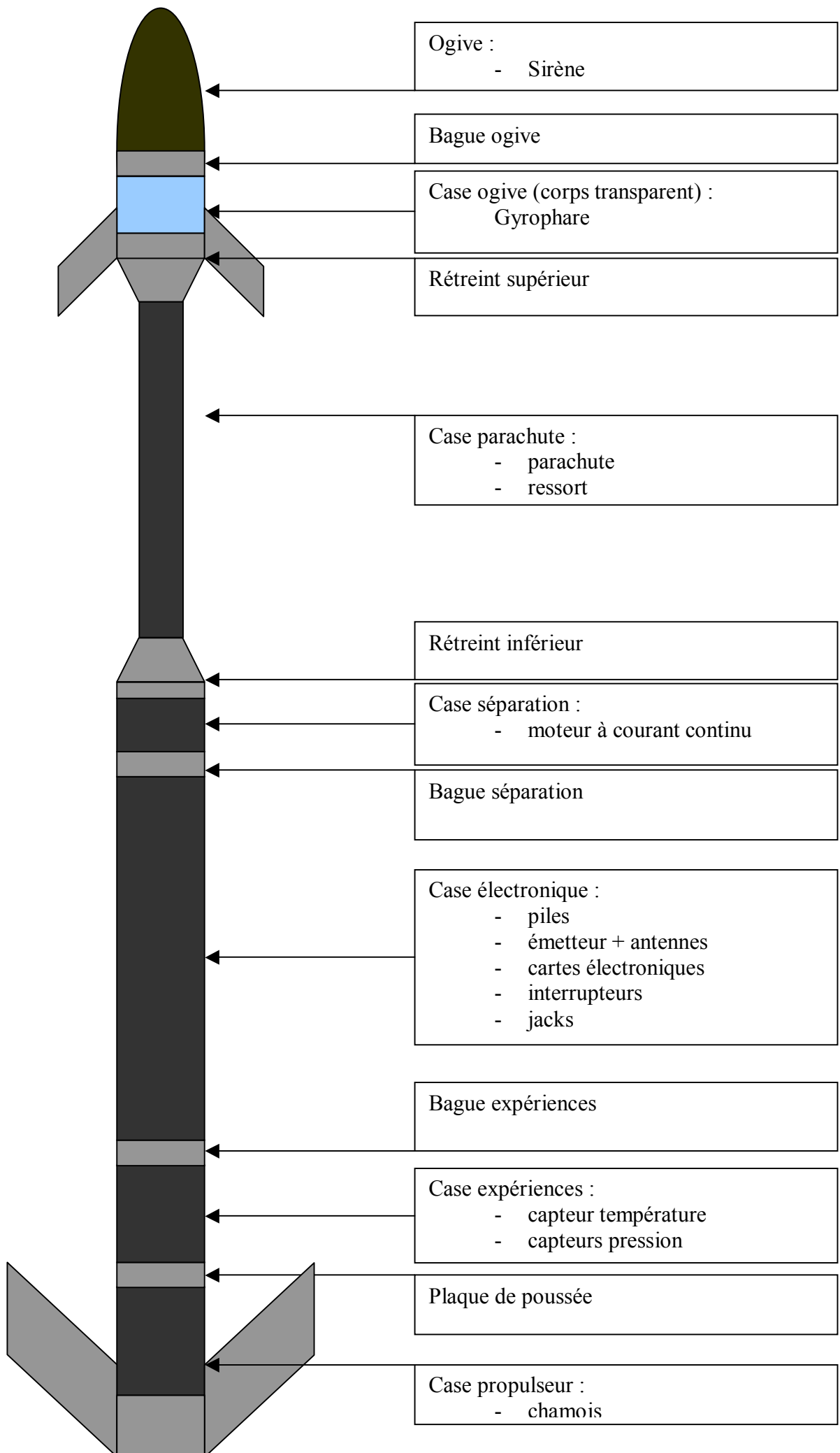
aérodynamique complexe (rétreints, plans canard, ailerons inversés)  
antenne moustache  
mesure de température et de pression

### ***L'équipe du projet :***

BOMPOINT Rémy	4 <sup>o</sup> année	Responsable de Projet
GIRARD Vincent	4 <sup>o</sup> année	Responsable Electronique
LE CLECH Jean-Christophe	4 <sup>o</sup> année	Responsable Mécanique
MARCHAIS Nicolas	1 <sup>o</sup> année	
SUCHER Damien	1 <sup>o</sup> année	
BOQUIEN Loïc	2 <sup>o</sup> année	

### III - SYNOPTIQUE





## IV - EXPERIENCES & PROPULSEUR

### 1. *Présentation des différentes expériences*

Les expériences embarquées sur X-MAE sont des mesures de température et de pression au cours du vol.

#### 1 - Mesure de pression

Nous cherchons à caractériser l'intérêt de l'amortissement des vibrations induites en vol par du caoutchouc. Il s'agit donc tout d'abord de mesurer les vibrations de la fusée au cours du vol. Nous avons cherché à relier les vibrations à une variation de pression. Pour cela, nous mesurons l'évolution de pression dans une enceinte fermée, remplie d'un liquide montant en pression une fois agité. C'est pour cette raison que nous effectuerons notre mesure dans une enceinte remplie de bière. Ainsi une fois les premières vibrations passées, on verra apparaître un signal sur le capteur de pression proportionnel aux vibrations. Afin de mesurer l'efficacité du caoutchouc en tant qu'amortisseur, nous ferons 2 mesures : l'une dans un tube monté directement sur le treillis interne et l'autre montée dans une bague de caoutchouc montée sur ce même treillis. Nous faisons des mesures de pression absolue et non une mesure différentielle, ceci afin de connaître l'ordre de grandeur de la pression et donc des variations.

Pour effectuer une mesure correcte, nous devons prévoir que l'enceinte soit entièrement remplie, ceci afin d'éviter que l'on mesure des pressions dues à l'agitation du liquide ou que la mesure soit parasitée par l'air restant dans le tube. L'enceinte devra donc résister à la pression maximale que nous pourrions atteindre. Nous procéderons donc au préalable à des tests permettant de déterminer quels seront les ordres de grandeur de la pression au cours du vol. A partir de là, nous pourrions dimensionner l'enceinte. De même, nous avons mis au point une procédure de mise en œuvre afin de minimiser l'effet de la température ainsi que des chocs.

#### 2 - Mesure de température

Nous souhaitons également mesurer l'effet de l'échauffement de la plaque de poussée dû au propulseur. Pour cela, nous cherchons à mesurer la variation de la température au sein d'un milieu dont les propriétés vont évoluer au cours de la propulsion. Nous avons choisi comme milieu du chocolat puisque celui-ci monte relativement facilement en température. Nous devons comme précédemment bien faire attention à limiter les effets des variables d'environnement. Pour cela, nous devons nous assurer du fait qu'il n'y ait pas d'air dans l'enceinte qui risquerait de venir perturber la mesure. En effet, lors de l'arrêt moteur ou lors de la poussée, s'il reste un peu d'air dans l'enceinte, le capteur de température pourrait être en contact avec celui-ci et mesurerait alors l'échauffement de l'air. Le but de l'expérience est donc de mettre en évidence le phénomène de conduction thermique et non le quantifier.

## 2. *Choix du propulseur*

Nous devons tout d'abord trouver un propulseur fournissant une poussée suffisante pour propulser correctement notre fusée. Etant donné le bilan de masse prévisionnel de 10 kgs, il nous faudrait un propulseur fournissant une poussée permettant d'avoir une vitesse en sortie de rampe supérieure à 20m/s. Si la longueur de rampe est de 4m, on aura besoin d'une poussée supérieure à 1kN. Nous pouvons dès lors supprimer de notre liste le Koudou et le Cariatou, puisqu'une fusée de 10 kgs n'est absolument pas surdimensionnée. Nous pouvons alors choisir entre l'Isard et le Chamois.

Nous cherchons à obtenir une série de mesures suffisamment précise pour pouvoir être exploitée. Or le processus ne peut pas être renouvelé. Les phénomènes à mesurer étant aléatoires du fait du bruit, on doit donc pouvoir supposer que la moyenne statistique d'un signal est la même que sa moyenne temporelle afin de se débarrasser en grande partie de la composante de bruit. Le processus doit pouvoir être considéré comme ergodique, c'est-à-dire que l'on peut identifier sa moyenne temporelle à une moyenne statistique qui serait obtenue en renouvelant l'expérience. Nous devons donc réaliser notre expérience sur une durée suffisamment longue pour obtenir un nombre de points de mesure suffisamment important pour pouvoir considérer que la mesure est représentative de la réalité, soit que le processus est stochastique et ergodique. Le propulseur présentant donc le plus long temps de poussée est le Chamois. Nous avons donc tablé sur ce propulseur.

## 3. *Antennes*

Nous devons placer nos capteurs à proximité de la plaque de poussée. De ce fait, l'électronique devra se situer sous le parachute pour simplifier l'intégration. Ceci pose un problème sur le plan de l'antenne. La solution qui nous paraît la plus viable est la suivante.

### 1 - *Disposition des antennes*

Nous placerons l'antenne le long du corps de la fusée. Or la fréquence de l'émetteur étant de 137.95MHz, cela donne une longueur d'antenne de 54,36 cm. Or ceci est un peu long pour nos tubes et du fait de la rotation en roulis de la fusée, nous aurons une télémesure un peu faible dans ce cas. Nous avons donc opté pour 2 antennes de type moustache le long de la fusée. Le problème inhérent à ce type de choix est le fait qu'il faut alors déphaser de 180° l'une des antennes par rapport à l'autre. La solution pour laquelle nous avons opté est de placer, entre le coupleur en T (permettant de relier les 2 antennes à l'émetteur) et l'une des antennes, un cordon coaxial RG58 avec 71.8 cm de plus que celui de l'autre antenne.

En effet, ainsi nous rajoutons la longueur nécessaire à une demi longueur d'onde

$$l = 0.66 \frac{\lambda}{2} = 718mm \text{ puisque le coefficient de vélocité dans le RG58 est de 0.66. Il se pose}$$

alors le problème de l'intégration et de la protection HF de l'électronique.

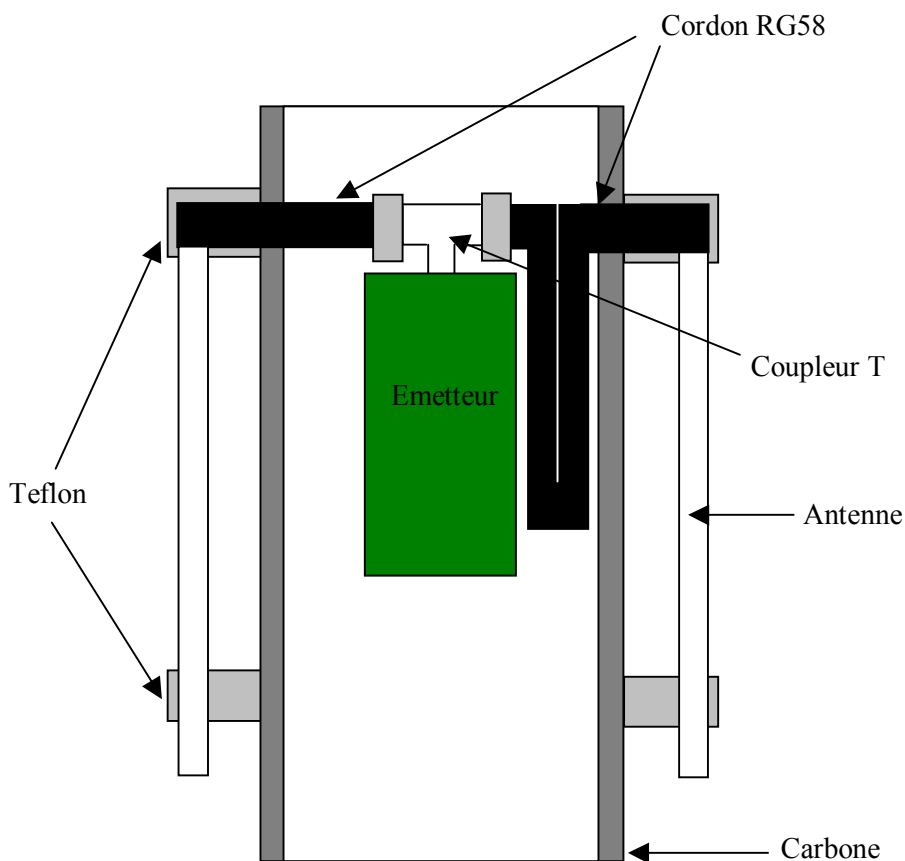
### 2 - *Protection HF*

Nous devons absolument éviter que les lobes d'émission des antennes viennent perturber le reste de l'électronique. Nous devons donc enfermer l'ensemble de l'électronique dans une cage de Faraday. Celle-ci est réalisée simplement par la peau en carbone qui supporte l'antenne. Or afin d'éviter que l'antenne soit en contact avec le carbone et qu'ainsi elle n'émette plus, nous l'éloignerons via des entretoises en Téflon. Il faut alors vérifier que la distance antenne/carbone sera suffisante pour que l'émission soit correcte. Via des tests à l'analyseur de champs, nous avons déterminé qu'il suffisait d'éloigner chaque antenne de

1cm du carbone. Reste alors le problème des découpes pour les interrupteurs et les LEDs de visualisation. Si nous plaçons ces découpes à 90° des antennes et donc dans l'axe des ailerons, nous n'aurons pas de phénomène d'enroulement de lobe significatif. De plus sur le bord du lobe d'émission, la puissance disponible pour un émetteur tel que le Toucan reste négligeable. Au pire les quelques parasites potentiels seront filtrés par les condensateurs de découplage.

### 3 - *Intégration des antennes*

Il nous faut relier les antennes à l'émetteur via des cordons BNC et un coupleur en T. Or il faut également prévoir le fait que l'antenne sera située sur l'extérieur de la fusée. Nous commencerons donc par percer un trou dans le carbone du diamètre de celui du cordon. Ensuite, nous y passerons le cordon. Le cordon devra avoir une extrémité libre et l'autre montée sur un raccord BNC de 50Ω. Ainsi nous pourrons ajuster la longueur de cordon nécessaire et souder l'antenne au cordon.

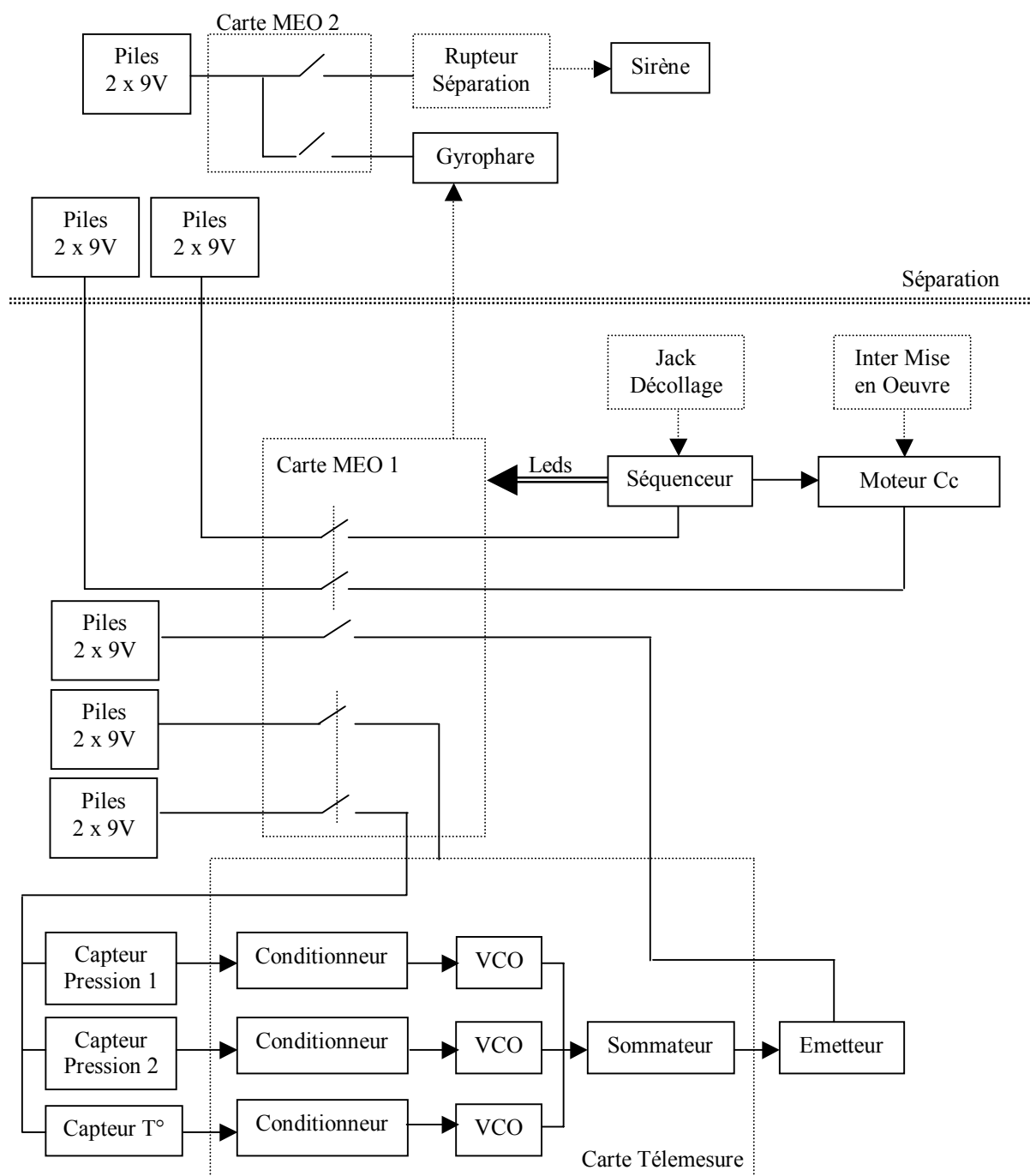


# V - ELECTRONIQUE

L'électronique de X-MAE se décompose en 3 parties :

- Les organes de mise en œuvre et de visualisation
- Le séquenceur
- La partie expérience (traitement des capteurs et télémessure)

## 1. Architecture générale



Les cartes ‘MEO’ sont des cartes de mise en œuvre. C’est-à-dire qu’elles servent de relais pour alimenter les cartes et de support pour les interrupteurs de mise en œuvre et les LEDs de visualisation. En revanche, la régulation de tension se fait sur chaque carte distinctement. Conformément au cahier des charges, l’alimentation de la télémessure et de l’émetteur est séparée du reste de l’électronique.

#### Bilan Piles :

- 2 piles de 9V / 450 mAh : Chaîne de mesure (+18V)
- 2 piles de 9V / 450 mAh : Chaîne de mesure (-18V)
- 2 piles de 9V / 450 mAh : Emetteur (+12V)
- 2 piles de 9V / 450 mAh : Séquenceur (+18V)
- 2 piles de 9V / 450 mAh : Actionneur (+18V)
- 2 piles de 9V / 450 mAh : Gyrophare + Sirène (+18V)

#### Découpe Corps principal :

- 2 interrupteurs unipolaires inverseurs ON/OFF (Chaîne de mesure, Emetteur)
- 1 interrupteur bipolaire inverseur ON/OFF (Séquenceur, Actionneur)
- 1 interrupteur Ouverture / Fermeture
- 6 diodes 3mm (Mise sous tension Chaîne de mesure (2), Mise sous tension Emetteur, Présence Jack décollage, Fin de comptage, Mise sous tension Séquenceur / Actionneur)
- Jack décollage

## ***2. Le Séquenceur***

Cet organe permet de réaliser la partie interagissant avec la mécanique. C’est elle qui va permettre de déclencher l’actionneur qui servira à effectuer la séparation de l’engin. Nous avons donc commencé par nous intéresser à l’actionneur en lui-même afin de savoir comment le commander.

### *1 - Le Moteur à Courant Continu*

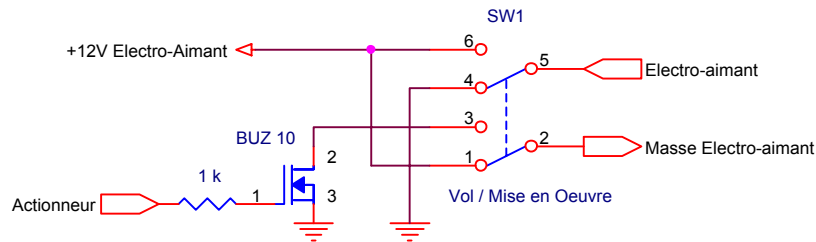


Il faut réaliser un bon compromis entre ses caractéristiques mécaniques et électroniques. Une fois le choix fait mécaniquement, nous cherchons à obtenir une tension de commande qui soit relativement facile à fournir et une consommation qui ne soit pas excessive. Nous avons finalement opté pour un motoréducteur IG33. Il est alimenté en 12Vcc et consomme 50 mA à vide. Nous avons donc une consommation maximale de 300mA ce qui est largement acceptable pour les piles embarquées. Il doit être alimenté pendant 240s maximum, ce qui est largement suffisant pour effectuer l’ouverture de la fusée. Nous devons donc réaliser un étage de puissance qui permettra d’alimenter cet actionneur.

### *2 - L’étage de puissance*

Nous devons trouver un principe qui nous permette d’ouvrir et de fermer facilement la fusée. Au vu de l’actionneur, nous devons fournir un état haut afin d’effectuer la séparation. Il faut donc trouver un moyen qui nous permettra de court-circuiter l’étage de puissance afin d’effectuer la mise en œuvre de l’engin sans avoir à alimenter l’ensemble

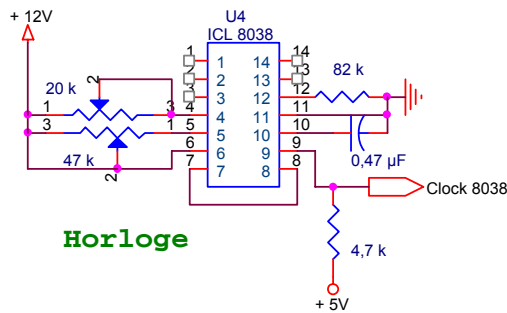
des cartes. Le principe choisi est celui de l'alimentation par un MOSFET BUZ10 à canal N. En effet, celui-ci est suffisamment robuste pour pouvoir accepter des suralimentations ponctuelles. Il est monté de la façon suivante :



Ainsi la mise en œuvre est largement facilitée par la mise en place d'un jack permettant de rentrer la goupille, le temps de fermer la fusée.

### 3 - La base de temps

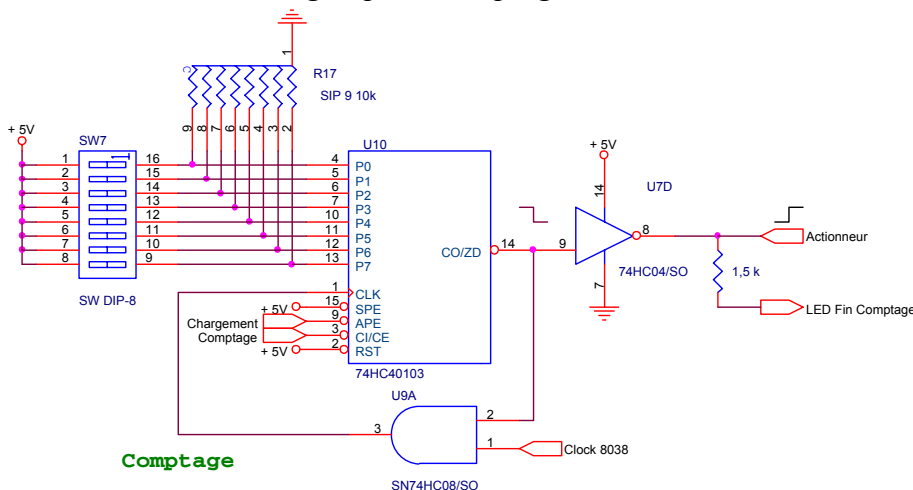
Le l'horloge fournir et de les 2 On carrées comptant



composant qui est à la base de est le ICL 8038 qui permet de des signaux de forme, d'amplitude fréquence réglable. On joue sur la fréquence et le rapport cyclique via potentiomètres.

cherche à créer des impulsions de fréquence 10Hz. Ainsi, en le nombre d'impulsions, on obtiendra une horloge dont la précision sera celle de la fréquence du 8038. En réalité, on partira d'une valeur préréglée, qui est le nombre d'impulsions à 10Hz avant l'apogée, puis on décomptera jusqu'à arriver à 0. A ce moment là, on obtiendra un changement de niveau en sortie du compteur. C'est ce signal que l'on va utiliser dans la partie suivante.

### 4 - Le groupe de comptage



On retrouve un montage basé sur le 74HC40103, qui est un décompteur binaire 8 bits. Un jeu de 8 switches permet de prérégler la valeur du registre. En mettant un switch sur 5V, on obtiendra un niveau haut. De même sur la masse, on obtient un niveau bas. On peut donc

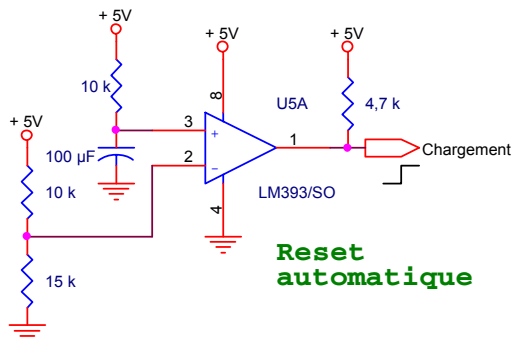
atteindre une valeur maximale du registre de 255 valeurs, c'est-à-dire 25,5s.

On remarquera la porte AND représentée par le 74HC08. Cette porte permettra de couper le signal d'horloge en fin de comptage, ceci dans le but de maintenir l'état de sortie du compteur dès le changement de niveau. Tant que le décompteur n'est pas arrivé à 0, on a un niveau haut en sortie, ce qui permet de recopier le signal d'horloge du 8038 sur la sortie de la porte AND et donc de l'entrée CLK du 40103. Au moment où la sortie du compteur bascule, on obtient un 0 sur une des entrées de la porte AND, d'où un niveau bas permanent sur l'entrée CLK du 40103. Ainsi, ne recevant plus d'information le 40103 arrête son comptage et maintient le niveau de sortie.

On utilise ce décompteur en comptage asynchrone afin de pouvoir palier les défauts de précision lors de l'arrachement du jack de décollage. En effet, on pourra avoir un décalage de 0.1s du fait de la fréquence de l'horloge.

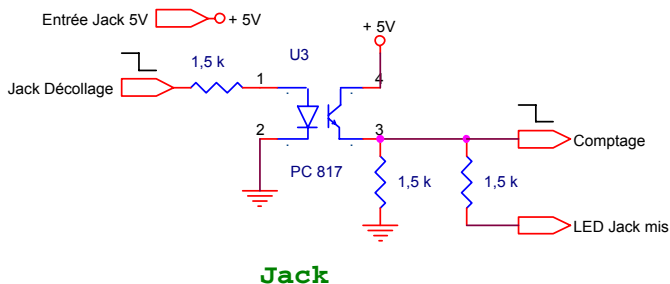
On enverra l'information d'autorisation de comptage sur une des broches, et l'autorisation de chargement du registre via une autre patte du circuit intégré. Les broches restantes seront à un niveau fixé par le data-sheet afin de permettre un fonctionnement correct du 40103.

### 5 - L'autorisation de chargement



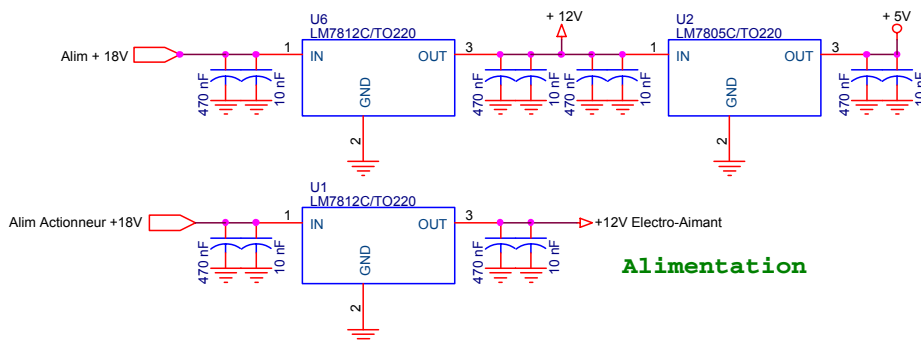
Suivant la documentation du compteur, on doit envoyer un signal bas afin de mettre en mémoire le registre. Puis pour autoriser un fonctionnement normal du compteur, il faut un signal de niveau haut. On cherche donc à réaliser ce changement de niveau via un comparateur LM393. On dimensionnera les composants afin d'obtenir un step de retard suffisant pour permettre la mise en mémoire du registre. La résistance de 4,7k permet d'obtenir un niveau suffisamment énergétique pour pouvoir déclencher les entrées du 40103.

### 6 - L'autorisation de comptage

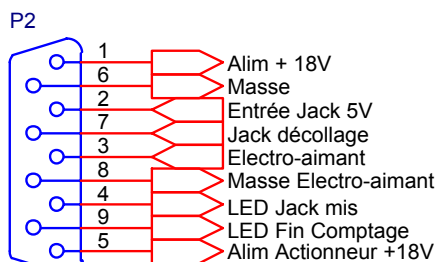


On utilise un opto-coupleur PC817 afin de découpler l'entrée du jack de la carte. Ceci permettra d'être sûr de ne pas déclencher le séquenceur par un signal parasite. On utilise la sortie du PC817 afin de vérifier l'arrachage du jack de décollage par l'extinction d'une LED.

### 7 - Entrées / Sorties et Alimentation



On règle l'alimentation de 18V en 12V puis 5V. Le 12V sera utilisé pour l'alimentation du 8038 et de l'électroaimant. Le 5V permet d'alimenter le reste des composants.



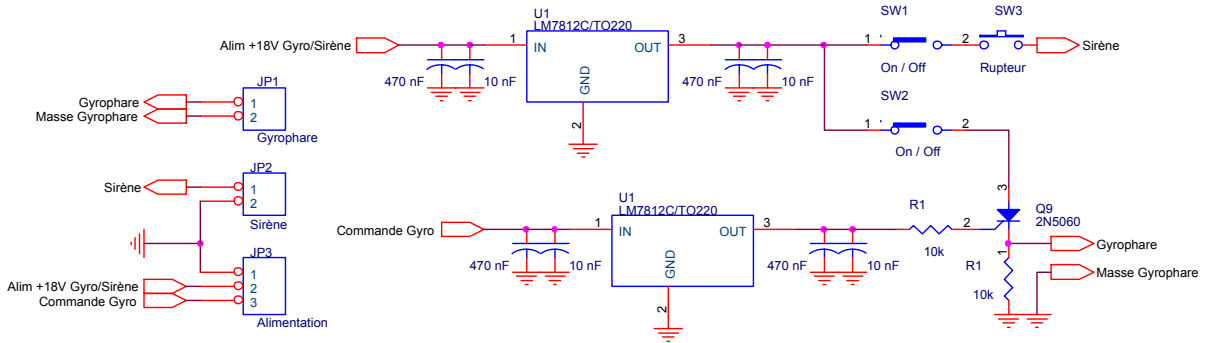
CONNECTOR DB9

### Brochage I/O

On répertorie ici l'ensemble des entrées / sorties de la carte. On remarquera notamment les entrées d'alimentation, les sorties du jack de décollage, les broches de l'électroaimant ainsi que les sorties d'affichage des informations de la carte. On peut noter que l'on ne fait pas figurer le jack d'ouverture de la fusée. En effet, celui-ci ne sera câblé que sur une prise de masse et sur le moteur.

### 3. Diodes & interrupteurs

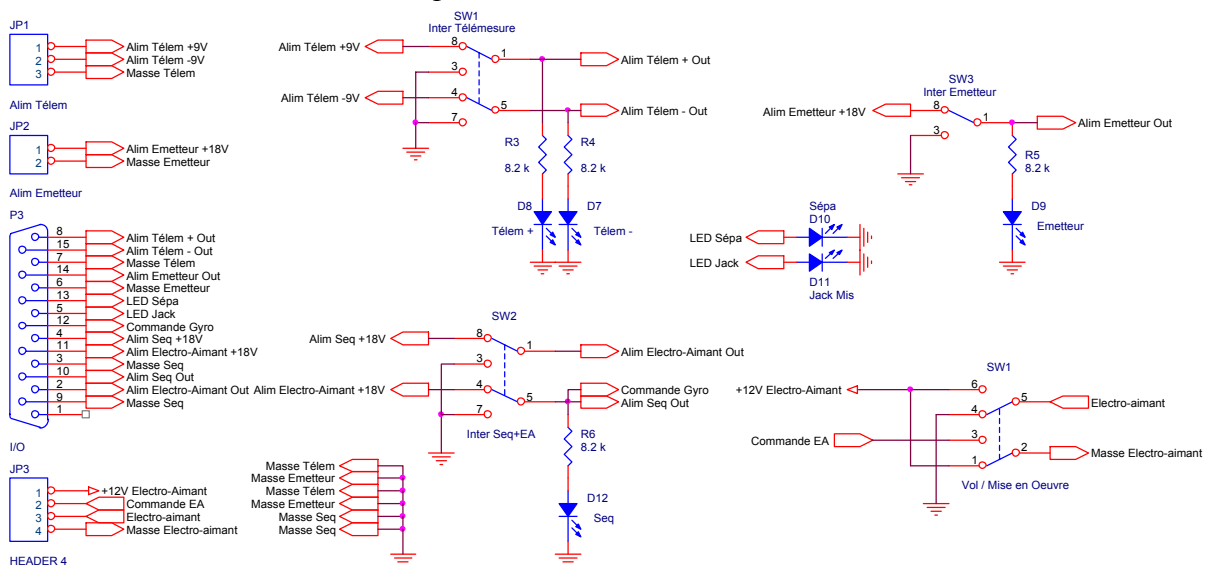
#### 1 - Mise en Œuvre Ogive



La sirène devra être mise en route lors de la séparation mécanique de la fusée. On utilise un micro-rupteur placé sous la plaque de poussée du parachute afin de déterminer la séparation mécanique. Pour aider à la mise en œuvre et ne pas risquer de déclencher alors la sirène, on utilisera un interrupteur à glissière qui sera commuté avant la fermeture de l'ogive. De même un interrupteur identique servira à alimenter le gyrophare en attendant l'autorisation de commutation supplémentaire.

Le gyrophare quant à lui devra permettre de mettre en évidence la mise sous tension du séquenceur. On cherche à faire basculer à la fois l'alimentation du gyrophare et du séquenceur. Pour cela, on utilise un interrupteur bipolaire ON/OFF qui sera placé sur la deuxième carte de mise en œuvre située dans la partie basse de la fusée. On recevra un signal de mise sous tension du gyrophare. On utilise donc un bloc de commande permettant de réaliser cette fonction. Il s'agit en l'occurrence d'un thyristor afin de permettre l'alimentation du gyrophare, même lors de la séparation de la fusée et donc de la coupure de la commande. On régule la tension issue des piles pour alimenter le gyrophare et la sirène. On reliera les gyrophare, sirène et alimentations via des borniers à vis. Les alimentations seront soudées directement sur l'interrupteur.

#### 2 - Mise en œuvre partie basse



Cette carte doit servir à alimenter les cartes de télémessure ainsi que l'émetteur. C'est pour cette raison qu'on découple les interrupteurs. En effet, il est demandé dans le cahier des charges de pouvoir mettre l'émetteur sous tension sans pour autant commander la modulation. On utilise également cette carte pour porter les différentes visualisations

nécessaires à la mise en œuvre de la fusée. L'interrupteur du moteur, montré dans la partie séquenceur, sera également présent sur cette carte. Il permet de fermer la fusée sans avoir à faire fonctionner le séquenceur.

## 4. La télémésure

### 1 - Les capteurs utilisés

Nous utilisons 2 types de capteurs : des capteurs de pression et un capteur de température. Le capteur de pression est un capteur de pression absolue non amplifié et non compensé : le 24PCD. Le capteur de température est un LM35DZ.

	<b>24 PCD</b>	<b>LM35DZ</b>
<b>Plage de mesure</b>	0 à 2 bars	0°C à 100°C
<b>Sensibilité</b>	11 mV/psi	10 mV/°C
<b>Alimentation</b>	10 Vcc	10Vcc

### 2 - Le conditionnement

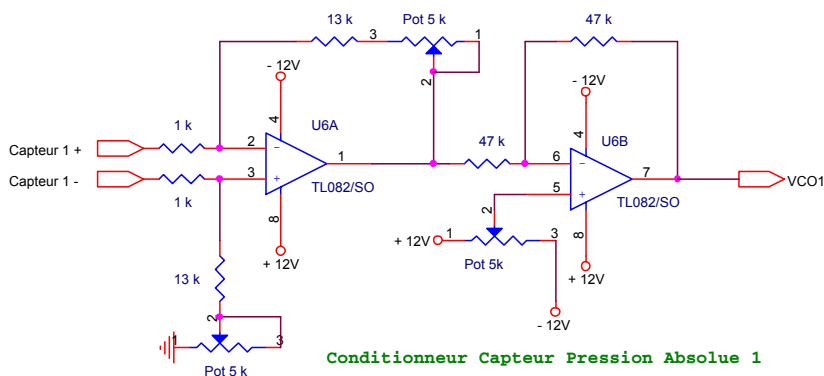
Nous savons que le signal doit être conditionné entre 0 et 5V en entrée du VCO. Pour cela, on doit amplifier et décaler les mesures de la façon suivante :

	<b>24 PCD</b>	<b>LM35DZ</b>
<b>Plage d'expérience</b>	0 à 2 bars	10 à 80 °C
<b>Gain</b>	15.15	7.14
<b>Offset</b>	0 V	0.714 V

$$\frac{5}{(\text{Sensibilité} \cdot \text{Ecart d'expérience})} = \text{Gain}$$

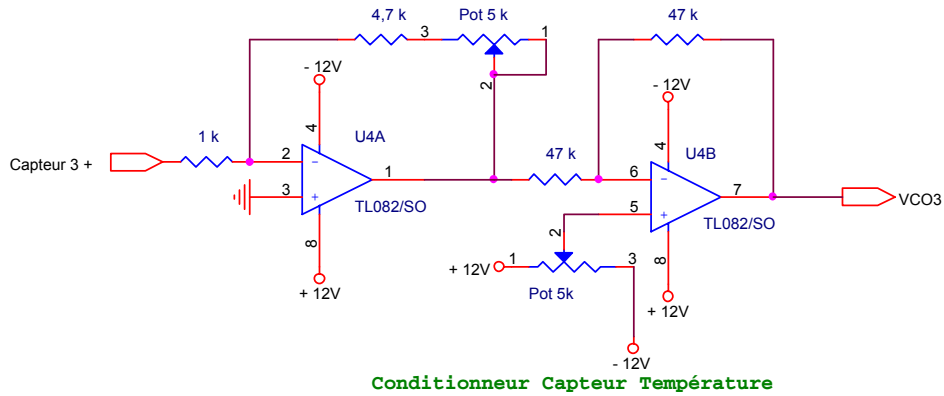
$$-1 \cdot \text{borne inf}([\text{Sensibilité} \cdot \text{Plage d'expérience}]) = \text{Offset}$$

On réalise donc le schéma suivant :

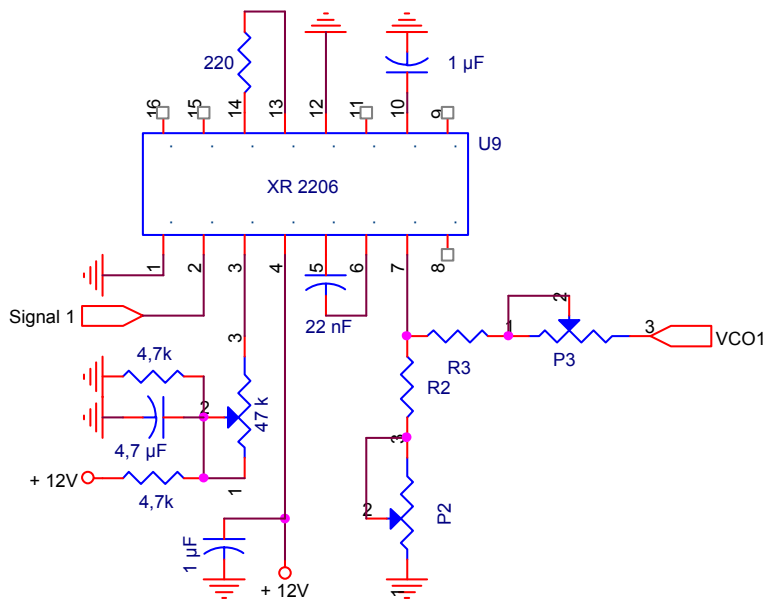


Ceci réalise les gains et offset souhaités, tout en éliminant le caractère différentiel du signal reçu des capteurs de pression.

Pour le capteur de température, on utilisera le schéma suivant puisque le signal issu du capteur n'est pas différentiel :



### 3 - Le VCO



On aura 3 groupes de VCO identiques à celui-ci. En effet, il faudra moduler les 3 signaux des 3 capteurs de manière différente pour pouvoir les différencier par la suite. Au vu des besoins de la précision des mesures, nous avons choisi les voies IRIG ci-dessous. Nous avons choisi de privilégier les mesures de pression et notamment celle où intervient l'amortissement. Ensuite, la mesure de température peut être assez grossière sans que cela

perturbe beaucoup son exploitation. De ces considérations sont issues les choix suivants sur les bandes IRIG.

Capteur	Canal	Fmin (Hz)	Fo (Hz)	Fmax (Hz)	Bp (Hz)
T°	2	1 040	1 300	1 560	520,00
P sans amort.	3	3 200	4 000	4 800	1 600,00
P avec amort.	4	10 400	13 000	15 600	5 200,00

On obtient alors les dimensionnements des composants suivants :

Valeurs fixes :

- Ra = Rb = 4.7 kΩ
- R1 = 180 Ω ou 220 Ω
- P1 = 100 kΩ
- Co = 1 μF
- C1 = 4.7 μF
- C2 = 22 nF

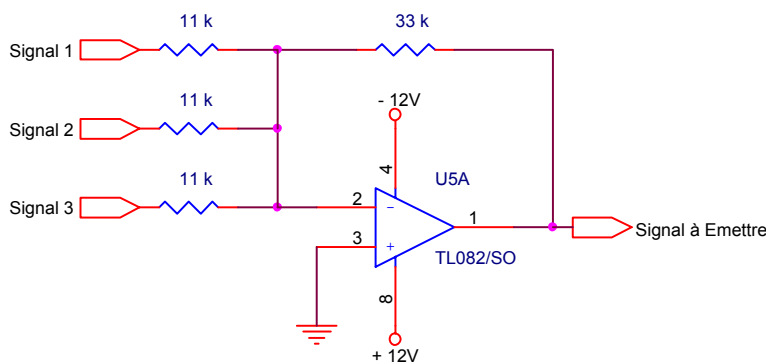
Dimensionnement des composants :

- Soit  $Z_2 = R_2 + P_2$  : 
$$F_o = \frac{1}{Z_2 \cdot C_2}$$
  
 $F_o$  : fréquence centrale de la bande IRIG

- Soit  $Z_3 = R_3 + P_3$  : 
$$F = \frac{1}{Z_2 \cdot C_2} \left(1 + \frac{Z_2}{Z_3}\right) \left(1 - \frac{V_e}{3}\right)$$
  
 $V_e$  : Tension d'entrée du VCO  
 $F$  : fréquence IRIG correspondant à  $V_e$

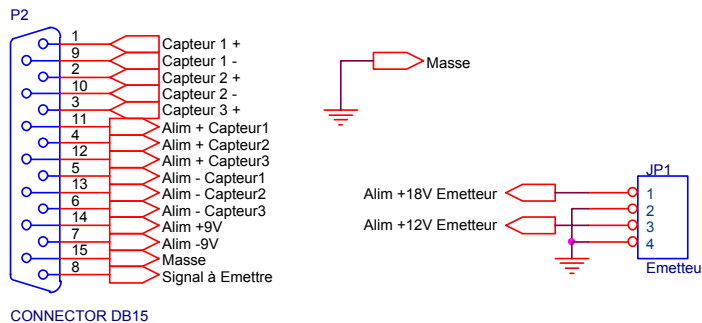
Canal	Fmin (Hz)	Fo (Hz)	Fmax (Hz)	Z2 (en $\Omega$ )	Z3 (en $\Omega$ )
2	1 040	1 300	1 560	34 965,03	174 825,17
3	3 200	4 000	4 800	11 363,64	56 818,18
4	10 400	13 000	15 600	3 496,50	17 482,52

4 - Le Sommateur



On peut noter que l'on obtiendra au final un signal avec un gain de  $-1$  par rapport à ce que l'on attend. Or ceci n'est pas important puisque l'on travaille en modulation de fréquence. De ce fait, l'ensemble de l'information est porté par la fréquence du signal et non pas par son amplitude.

5 - Les entrées / sorties



CONNECTEUR DB15

Brochages des Entrées / Sorties

On remarque via ce schéma que les alimentations de capteurs sont faites sur cette carte ainsi que celle de l'émetteur. Les alimentations des amplis-ops seront de  $-12/+12V_{cc}$  puisque les signaux après application du gain ne dépassent pas 12V et ne passent pas en dessous de -12V.

# VI - MECANIQUE

Au commencement du projet, nous nous sommes demandés quelles options technologiques nous voulions mettre en place sur la mécanique de la fusée : séparation transversale ou latérale, quel système de séparation.

Le choix d'une séparation transversale s'est vite imposée. En effet, la séparation latérale impose la découpe d'une porte dans le corps de la fusée. Cela à pour conséquence de fragiliser fortement la structure et un dimensionnement des renforts à appliquer s'impose. De plus, la fermeture de la porte doit être parfaite afin que l'écoulement d'air ne l'arrache pas pendant le vol. La séparation transversale nous semble donc plus fiable.

Quant à l'actionneur, nous avons choisi un moteur à courant continu. Ce choix à été principalement motivé par le peu d'expérience de notre club dans son utilisation. Ainsi, X-MAE sera la première fusée du club avec un moteur à courant continu.

## 1. *La structure générale*

La structure de la fusée est composée de :

- 6 tubes constituant les différents compartiments ;
- une ogive ;
- 7 pièces de liaison en aluminium ;
- 8 ailerons (4 en partie haute et 4 en partie basse).

### Tubes :

Afin d'obtenir un gain de masse non négligeable tout en ayant de bonnes propriétés mécaniques, 5 tubes sont en fibre de carbone. Ces tubes sont les compartiments propulseur, expériences, électronique, séparation et parachute. De plus, certains étant porteurs, ils doivent être dimensionnés pour reprendre tous les efforts, essentiellement de compression (lors de la phase de poussée  $\approx 10$  G) et de la traction (lors de l'ouverture du parachute). Ils feront donc entre 1 et 1.5 mm d'épaisseur.

Le dernier tube, la case gyrophare, doit être transparent afin de pouvoir visualiser le gyrophare qu'elle renferme. Pour cela, nous avons opté pour une structure en plexiglas transparent.

### Ogive :

L'ogive, contrairement à nos fusées habituelles, ne contient ni émetteur ni antenne. Elle ne nécessite donc pas un matériau transparent aux ondes de la télémétrie. De plus, la fusée n'étant pas forcément destinée à être peinte, l'ogive sera réalisée en carbone par souci d'homogénéité avec les autres compartiments.

### Bagues :

Afin de pouvoir relier les tubes, nous utilisons des bagues en aluminium (de type AU4G ou Alumec selon la sollicitation des pièces). La liaison avec les corps en composite est réalisée par des vis M3 ou des rivets si le démontage n'est pas nécessaire.

### Implantation :

Nous avons choisi de placer l'électronique dans la partie inférieure de la fusée alors que la logique voudrait qu'elle soit en partie haute afin de remonter le centre de gravité. Cela s'explique tout d'abord par notre envie de non conformité. De plus, nos expériences se trouvant au niveau de la plaque de poussée, cela permet de rapprocher l'électronique des capteurs et ainsi éviter de faire passer un nombre trop important de fils au travers de la séparation.

## **2. Caractéristiques de la fusée**

### *1 - Caractéristiques mécaniques*

Toute la fusée a été modélisée sous le logiciel SolidWorks©. A partir des données fournies par le logiciel, nous avons pu effectuer le devis de masse et le calcul du centre de gravité. La fusée a les caractéristiques suivantes :

Propulseur	Chamois	
Masse totale (avec propulseur) :	9.2 Kg	
Dimensions	diamètre principal	100 mm
	diamètre rétreint	80 mm
	hauteur	1800
	nombre d'ailerons	4 principaux / 4 plans canard
Centre de gravité (par rapport à l'ogive)	1100	
Type de séparation	Transversale	
Type d'actionneur	Moteur à courant continu	

### *2 - Données de vol*

La fusée étant de forme non conventionnelle (rétreint + ailerons inversés), nous ne pouvons pas utiliser le logiciel Trajec pour obtenir les caractéristiques du vol de la fusée. Pour cela, nous avons développé notre propre logiciel que nous avons validé avec des fusées "classiques" (forme acceptée par Trajec) ayant déjà volées. Bien entendu, les calculs sont aussi faisable à la main.

Pour une rampe inclinée à 80°, nous obtenons :

Accélération maximale	10.8 g
Vitesse maximale	209 m/s
Temps de culmination	18 s
Altitude à culmination	1624 m

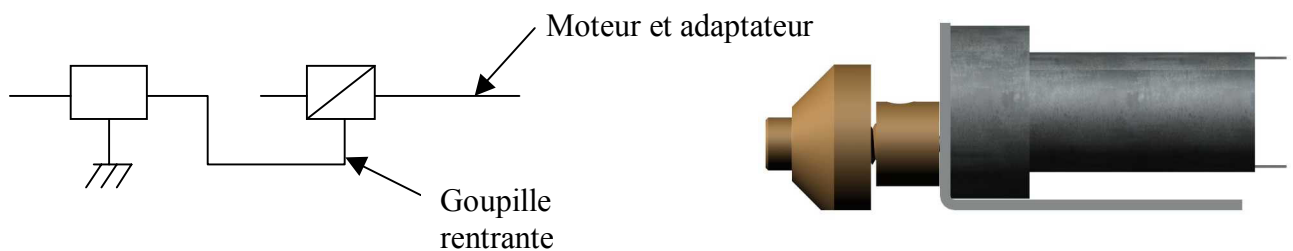
### 3. *Systeme de separation*

Une fois le choix du moteur à courant continu et de la separation transversale effectués, nous devons concevoir le principe de liaison entre les 2 étages de la fusée et définir le fonctionnement du moteur.

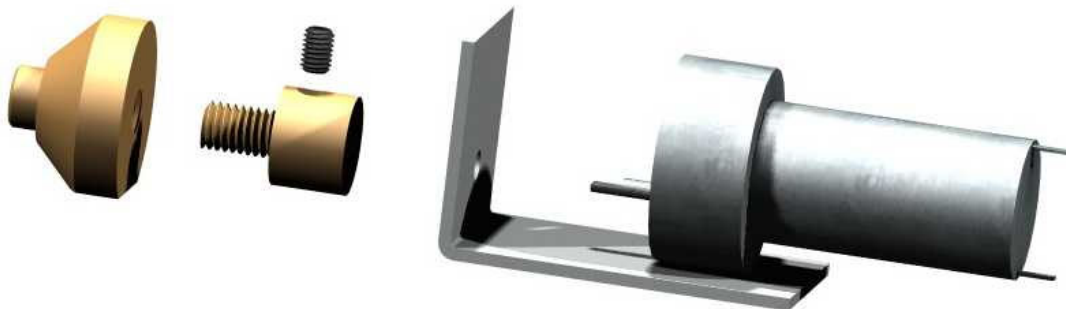
Nous avons opté pour une liaison de type goupille rentrante. Ainsi, les deux parties de la fusée possèdent un trou se trouvant en vis-à-vis lorsque la fusée est fermée. Afin de réaliser la liaison mécanique, une goupille est insérée dans l'orifice de chaque partie et il suffit de la rentrer pour libérer les 2 étages de la fusée.

Le mécanisme permettant la separation comprend trois pièces dont un moteur à courant continu dont les caractéristiques seront précisées en annexe. En sortie du moteur vient se loger un adaptateur dont l'extrémité est filetée afin d'assurer une liaison hélicoïdale avec la troisième pièce, la goupille rentrante. Cette dernière sera en glissière par rapport au bâti, ce qui explique sa forme parallélépipédique. L'adaptateur est fixé au moteur grâce à une vis pointeau M5, qui s'appuiera sur le méplat de la sortie moteur et transmettra ainsi le mouvement de rotation.

#### Schéma cinématique



#### Vue éclatée



L'ensemble du système sera fixé à la bague separation pour simplifier la mise en œuvre (montages et démontages de l'ensemble de la fusée) et l'intégration. Cependant, conscients qu'une fixation la tête en bas n'est pas l'idéal lors de la phase propulsée, des cales seront mises en place pour palier à ce problème.

#### Choix du moteur

Il faut réaliser un bon compromis entre ses caractéristiques mécaniques et électroniques. Une fois le choix fait mécaniquement, nous cherchons à obtenir une tension de commande qui soit relativement facile à fournir et une consommation qui ne soit pas excessive.

Le moteur doit avoir un couple minimal afin de mettre en mouvement les pièces. Ce couple s'oppose à l'effort axial  $F_a$  de frottement généré sur la goupille par l'effort radial  $F_r$  dû au ressort.  $F_a$  a pour expression :

$$F_a = \mu \cdot F_r \quad \text{où} \quad \left\{ \begin{array}{l} F_r = K \cdot \Delta x \text{ (voir partie système de récupération pour le calcul)} \\ \mu : \text{facteur de frottement} \end{array} \right.$$

Le couple minimal se déduit de la relation suivante :

$$L_a = F_a \cdot R \cdot \tan(\alpha + \varphi') \quad \text{où} \quad \left\{ \begin{array}{l} R : \text{rayon moyen de la liaison hélicoïdale} \\ \alpha : \text{pente telle que } \tan(\alpha) = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot R} \text{ (p est le pas)} \\ \varphi' : \text{angle de frottement fictif tel que } \tan(\varphi') = 1,155 \cdot \mu \end{array} \right.$$

Après étude, nous avons opté pour une liaison hélicoïdale de diamètre 8mm, ce qui induit, en prenant la norme ISO, à un pas de 1.25mm. De plus, le facteur de frottement est de 0.1. On en déduit :

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 2.847 \\ \varphi' = 6.588 \\ F_r = 130.8 \end{array} \right\} L_a = 8.69 \text{ N.mm} = 8.69 \text{ mN.m}$$

Nous avons donc cherché un moteur remplissant cette caractéristique mécanique (couple), tout en étant utilisable dans des conditions "raisonnables" pour l'électronique (puissance, tension et intensité). Finalement, notre choix s'est porté sur le moteur à courant continu suivant :

Type moteur	IG33
Vitesse (tr/mn) à 12 V	75
Couple max. (mNm)	200
Rapport de réduction	50:1
Tension nominale (V c.c.)	12
Courant à vide (mA)	50
Longueur (mm)	57,8



## 4. *Système de récupération*

L'intérêt n'étant pas de réaliser une fusée pour la voir s'écraser au sol mais au contraire de la récupérer dans son intégralité, X-MAE comporte un système de récupération. Pour cela, nous utilisons un parachute placé dans la partie supérieure de plus petite section. Il est mis dans 2 demi coquilles en fibre de verre pour le protéger et permettre de l'éjecter. En effet, lors de la séparation des 2 étages (rupture de leur liaison mécanique), un ressort pousse sur les coquilles qui à leur tour poussent sur la partie inférieure de la fusée. Ainsi, les coquilles sont éjectées et libèrent le parachute à l'extérieur de la fusée.

Bien entendu, les 2 parties sont reliées au parachute au moyen de sangles accrochées à un émerillon (évite d'emmêler les suspentes du parachute). Pour la partie inférieure, la sangle est reprise sur la bague de séparation et pour la partie supérieure, elle est reprise sur le rétreint supérieur.

### 1 - *Dimensionnement du ressort*

#### **Principe :**

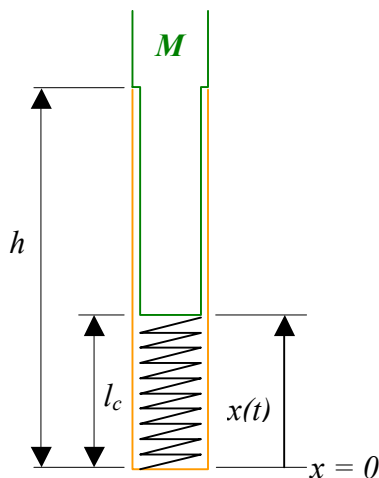
Le ressort doit exercer une poussée suffisante de manière à ce que les coquilles contenant le parachute soient correctement éjectées. Afin de garantir ce fonctionnement en condition de vol, le cahier des charges impose une sortie franche des coquilles en soumettant la fusée à la pesanteur suivant son axe longitudinal. Une sortie d'au moins la moitié des coquilles est demandé, mais une sortie complète est toujours bienvenue dans la mesure du possible.

#### **Etude Energétique :**

L'étude énergétique qui suit permet de déterminer la constante de raideur  $k$  d'un ressort.

**Système étudié :** Partie supérieure de la fusée poussée par le ressort

#### **Modélisation :**



Définition des variables :

- $h$  : hauteur de l'éjection (m)
- $l_c$  : longueur du ressort comprimé (m)
- $l_0$  : longueur du ressort à vide (m)
- $k$  : raideur du ressort (N/m)
- $x$  : altitude du système (m)
- $M$  : masse du système (kg)
- $g$  : accélération de la pesanteur ( $m/s^2$ )

### Rappels d'énergétique :

Principe de conservation de l'énergie : L'énergie totale d'un système est constante au cours du temps dans un repère donné.

Energie Totale ( $E_t$ ) = Energie Mécanique ( $E_m$ ) + Energie Cinétique ( $E_c$ )

Energie Mécanique =  $\sum$ Energies Potentielles ( $E_p$ )

avec :

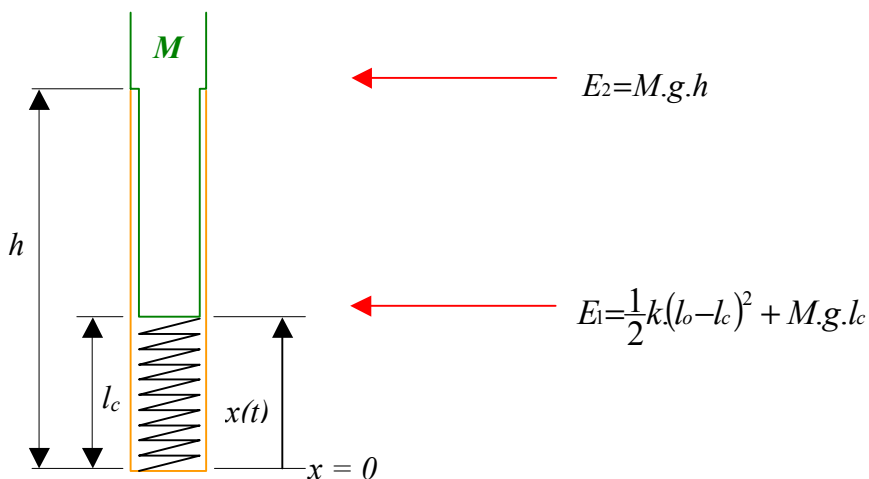
$E_c = \frac{1}{2}m.v^2$  Energie cinétique d'un système de masse  $m$  se déplaçant à la vitesse  $v$

$E_p = m.g.h$  Energie potentielle due à la pesanteur d'un système de masse  $m$  situé à une hauteur  $h$

$E_p = \frac{1}{2}k.\Delta x^2$  Energie potentielle contenue dans un ressort de raideur  $k$  et comprimé d'une longueur  $\Delta x$

### Application du principe de conservation de l'énergie au système :

On considère sortir entièrement le parachute, ce qui équivaut à une hauteur  $h-l_c$ .



*Avant éjection :*

Le ressort est comprimé d'une longueur  $(l_o - l_c)$ , le bas du système est à une altitude  $l_c$ , sans vitesse. On a donc  $E_1$ .

*En fin d'éjection :*

Le bas du système n'est plus en contact avec le ressort (ce dernier n'intervient donc plus), à une altitude  $h$  et sans vitesse. On a donc  $E_2$ .

*OBTENTION DE  $k$*

La conservation de l'énergie fait que  $E_1 = E_2$ , d'où :

$$k = \frac{2.M.g.(h-l_c)}{(l_o-l_c)^2}$$

Application à notre cas :

h (m) =	0,40
lc (m) =	0,08
lo (m) =	0,20
compresio n (m) =	0,12
M (kg) =	2,49
<b>k (N/m) =</b>	<b>1084,71</b>
F (N) =	130,17

On prendra donc un ressort :

raideur  $k=1090$  N/m  
longueur compressée  $\Delta x = 120$  mm

## 2 - Dimensionnement du parachute

On sait que la surface du parachute se calcule grâce à la formule suivante :

$$S = \frac{2.M.g}{\rho_0.Cx.V_d^2}$$

Dans notre cas, on a:

M (kg) =	8,8085415
Rho =	1,30
Cx =	1
Vd (m/s) =	10
<b>S (m<sup>2</sup>) =</b>	<b>1,3294121</b> <b>9</b>

On prendra  $S=1.4$  m<sup>2</sup>

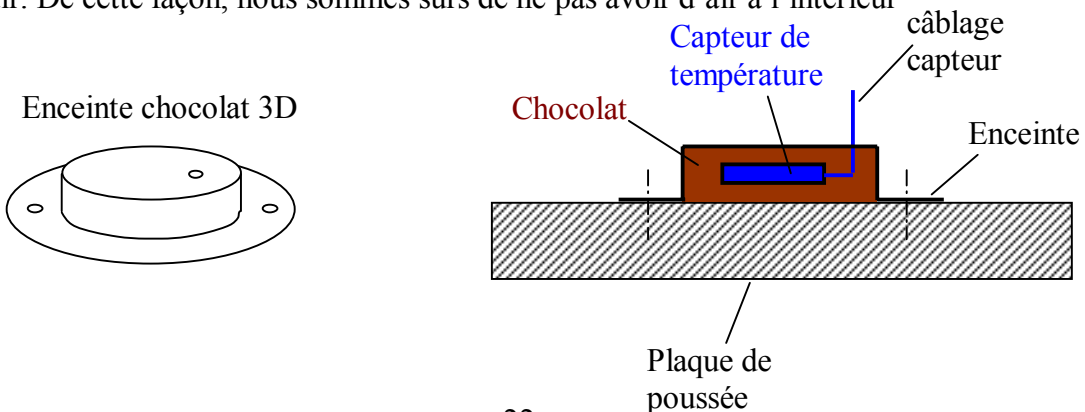
## 5. *Expériences*

Les expériences sont placées dans le compartiment à expérience, juste au dessus de la plaque de poussée du moteur.

### 1 - Mesure de température :

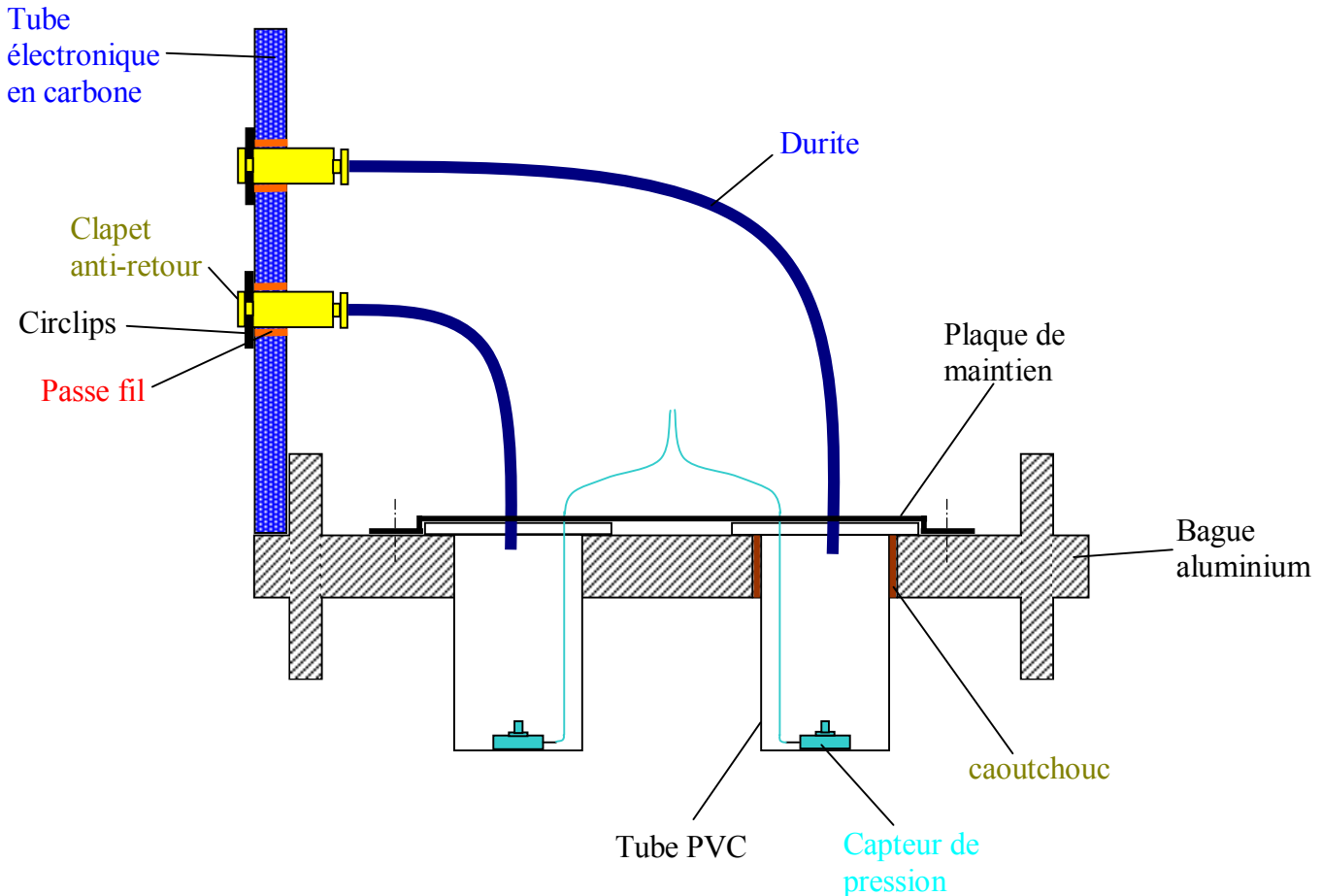
Le capteur de température est placé directement à l'intérieur du chocolat qui est moulé dans l'enceinte représentée ci-dessous (en coupe et en 3D). Cette enceinte est fabriquée en aluminium et vissée sur la plaque de poussée.

Afin de réaliser ceci, nous ferons fondre le chocolat que nous déposerons dans une enceinte hermétique. Nous remplirons l'enceinte et une fois refermée, nous laisserons l'ensemble refroidir. De cette façon, nous sommes sûrs de ne pas avoir d'air à l'intérieur



## 2 - Mesure de pression :

Afin de caractériser l'amortissement des vibrations de la fusée par du caoutchouc, nous effectuons une mesure de pression. En effet, on met de la bière dans 2 tubes en PVC implantés sur la bague expérience comme suit.



Il suffit de remplir les 2 tubes via un moyen externe juste avant de basculer les interrupteurs en rampe. Ceci se fera de la manière suivante :

- Remplissage d'un tube à l'aide d'une seringue
- Mise du clapet anti-retour sur le tuyau du tube rempli
- Mise en place du clapet anti-retour
- Même procédure pour le deuxième tube

Par simplicité, les tubes seront des boîtiers de pellicule photo. La seule différence est que l'un des tubes est relié à la structure par l'intermédiaire de caoutchouc. De plus, afin que les vibrations occasionnées lors de la mise en rampe de la fusée n'altèrent nos mesures, nous avons opté pour un remplissage des tubes au dernier moment, fusée fermée en rampe. Pour cela, nous utilisons une durite pour acheminer le liquide aux tubes et un clapet anti-retour afin d'éviter à la bière de s'échapper et fermer hermétiquement l'enceinte. Les deux clapets anti-retour utilisés seront affleureront le carbone.

Cette expérience, vue son implantation tardive, nécessite un protocole de mise en œuvre :

- Montage du tube électronique sur la bague expérience
  - mettre en place les tubes PVC sur la bague
  - passer le tuyau par le trou du tube carbone et le fermer avec le clapet
  - emboîter et visser le tube carbone
  - faire affleurer les clapets sur la peau carbone
- remplissage des tubes
  - sortir le tuyau et enlever le clapet anti-retour
  - verser le volume de bière souhaité dans la durite
  - boucher la durite avec le clapet et le faire affleurer à la peau carbone

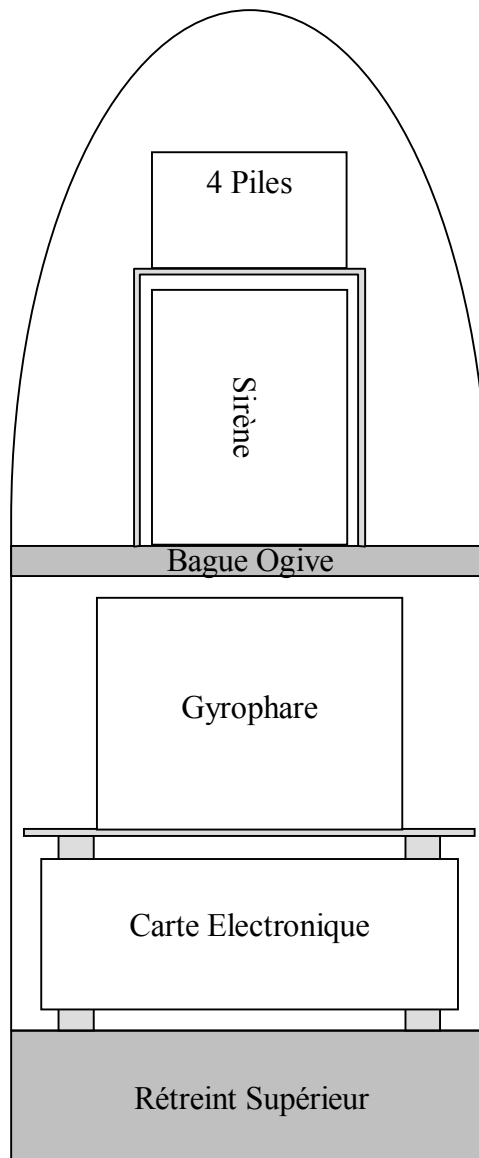
De plus, le jour du vol, certains paramètres doivent être vérifiés :

- le volume de bière inséré dans chaque tube doit être identique
- la température externe

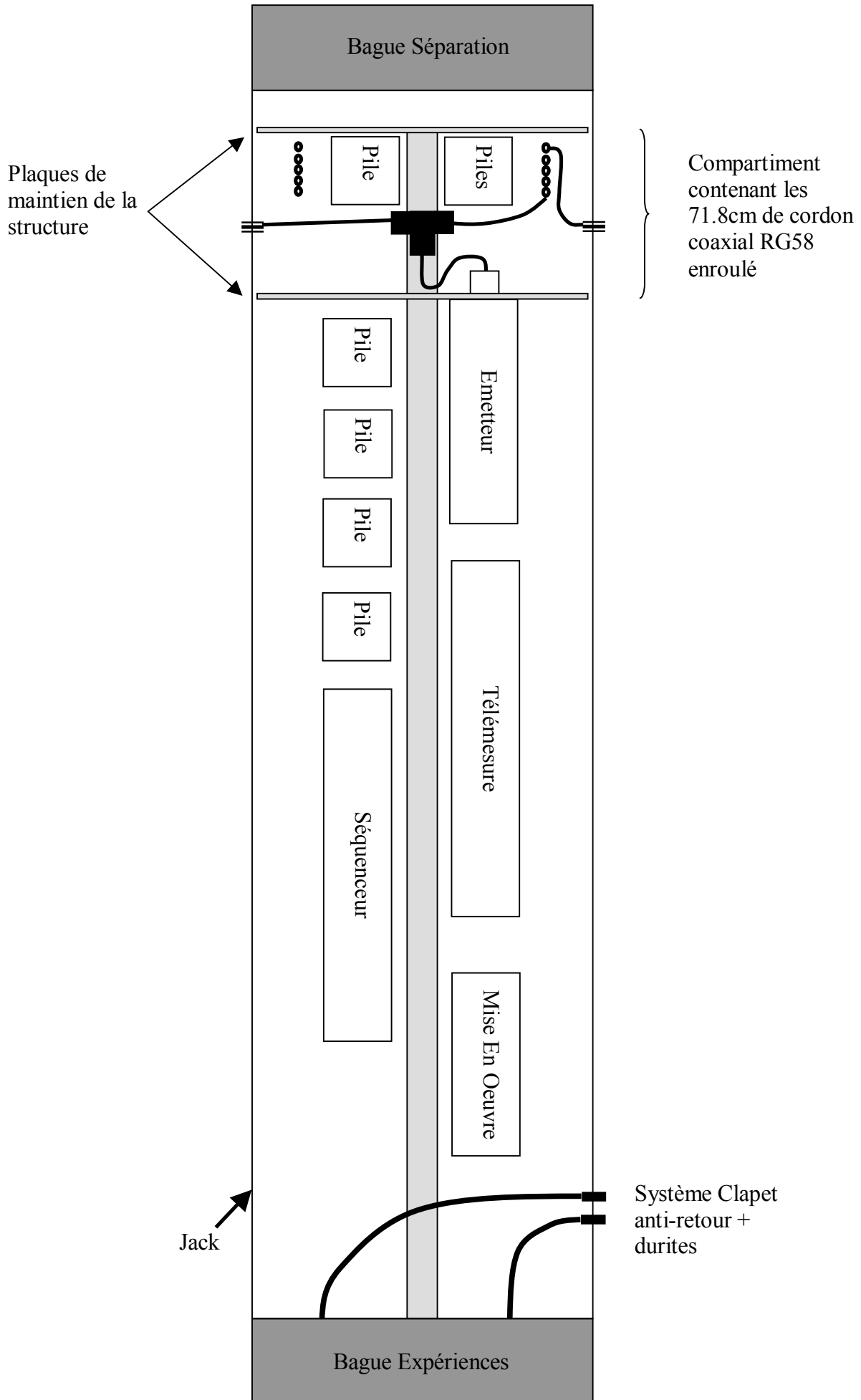
## 6. *Intégration*

L'électronique sera intégrée dans la fusée comme suit. Elle est portée par une structure en aluminium composée de 2 tiges de section 6x6 mm.

*Case électronique supérieure (ogive)*



Case électronique inférieure (tube)



# VII - COMPTE RENDU DE VOL X-MAE

## 1. Mécanique

Lors de notre arrivée à Millau, la mécanique de la fusée était quasiment finie mais ça n'a pas été sans mal.

En début d'année, tous les plans avaient été définis en se basant sur des tubes en carbone de diamètre externe 100mm réalisés sous vide. Malheureusement, notre sponsor s'est trouvé dans l'incapacité de fabriquer les moules utiles à la réalisation des tubes et nous avons espéré longtemps les recevoir. Nous avons donc dû passer en mode dégradé pour réaliser nos tubes. On a opté pour un drapage sans vide sur tube en PVC de diamètre extérieur 100mm (se trouve chez tout bon magasin de bricolage sous le nom tube à chiottes ;o) ). Nos tubes faisaient donc 100 mm en interne et non en externe. Tous les plans dessinés ne correspondaient plus à la réalité et certaines pièces (quasiment toutes les bagues) avaient été réalisées à partir des anciens plans. Par chance, les bagues se trouvant encore en ébauche, nous avons pu les adapter au nouveau diamètre ou rajouter des surépaisseurs à certains tubes.

Cela a fait que le planning a littéralement explosé et nous avons dû bosser comme des fous ... nominal !!!

### 1 - Contrôles

En ce qui concerne la mécanique, 2 points ont posé problème ; 1 pour les contrôleurs et 1 pour les membres du projet.

Nous nous sommes vite rendus compte que la fusée ne satisfaisait pas au test de la flèche. En effet, le jeu au niveau de la séparation était trop important et la goupille réalisait alors un pivot entre les 2 parties qu'elle maintenait. La fusée ressemblait plus à une "banane" qu'autre chose. Durant 2 jours nous avons envisagé différentes solutions :

- reperçage du trou pour la goupille
- augmentation de la force de poussée du ressort
- remplissage du jeu avec un joint torique élastique : étant à Millau, l'élastique fourni avec les badges à l'arrivée a fait l'affaire

Mais aucune n'a été réellement concluante. Voyant que le joint élastique rigidifiait nettement la séparation mais pas suffisamment, nous avons décidé de réaliser un joint torique en aluminium. Il ne pourrait pas se déformer lors du test de la flèche comme l'élastique. Cette solution s'est avérée la bonne, nous permettant de continuer la validation. Il nous a tout de même fallu réaliser une couronne de diamètre extérieur 103 mm et 100 mm interne à partir d'une plaque d'aluminium de 1mm et une dremelle ... un jeu de patience.

L'autre point "problématique" était la validation de la stabilité de la fusée. Vu la configuration choisie (ailerons inverses + rétreints + plan canard) les contrôleurs, et plus particulièrement Laurent Regnault, ont eu à vérifier la stabilité par eux-mêmes. Ça a été l'occasion de longues discussions mais à la fin notre démarche a été validée.

## 2 - Mise en œuvre

D'un point de vue mécanique, nous n'avons rencontré qu'un seul souci lors de la mise en œuvre. Nous avons laissé un jeu important entre la tuyère du propu et la bague ailerons. Un pyro est venu nous voir et nous a dit que ce n'était pas commode pour le centrage du moteur. Ce jeu doit être le plus petit possible afin d'éviter les risques de mauvais centrage et donc une poussée non axiale.

Un problème d'intégration, connu d'ailleurs mais n'ayant pas pu être modifié, est survenu en tente club. L'intégration des jacks passant au travers de la case parachute s'est révélée extrêmement délicate. Il n'est donc pas conseillé de la reproduire dans le futur sans l'améliorer.

## 3 - Vol

La fusée ayant une aérodynamique peut commune, elle a été lancée dans des conditions de sécurité accrues : tout le public s'est reculé au maximum. Le risque était que nos calculs de stabilité soient faux et que la fusée suive une trajectoire exotique pouvant revenir sur le public.

Finalement, le comportement en phase propulsée a été "parfait". La fusée a bien suivi sa trajectoire dès la sortie de rampe et le roulis était faible. Malheureusement, après 4 secondes de vol (3.8 d'après l'électronique), un aileron s'est arraché et la fusée est naturellement partie en vrille. De plus, la fusée ne s'est jamais séparé et le parachute est donc resté confiné.

Le vol a donc été très court et ne permet pas entièrement de valider la configuration aérodynamique choisie et le calcul de stabilité. Cependant, dans ces 4 secondes, la fusée était très stable en phase propulsée (2.5s), la fin de propulsion n'a pas modifié la trajectoire et la fusée était stable pendant 1s de phase balistique. Cela laisse donc fortement penser que nos calculs étaient bons. La fusée aurait très certainement suivi la trajectoire prévue.

Par chance, la fusée n'a pas chuté de trop haut et est tombée à plat. Cela nous a permis de la récupérer en un assez bon état et d'analyser ce qu'il s'est passé.

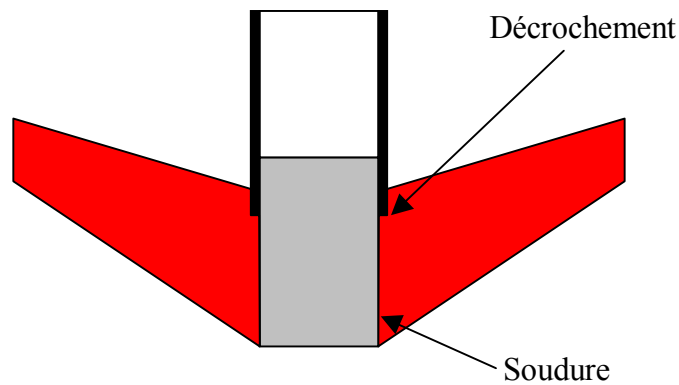
### **ANALYSE DU VOL :**

#### Pourquoi un arrachage d'aileron ?

Après réflexion et analyse des restes de la fusée nous avons trouvé les causes de l'arrachage. Vu le positionnement des ailerons en flèche inverse, les efforts qui s'exercent à l'implanture sont supérieurs à ceux vus par des ailerons classiques.

Nous pensions en premier lieu que les soudures étaient en cause et n'avaient pas résisté au vol. Mais il n'en est rien car toutes les soudures sont encore intactes. L'aileron s'est arraché au-dessus de la soudure et les 3 autres présentent des fissures au même endroit.

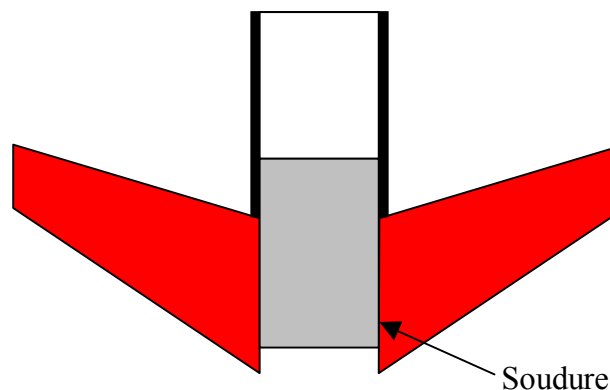
Il apparaît que la cause provient d'une mauvaise disposition des ailerons. On peut dire que l'implantation était la pire envisageable. En effet, les ailerons avaient une base plus grande que la bague ailerons. Nous avons opté pour les faire dépasser sur la partie supérieure comme le montre le schéma suivant :



Cette disposition comporte un décrochement à angle droit fragilisant l'aileron et causant une concentration des contraintes à cet endroit. Une fissure est donc apparue au niveau du décrochement et s'est propagée tout le long de l'aileron au dessus de la soudure. Seul 1 aileron s'est arraché mais les 3 autres étaient fortement fissurés.

Solution pour éviter l'arrachage :

Le problème des ailerons inversés est le chargement subit. Il est supérieur à celui vu par un aileron "classique" et les ailerons ne doivent donc pas comporter de zones fragilisantes. Il faut donc absolument éviter les décrochements et les angles droits. La solution est de faire dépasser les ailerons vers le bas :



Pourquoi le parachute n'est pas sorti ?

Nous pensions tout d'abord que le système de séparation n'avait pas fonctionné. Mais après analyse des "débris" il s'avère que la cause ne provient pas de la séparation. Nous avons retrouvé le moteur à courant continu en butée ; il a donc convenablement marché et a bien tiré la goupille. Lors de la descente en vrille, les 2 parties de la fusées n'étaient donc plus liées par la goupille. Nous supposons que les vrilles de la fusée et principalement le changement brutal de trajectoire de la fusée après arrachage de l'aileron ont coincé les tubes de la séparation. Ils se sont mis de travers et l'effort nécessaire pour les séparer était supérieur à celui fournit par le ressort.

## 2. *Electronique générale*

L'électronique générale de la fusée est arrivée terminée à Millau. De même pour la chaîne de mesure. La mise en œuvre de la fusée ainsi que le contrôle de la partie électronique de la fusée n'a pas posé de problème.

### 1 - Contrôles

La partie générale de l'électronique n'a posé aucun problème. Le vol simulé ainsi que les contrôles de la partie séquenceur se sont déroulés sans aucune difficulté. L'ensemble de l'électronique autre que chaîne de mesure fonctionnait intégralement.

### 2 - Mise en œuvre

La mise en œuvre de l'électronique s'est déroulée en 2 étapes : en tente club puis sur rampe. En tente club, nous avons de nombreuses difficultés à intégrer les jacks présents dans la case parachute permettant de relier l'électronique sous coiffe à celle située au-dessus du propulseur. Leur intégration aurait mérité une meilleure étude. De même la principale action que nous avons eu en tente club sur la partie électronique concernait le pisto-collage des cartes ainsi que des borniers et des piles. Ceci aurait dû être fait sur le R3, mais en raison de l'heure tardive de la fin des contrôles, nous avons préféré dormir pour être sûrs de mettre en œuvre notre projet dans des conditions optimum.

Sur rampe notre action s'est bornée à basculer les interrupteurs et à fermer l'ogive. Aucune interruption n'a été à mentionner.

Il est à noter que notre système de séparation ainsi que l'architecture interne de la fusée s'est révélé extrêmement pratique pour toute manipulation si ce n'est le problème des jacks en case para.

### 3 - Vol

Lors du décollage et de la phase propulsée, le gyrophare fonctionnait. De ce fait, nous pouvons affirmer que toute la partie électronique générale s'est correctement mise en route et que donc le séquenceur s'est déclenché puisque la mise en route du gyrophare était commandée par le même signal.

Après la récupération de la fusée, nous avons pu observer que la goupille de séparation s'était rétractée. Or ceci ne pouvait se faire que si le moteur avait reçu l'ordre du séquenceur de libérer le système au vu du dimensionnement mécanique. Nous pouvons donc affirmer que la partie séquenceur de la fusée et donc l'électronique générale a fonctionné sans problèmes et qu'elle ne rentre donc pas en compte dans les causes du balistique.

### 3. Chaîne de mesure & expériences

Lors de notre phase d'étude nous n'avions pas de moyens de vérifier correctement le dimensionnement des antennes moustaches de la fusée. Avant Millau nous n'avions pas eu le temps de vérifier notre chaîne de mesure. Nous avons uniquement pu vérifier la modulation ainsi que l'amplification. Nous n'avions donc pas étalonné nos différentes voies.

#### 1 - Contrôles

##### Etalonnage

Nous avons donc été en premier lieu confrontés à l'étalonnage de nos capteurs et de nos chaînes de mesure. Nous nous sommes vite aperçus que celle-ci ne fonctionnait pas. En effet, la partie modulation ne fonctionnait absolument pas. Il était impossible de régler les fréquences de modulation sur celles imposées par les normes IRIG. Ceci venait d'une grosse erreur de dimensionnement des composants. Nous avons donc redimensionné les composants des VCO. Une fois ceci fait, les chaînes de mesure étaient aptes à être contrôlées.

Nous avons étalonné les chaînes de mesure de pression via un système de seringue graduées. En effet, nos capteurs fonctionnant en pression relative, il fallait imposer un delta de pression fixe. Connaissant alors le volume d'une des 2 seringues ainsi que le delta de pression à appliquer, on peut alors déterminer le volume de la 2<sup>e</sup> seringue correspondant à la pression à appliquer. Le minimum est de 0 bar et la maximum de 2 bars en pression relative (différentielle).

Ceci nous donne donc les gains et offset suivants :

- $\text{offset\_pression} = 0$ ; % en mV
- $\text{gain\_pression} = 15.15$ ;
- $\text{sensibilite\_pression} = 11$ ; % en mV/psi
- $\text{psi\_to\_bar} = 1/15$ ;

Pour l'étalonnage de la chaîne de mesure de température, nous avons approché notre capteur d'une lampe et vérifié que la fréquence après modulation évoluait linéairement. Nous avons réglé le minimum sur la température ambiante de 22° puis le maximum sur 100°C.

Ceci nous donne donc les gains et offset suivants :

- $\text{offset\_temperature} = -1.6667 * 1000$ ; % en mV
- $\text{gain\_temperature} = 6.6667$ ;
- $\text{sensibilite\_temperature} = 10$ ; % en mV/bar

##### Pré-HF

La partie pré-HF n'a pas posé de problème puisque les fréquences étaient alors celles déterminées dans les normes IRIG. Les voies modulaient correctement et la sommation des voies était correcte.

## HF

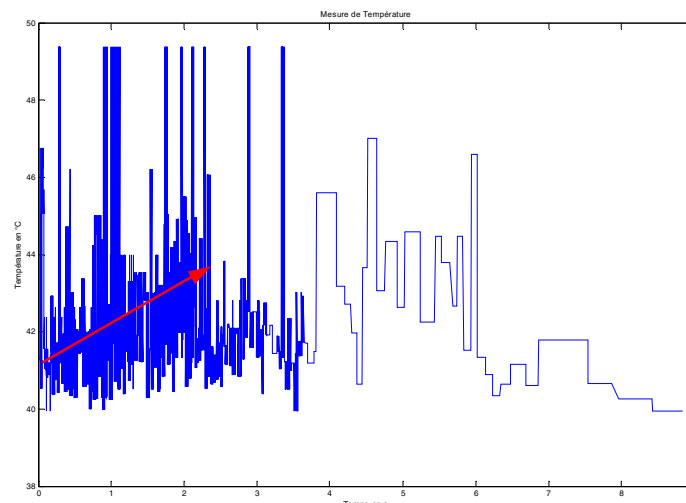
Cette partie a posé problème. En effet, n'ayant pu dimensionner l'écartement des antennes moustaches de manière précise, nous avons été confronté à une télémessure un peu faible en puissance. Les contrôleurs pensaient que ceci venait des émetteurs Kiwi Millenium eux-mêmes. En effet, la puissance émise était différente selon l'émetteur utilisé. Un test d'émission a été prévu en tente club afin de vérifier sur place le niveau de puissance avec l'émetteur de vol. Selon eux, notre dimensionnement des antennes et leur déphasage était correct, ce qui confirme nos études théoriques de l'écartement des antennes par rapport au corps ainsi que le déphasage de 180° des antennes.

### 2 - Mise en œuvre

Nous avons donc testé notre émetteur et celui-ci s'est avéré suffisant et apte au vol. Nous avons rencontré des difficultés au niveau de la mise en œuvre des expériences à savoir la bière. En effet, nous avons rencontré de nombreux problèmes de fuites qui se sont soldés par le pisto-collage des capsules. L'intégration du chocolat et du capteur de température n'a absolument pas posé problème. On peut également noter que notre principe d'intégration des antennes s'est avéré très pratique pour la mise en œuvre. Sur le terrain du Larzac, nous n'avons donc pas rencontré de problème majeur électroniquement parlant pour la partie chaîne de mesure.

### 3 - Vol & exploitation

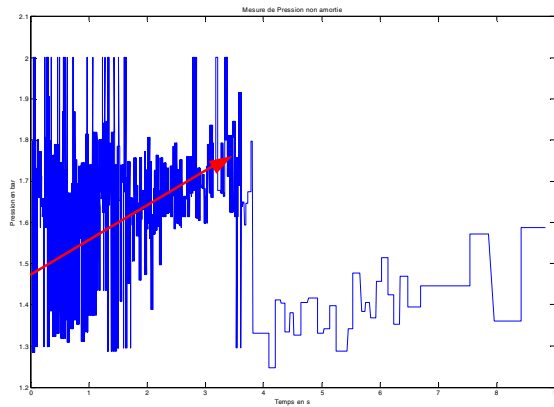
Lors du vol, nous avons pu observer la perte d'une antenne une fois la fusée mise en rotation après la perte de l'aileron. Ceci conduit donc à une perte de télémessure. Une fois le vol effectué, nous avons appris via le camion CNES que notre télémessure avait un comportement bizarre et était très bruitée soit très très peu exploitable. Nous avons donc tenté d'exploiter ces mesures. Ceci nous donne les courbes suivantes :



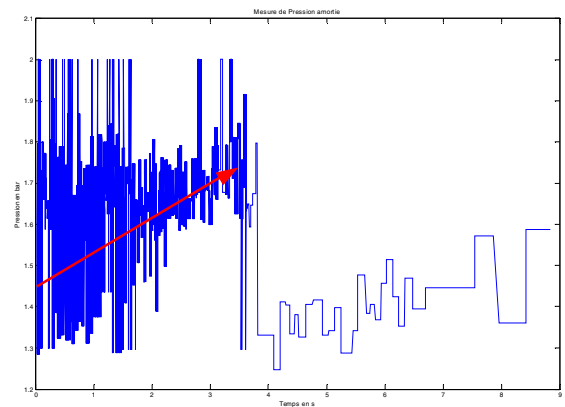
*Température en °C*

Malgré une mesure très bruitée, on peut distinguer une montée linéaire de la température de la plaque de poussée. On distingue également la perte de télémessure au bout de 3.8s. Le bruit empêche très largement l'exploitation de ces courbes et de tout résultat numérique ayant pu nous permettre de pousser notre étude de l'échauffement de la plaque de poussée.

On peut noter en premier lieu que la plaque de poussée a une température initiale non négligeable à savoir environ 40°C. La chute de température autour de 2.5s reste par contre inexpliquée.

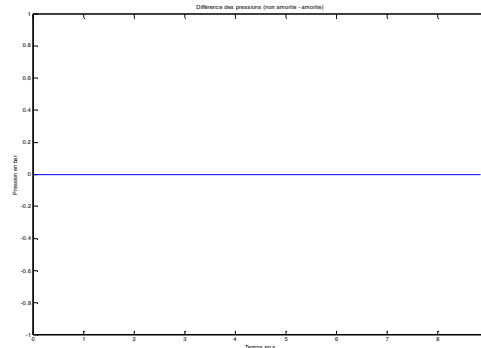


*Pression non amortie en bar*



*Pression amortie en bar*

La pression reste tout aussi bruitée. On retrouve la phase de croissance de la pression. Cette phase présente une croissance mais qui n'est pas linéaire. Elle dépend des vibrations de la fusée. On remarque une oscillation de la pression puis une augmentation. Ceci indique donc vibration assez importante précédée d'une vibration plus faible de la fusée. Il est intéressant de noter que l'on retrouve bien la perte de télémessure au bout de 3.8s. Le but de ces 2 mesures était d'étudier l'effet de l'amortissement du type de montage des enceintes sur la fusée. On trace donc la différence entre les 2 courbes :



*Différence de pression*

Il est très étonnant de noter que le bruit est également réparti sur les 2 voies et que les 2 mesures sont exactement identiques au cours du temps. Nous supposons donc qu'il y a eu une grosse erreur dans la réception des mesures ou dans la mesure elle-même.

Il est fortement décevant de ne pas pouvoir filtrer correctement ces mesures. En effet, nous ne pouvons réaliser correctement notre étude et la quantifier.

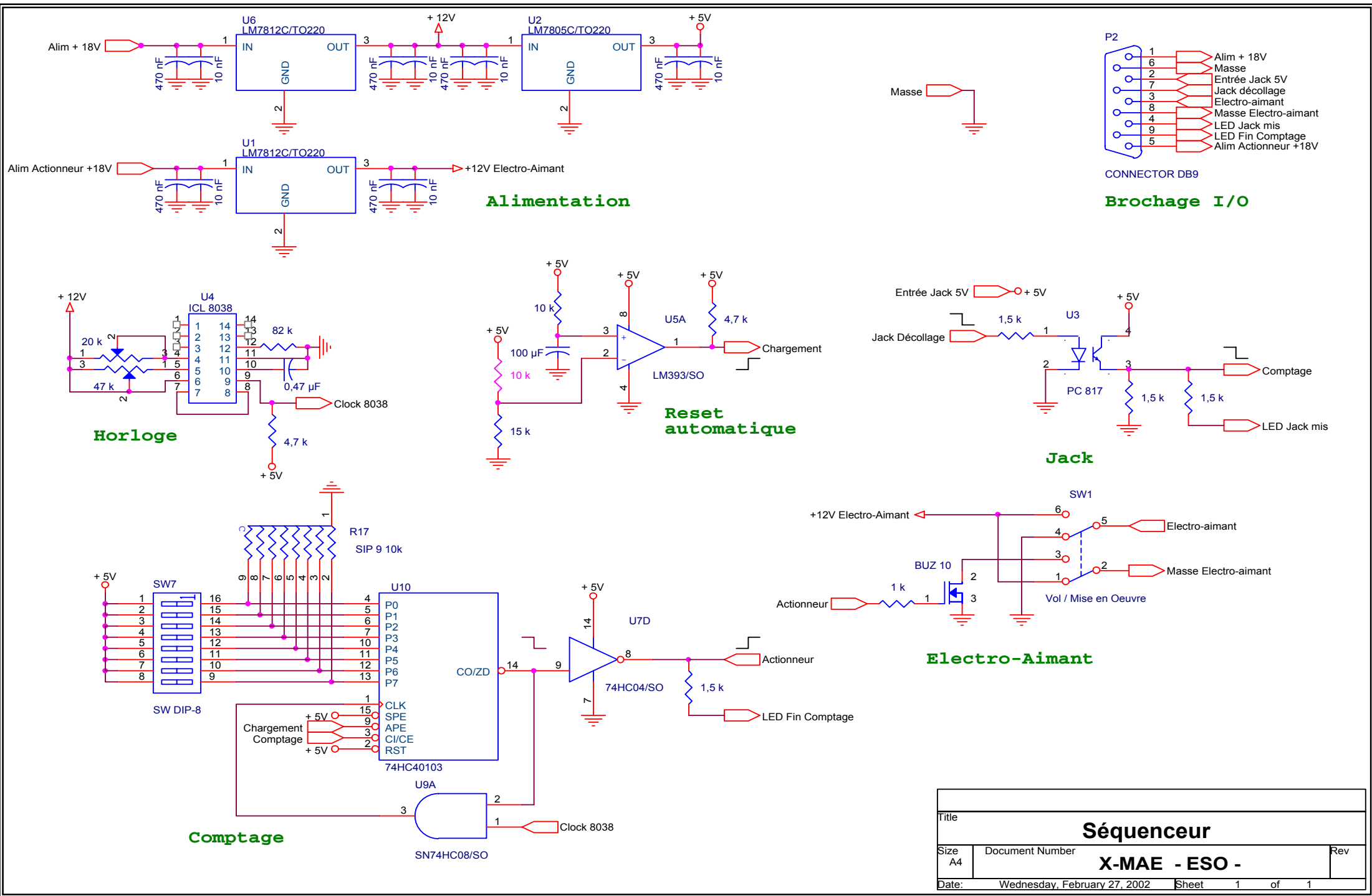
# **ANNEXES**



# CHRONOLOGIE DE X-MAE

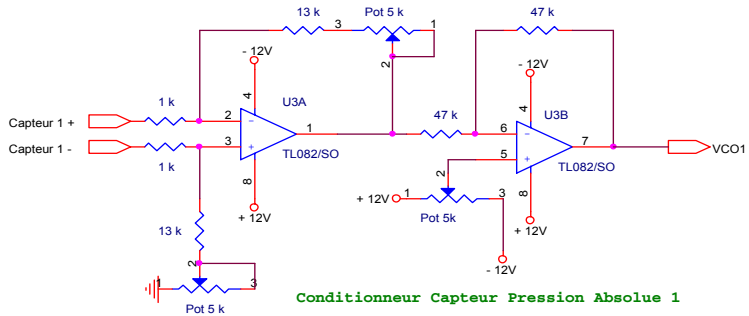
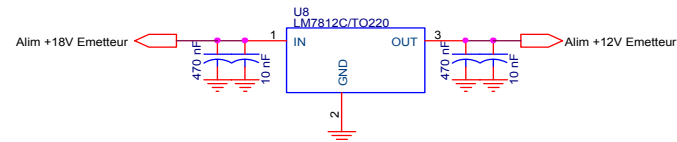
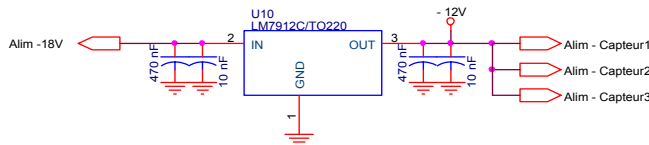
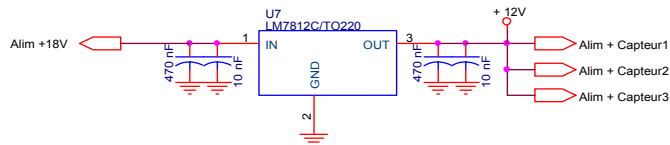
Resp : Rémy Bompont Equipe : Damien Sucher ; Vincent Girard ; Jean-Christophe Le Clec'h

Temps	Action	Membres présents
H- 146m	<b>Tente Club</b> <b>Arrivée en tente Club</b> (en 2 morceaux)	Vince, JC, Rémy, Damien
H-	Recuperation et fixation de la carte KiMi	
H-	Vérifier le mode de l'émetteur	
H-	Connecter l'émetteur au pland de mass et le T	
H-	Vérifier les branchements	Vince, JC, Rémy, Damien
H-	Vérifier l'affichage du temps pré-réglé sur le séquenceur	
H-	Mettre les piles	
H-	Branchement des moustaches	
H-	Vérifier la position des inters (OFF)	
H- 116m	Remonter la fusée entierement et connexion DB 9 + jacks Mettre le Jack de décollage Mettre en route le séquenceur Fermer la séparation via le poussoir Eteindre l'électronique	
H- 101m	Essai minuterie et sépa Remonter la fusée entierement	Vince, JC, Rémy, Damien
H- 81m	Essai telem et test puissance Vérifier la position des inters (OFF)	Vince, JC, Rémy, Damien
H- 66m	Mise en œuvre des expériences (chocolat + bière)	Vince, JC, Rémy, Damien
H- 51m	<b>Départ en rampe</b>	Vince, JC, Rémy, Damien
H- 43m	<b>Rampe</b> <b>Arrivée en rampe</b>	Vince, JC, Rémy, Damien
H- 43m	Compatibilité rampe	Vince, JC, Rémy, Damien
H- 33m	Basculer - l'inter de gyrophare - l'inter de sirène	Vince, JC, Rémy, Damien
H- 28m	Fermer l'ogive	Vince, JC, Rémy, Damien
H- 26m	Remontée de Damien et Rémy en tente Loc 3	Vince, JC
H- 26m	Mise en rampe de la fusée	Vince, JC
H- 21m	Attache du jack décollage	Vince, JC
H- 20m	Mise en place du propulseur par le pyro	Vince, JC
H- 16m	JC remonte en tente pyro	Vince
H-	Mise en route séquenceur - Vérifier que la diode séquenceur est verte et que le gyrophare est allumé - Vérifier la diode orange du jack - Vérifier que la diode rouge est éteinte	Vince
H-	Basculer l'inter de l'émetteur	Vince
H-	Vérifier que la diode verte est allumée	Vince
H-	Basculer l'alim de la modulation	Vince
H-	Vérifier que les diodes vertes des chaines de mesure sont allumées	Vince
H- 10m	Remontée de Vince	Vince
H-	Mise en place de la cane d'allumage par le pyro	Vince
H- 3m	Remontée du pyro	
H- 10s	Décompte Final	
H- 0s	JC appuie sur le bouton	



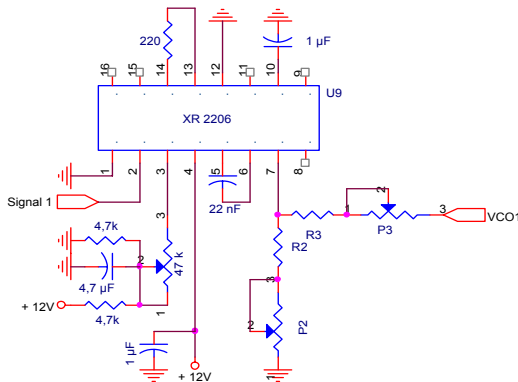
Title		
<b>Séquenceur</b>		
Size A4	Document Number <b>X-MAE - ESO -</b>	Rev
Date:	Wednesday, February 27, 2002	Sheet 1 of 1

Alimentation

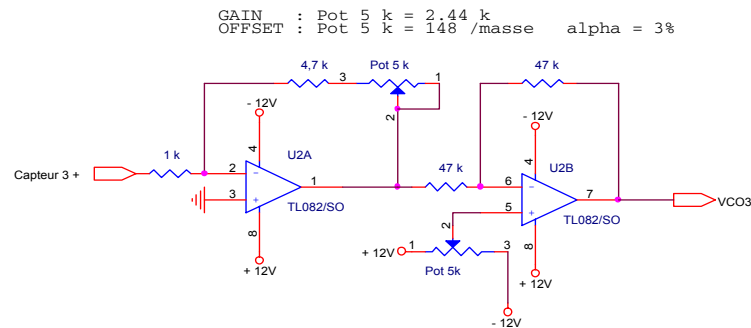


Conditionneur Capteur Pression Absolue 1

GAIN : Pot 5 k = 3.23 k  
 OFFSET : Pot 5 k = 0

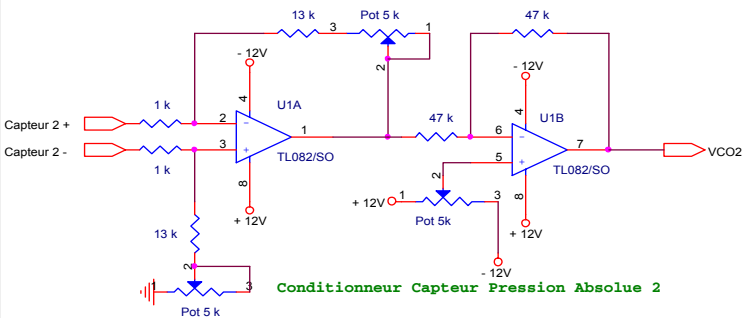


VCO Capteur Pression Absolue 1

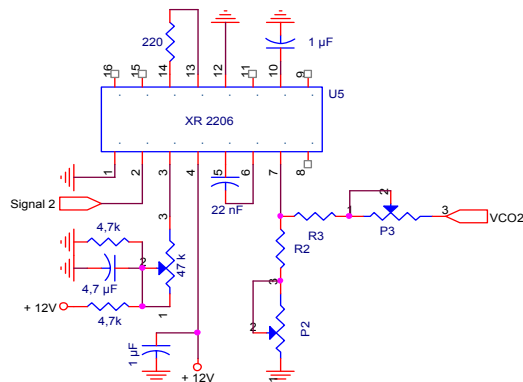


GAIN : Pot 5 k = 2.44 k  
 OFFSET : Pot 5 k = 148 /masse alpha = 3%

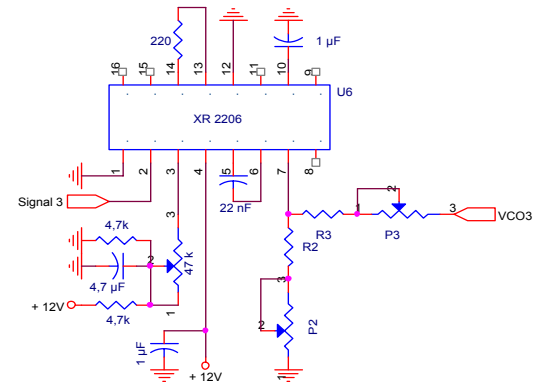
Conditionneur Capteur Température



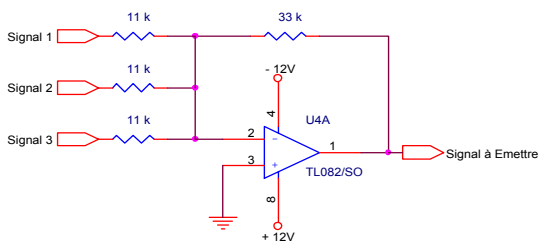
Conditionneur Capteur Pression Absolue 2



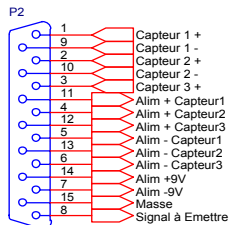
VCO Capteur Pression Absolue 2



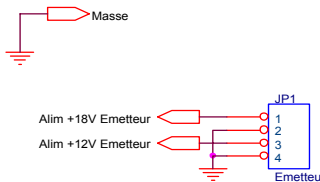
VCO Capteur Température



Sommateur des signaux Télem

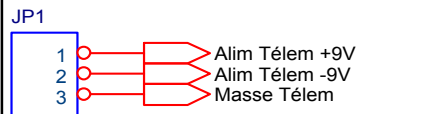


CONNECTOR DB15

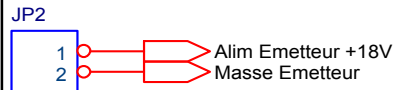


Brochages des Entrées / Sorties

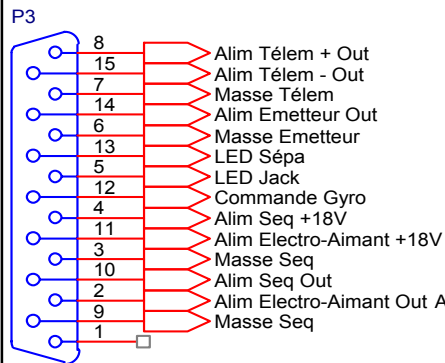
Title		
<b>Chaîne de Mesure &amp; Modulateur</b>		
Size	Document Number	Rev
A3	<b>X-MAE - ESO -</b>	
Date:	Friday, March 01, 2002	Sheet 1 of 1



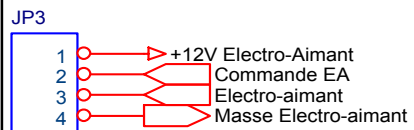
Alim Télec



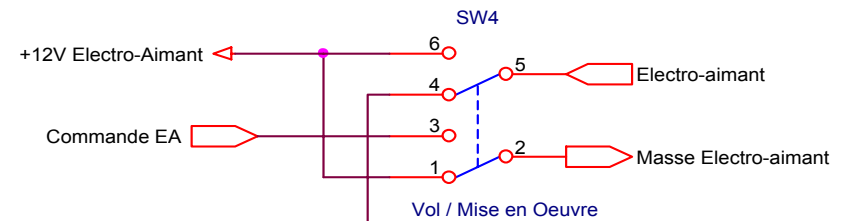
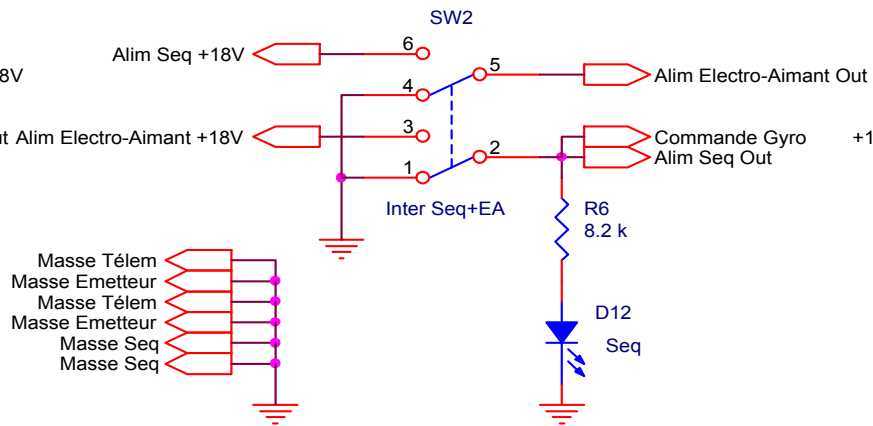
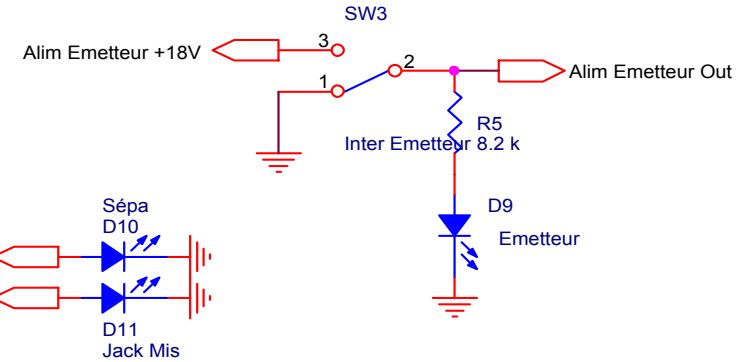
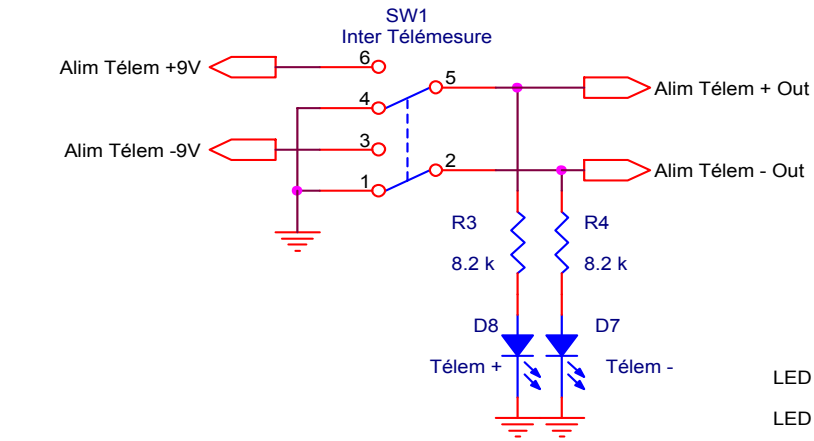
Alim Emetteur



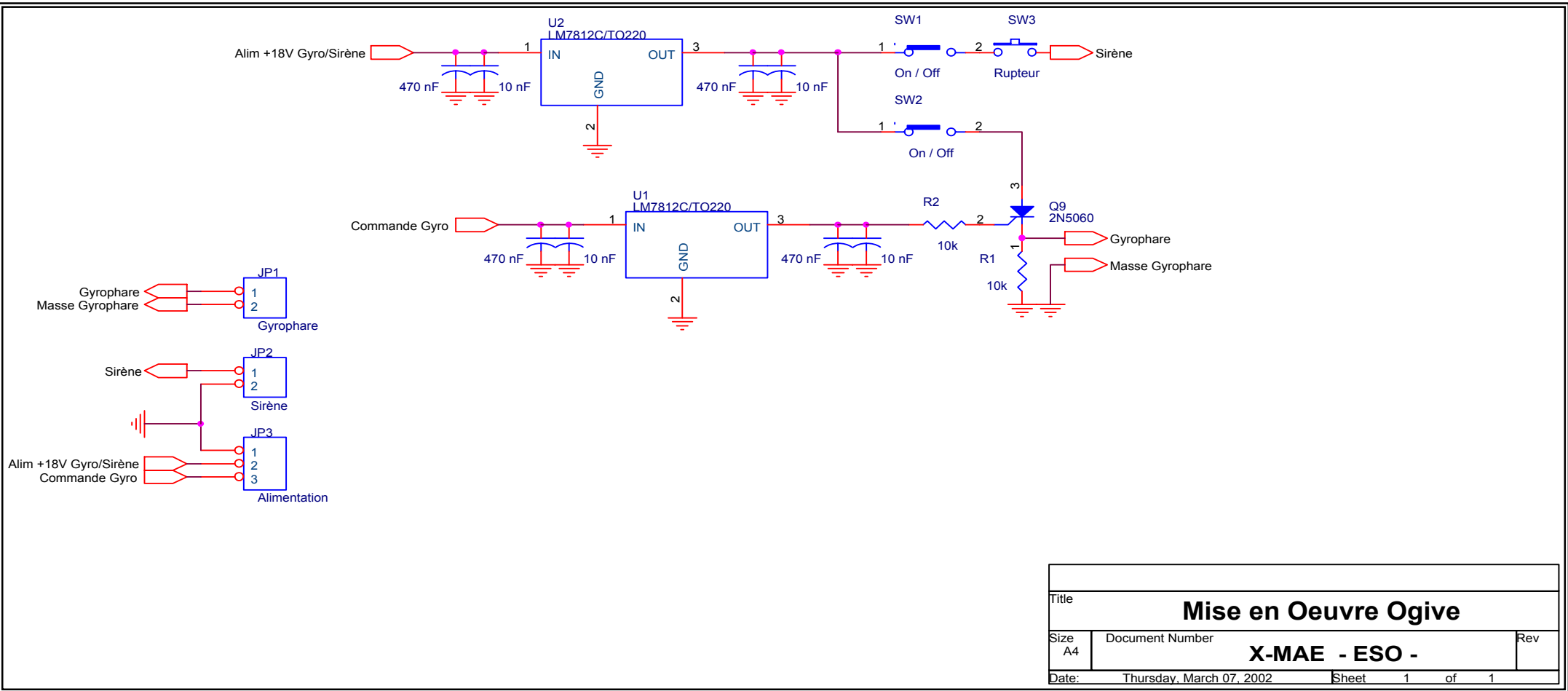
I/O



HEADER 4

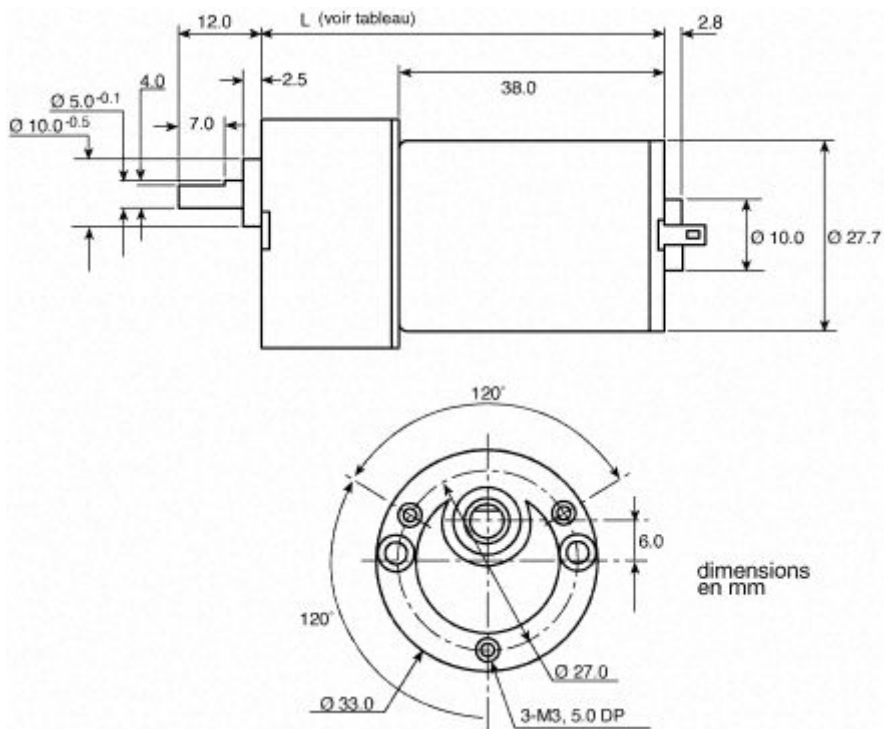


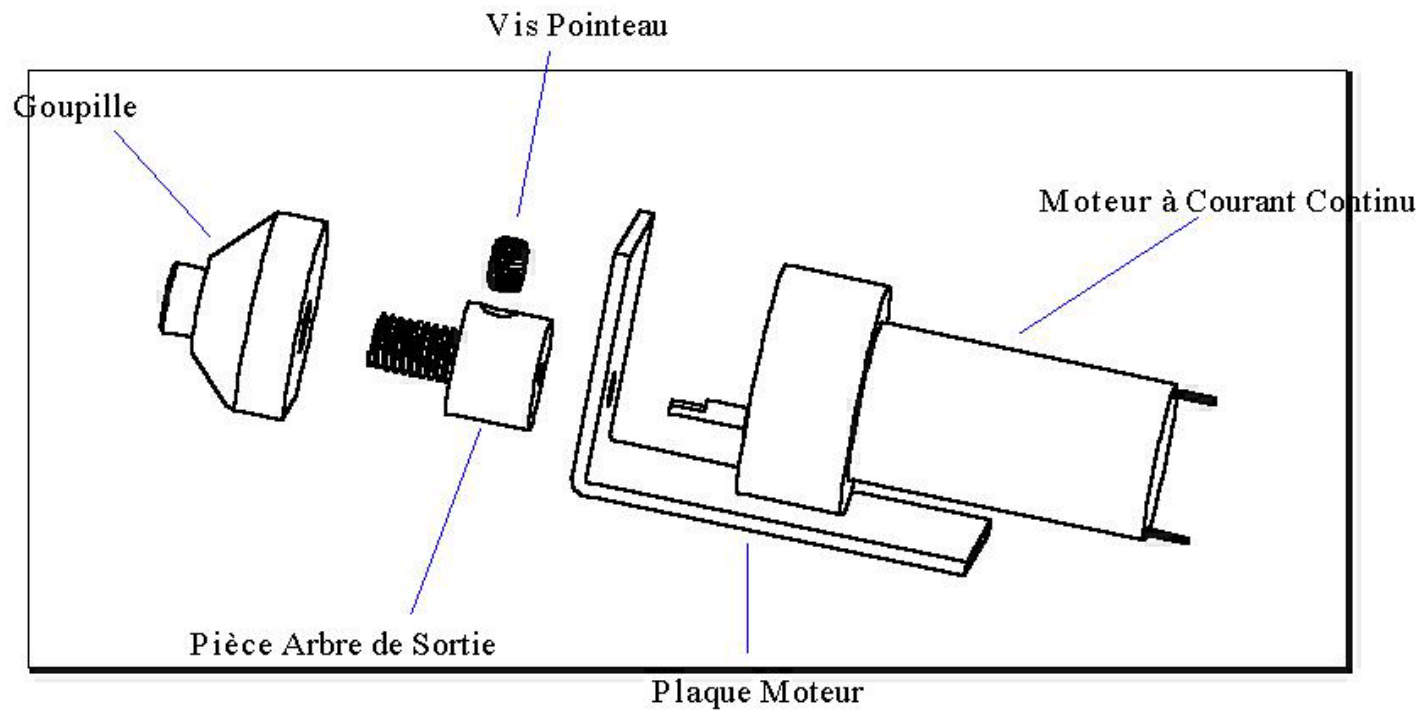
Title		
<b>Mise en Oeuvre Générale</b>		
Size A4	Document Number <b>X-MAE - ESO -</b>	Rev
Date: Thursday, March 07, 2002	Sheet 1	of 1



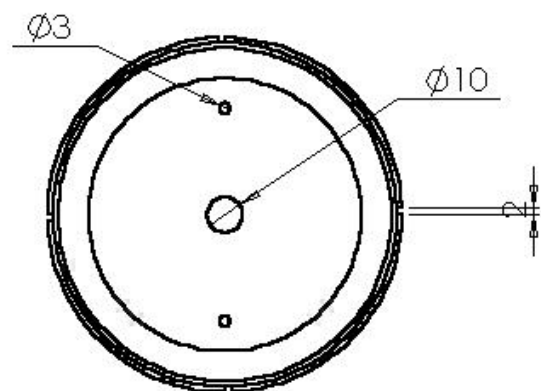
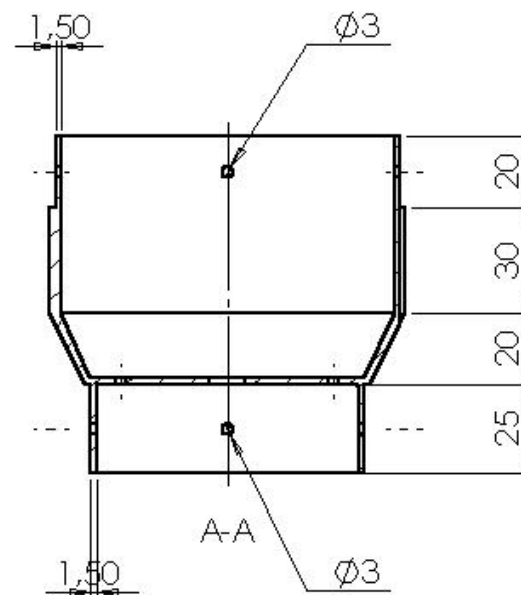
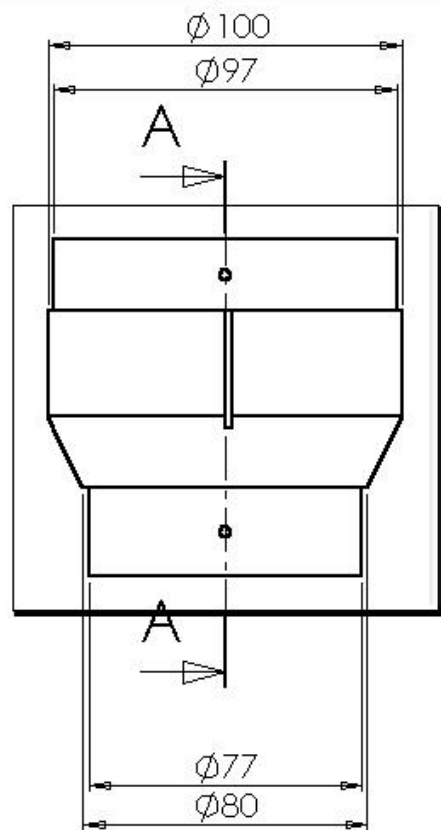
Title		
<b>Mise en Oeuvre Ogive</b>		
Size A4	Document Number <b>X-MAE - ESO -</b>	Rev
Date:	Thursday, March 07, 2002	Sheet 1 of 1

## Schéma du Moteur à Courant Continu

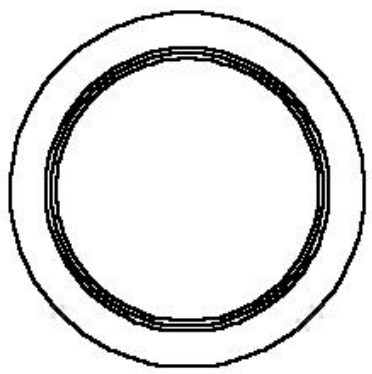
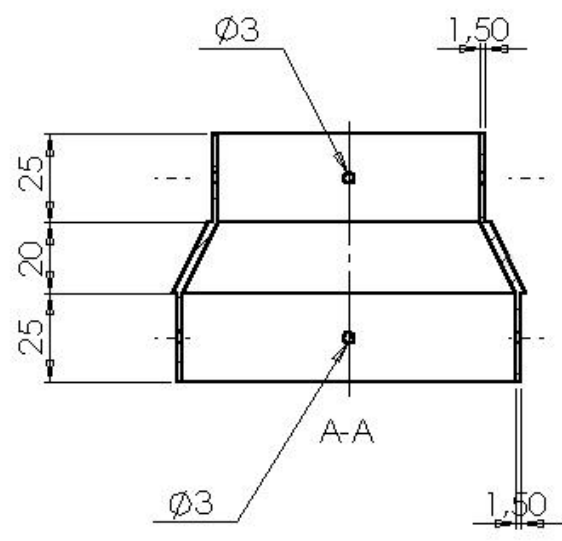
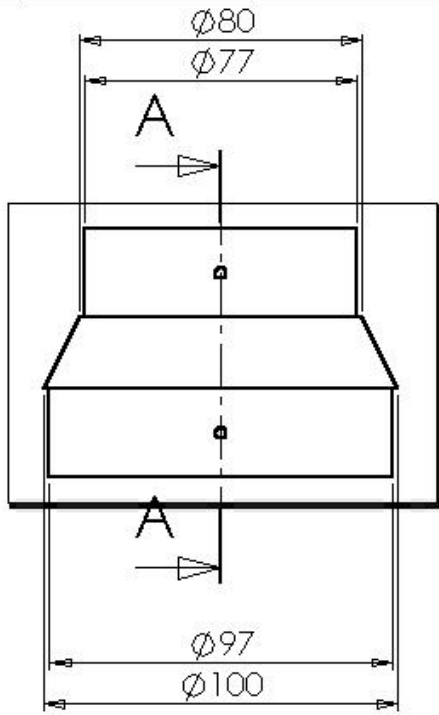




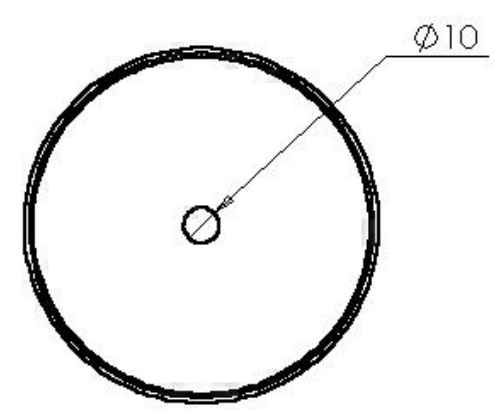
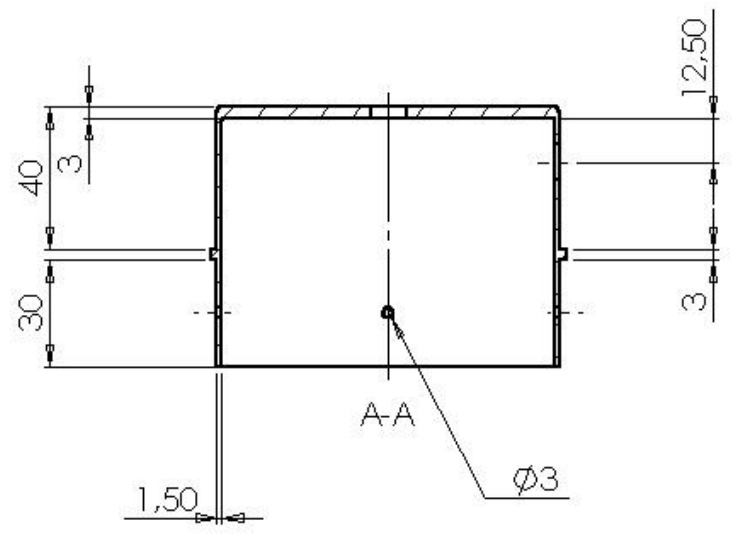
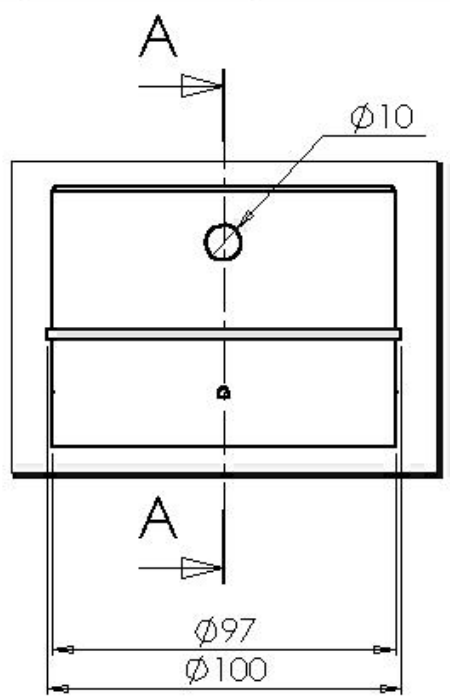
	<b>Echelle 1:1</b>	ESTACA SPACE ODYSSEY
		X-MAE
		<b>Vue éclatée du système de séparation</b>



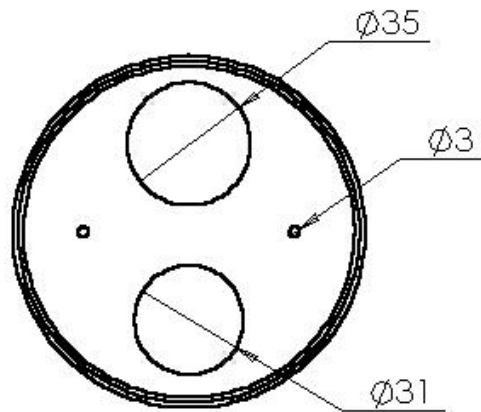
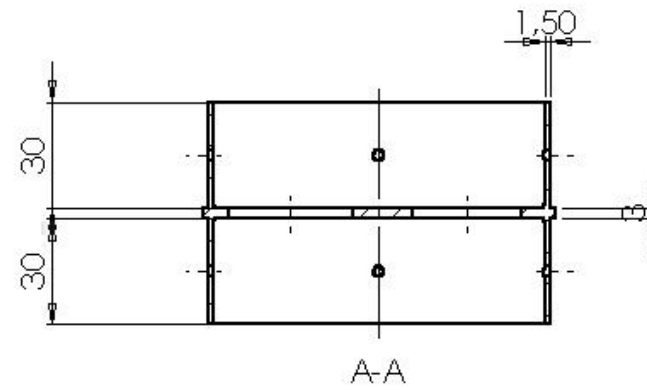
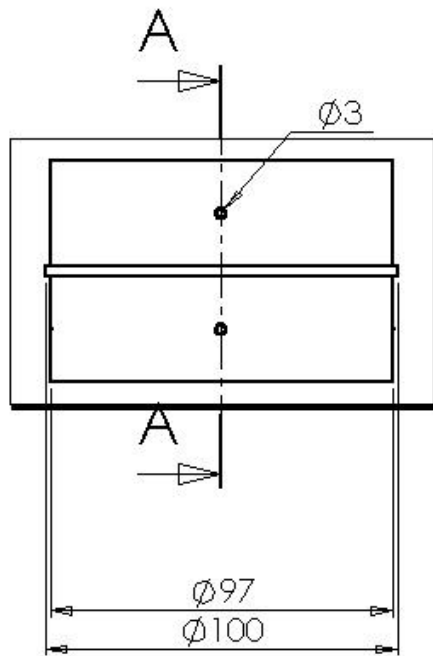
	<b>Echelle</b>	ESTACA SPACE ODYSSEY
		X-MAE
		<b>Retreint Supérieur</b>



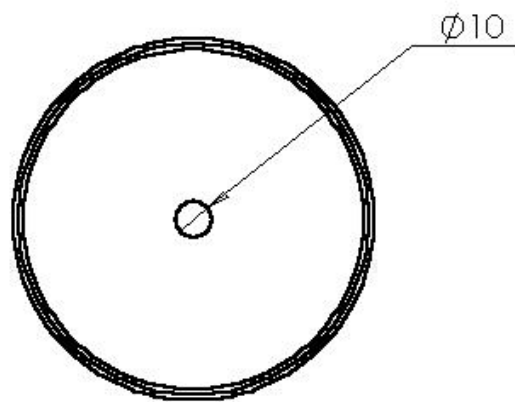
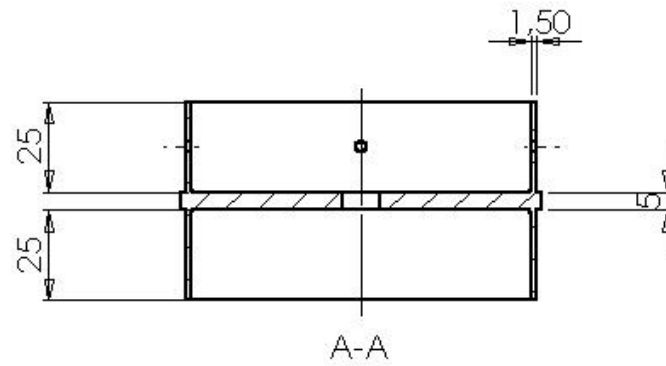
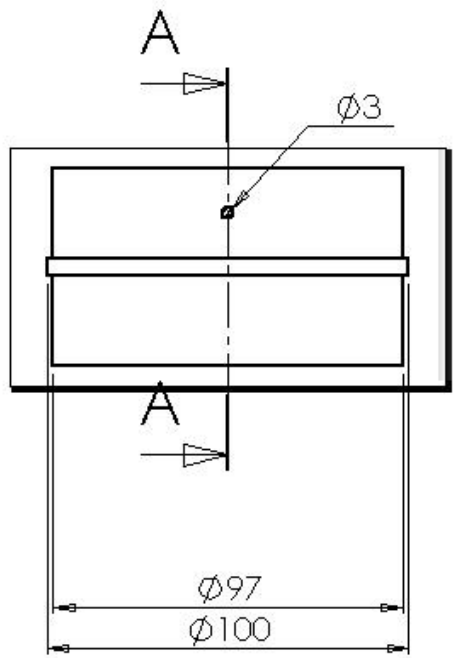
	<b>Echelle</b>	ESTACA SPACE ODYSSEY
		X-MAE
		<b>Retreint Inférieur</b>



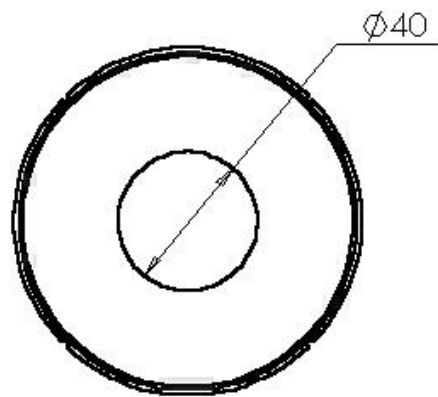
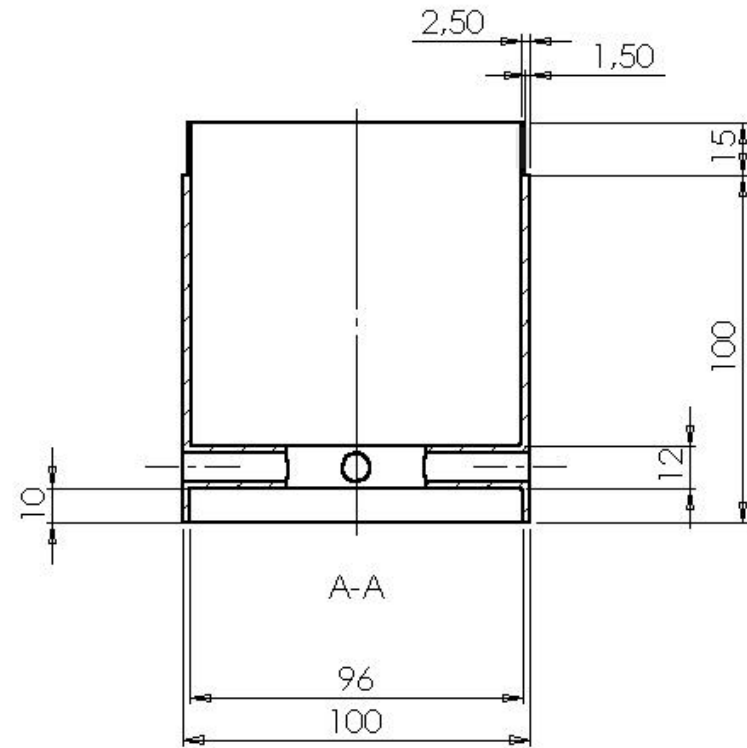
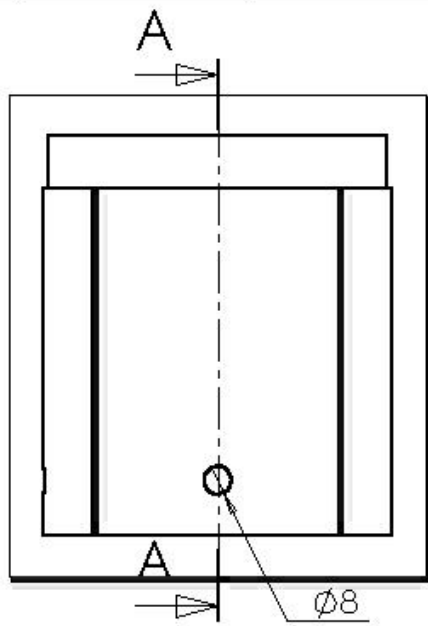
	<b>Echelle</b>	ESTACA SPACE ODYSSEY
		X-MAE
		<b>Bague Séparation</b>



	<b>Echelle</b>	ESTACA SPACE ODYSSEY
		X-MAE
		<b>Bague Expériences</b>



	<b>Echelle</b>	ESTACA SPACE ODYSSEY
		X-MAE
		<b>Plaque de Poussée</b>



	<b>Echelle</b>	ESTACA SPACE ODYSSEY
		X-MAE
		<b>Bague Ailerons</b>