

**FUSEE6**



CFA UPMC IFITEP – 4 place Jussieu – casier 232 – 75005 Paris Cedex 05

**Auteurs**

BOULLET Romain  
CARRIERE Thomas  
GAGNON Gautier

## RAPPORT TECHNIQUE PROJET SAONE

Campagne Sissonne 2003

**Distribution**

**ANSTJ**  
Vincent RICHE

**IFITEP**  
Christian Gury  
Gilles Cordurier

**Approbation**

Nom			
Visa			

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
<b>FUSEE6</b>	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		1 / 1

## TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b><u>PRESENTATION DU PROJET</u></b>	<b>3</b>
1.1	<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
1.1.1	L'EQUIPE	3
1.1.2	CONTACTS	3
1.2	<b>BUT DE L'EXPERIENCE</b>	<b>3</b>
1.2.1	MESURE DE L'ACCELERATION SUR LES 3 AXES :	3
1.2.2	MESURE DE LA ROTATION :	3
1.2.3	MESURE DE LA VITESSE	4
1.2.4	MESURE DE LA TEMPERATURE:	4
1.2.5	ENREGISTREMENT DE L'IMAGE ET DU SON :	4
<b>2</b>	<b><u>ELECTRONIQUE</u></b>	<b>5</b>
2.1	<b>CARTES DE MESURES</b>	<b>6</b>
2.1.1	CARTES DE MESURE D'ACCELERATION	6
2.1.2	CARTE DE MESURE DE ROTATION A PHOTORESISTANCES	6
2.1.3	CARTE DE MESURE DE ROTATION A GYROSCOPES	8
2.1.4	CARTE DE MESURE DE VITESSE	8
2.1.5	CARTE DE MESURE DE TEMPERATURE	9
2.1.6	CARTE D'ENREGISTREMENT DU SON	10
2.2	<b>CARTE MODULATEUR FM</b>	<b>11</b>
2.3	<b>CARTE MICROCONTRÔLEUR</b>	<b>12</b>
2.4	<b>MINUTERIE</b>	<b>14</b>
2.5	<b>LA VIDÉO</b>	<b>14</b>
2.6	<b>PLAQUE INTER</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b><u>MECANIQUE</u></b>	<b>17</b>
3.1	<b>ARCHITECTURE DE LA FUSÉE</b>	<b>17</b>
3.1.1	DESCRIPTION GENERALE	17
3.2	<b>PIÈCES MÉCANIQUES</b>	<b>17</b>
3.2.1	DETAIL DES PIECES MECANIQUES	17
3.2.2	SYSTEME DE RECUPERATION	18
3.2.3	BILAN MASSIQUE	18
<b>4</b>	<b><u>LOGISTIQUE</u></b>	<b>19</b>
4.1	<b>CHRONOLOGIE</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b><u>ANNEXES</u></b>	<b>21</b>
5.1	LICENCE RADIO-AMATEUR :	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
5.2	<b>PLANS MÉCANIQUES</b>	<b>24</b>

PRESENTATION DU PROJET

**1.1 Introduction**

Le projet consiste en la réalisation d'une fusée expérimentale dans le plan de la campagne de lancement organisée par l'ANSTJ secteur espace à Sissonne du 29 juillet au 3 août 2003. D'autre part, ce projet permettra de prouver notre aptitude à réaliser un projet de sa phase de conception à sa phase de réalisation en incluant toutes les activités techniques et manageriales.

**1.1.1 L'équipe**

Nous sommes cinq élèves, en dernière année du cycle ingénieur du CFA-IFITEP. Au sein de notre formation, nous avons acquis une bonne connaissance de l'électronique en général, et plus particulièrement dans le domaine des micro-ondes, ou de l'informatique industrielle, suivant l'option que nous avons prise :

- Thomas Carrière :** Ancien trésorier et membre pendant 7ans d'un club de fusée amateur (club SWIFT TUTTLE SPACE™). Il s'occupera de la réalisation des cartes électroniques analogiques destinées au fonctionnement des capteurs et à la mise en forme des signaux. C'est le responsable du projet.
- Romain Boulet :** Ce sera le responsable de la programmation, l s'occupera de la gestion des données dans le microcontrôleur et du traitement des signaux. Il participera également à la réalisation des plans mécaniques.
- Gautier Gagnon :** En plus d'une partie des réalisations techniques de la fusée comme la minuterie et le parachute, il s'occupera de la gestion administrative

**1.1.2 Contacts**

- [thomas.carriere@wannado.fr](mailto:thomas.carriere@wannado.fr)
- [romain\\_boulet@yahoo.fr](mailto:romain_boulet@yahoo.fr)
- [gautier.gagnon.prestataire@cegetel.fr](mailto:gautier.gagnon.prestataire@cegetel.fr)

**1.2 But de l'expérience**

Afin d'atteindre nos objectifs, nous avons décidé de faire une fusée dont le but des expériences embarquées est de reconstituer la trajectoire de celle-ci. Afin d'avoir le maximum d'éléments pour ce projet de trajectographie 3D, nous avons embarqué les expériences indispensables comme des capteurs d'accélération et de rotation sur les trois axes mais également des expériences moindres mais qui pourront participer à une meilleure compréhension du vol. Parmi elles, on retrouve une mesure de vitesse par tube de Pitot, une mesure de température ainsi qu'un dispositif permettant d'enregistrer l'image et le son depuis l'intérieur de la fusée.

**1.2.1 Mesure de l'accélération sur les 3 axes :**

En mesurant l'accélération sur les 3 axes, et après de nombreuses opérations comme une double intégration (pour obtenir le déplacement) ainsi que diverses corrections (rotation,...) on pourra reconstituer le déplacement de la fusée dans les 3 dimensions.

**1.2.2 Mesure de la rotation :**

Cette mesure va nous permettre de modifier la modélisation faite à partir des capteurs d'accélération. En effet quand la fusée tourne sur elle même, il y a une accélération tangentielle, même si la fusée ne se déplace pas sur les autres axes.

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		3 / 3

## 1.2.3 Mesure de la vitesse

Cette expérience consiste à mesurer la vitesse grâce à un tube de Pitot : Par différence entre la pression « dynamique » qui entre dans le tube et la pression atmosphérique ambiante, à fleur du tube, on obtient la vitesse par une simple formule de mécanique des fluides.

## 1.2.4 Mesure de la température:

Cette expérience à pour but de mesurer les conditions climatiques pendant chaque phase de vol de la fusée, cela est important car les caractéristiques des composants et des capteurs varient légèrement en fonction de ce paramètre. Pour avoir une chaîne de mesures précise, il est donc important de faire cette mesure.

## 1.2.5 Enregistrement de l'image et du son:

L'image est enregistrée par une mini caméra fixée le long du fuselage de la fusée. Elle possède son propre modulateur et émetteur et transmet les images à une fréquence satellite (1.2GHz) ce qui permet de récupérer le signal sur une simple installation TV satellite. Pour ce faire, nous avons fait une demande de permission pour émettre à l'aviation civile – annexe 1). Le son est enregistré directement dans une EPROM à bord et sera restitué ensuite après le vol.

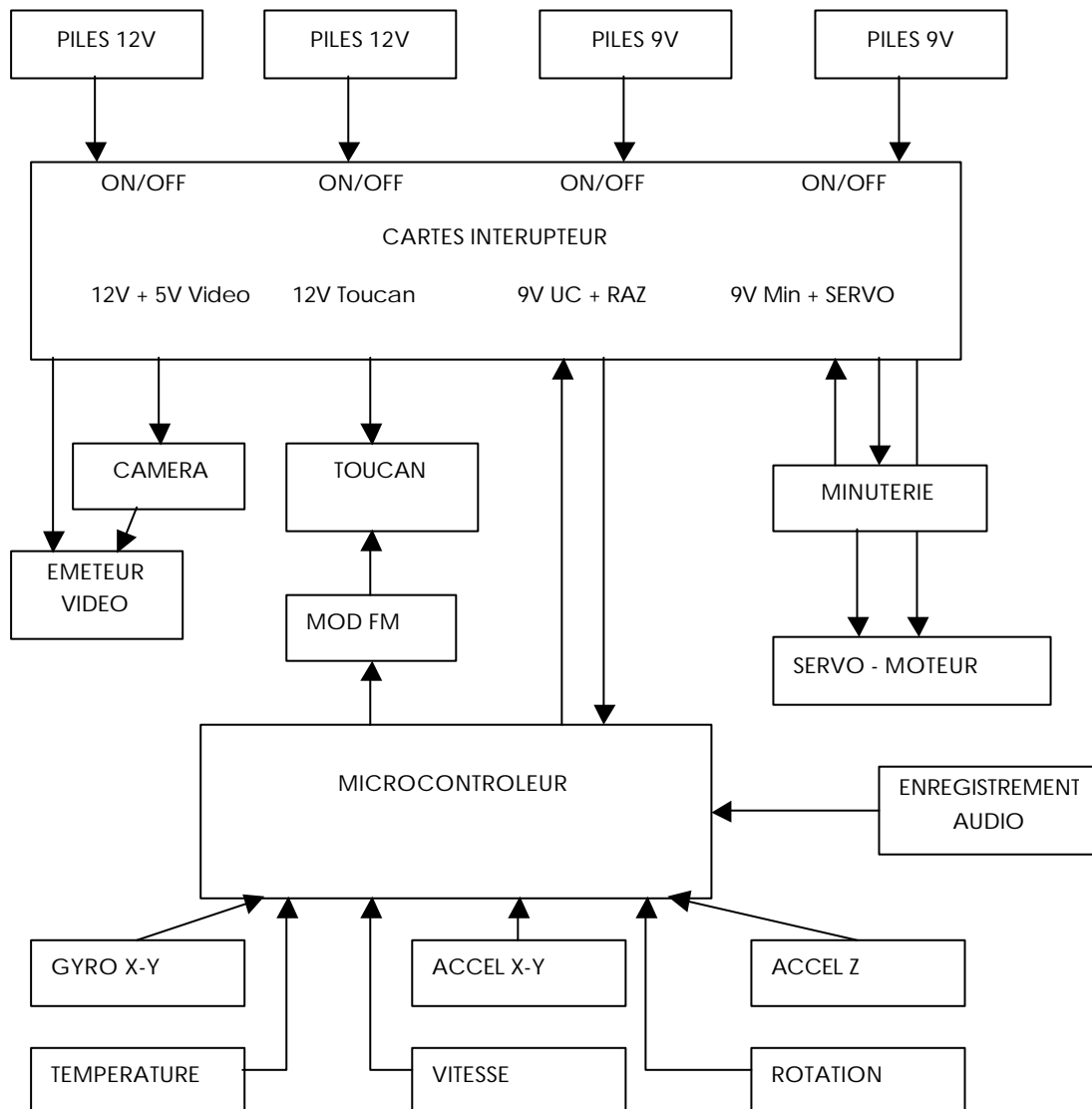
ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		4 / 4

## ELECTRONIQUE

La partie électronique a une place très importante dans la fusée, en effet l'ensemble de nos expériences sont basées sur des cartes électronique. Le séquenceur est lui aussi électronique. Cette partie a fait appel à l'ensemble de nos connaissances dans le domaine :

- Il y avait de l'électronique analogique avec des systèmes d'amplification et de filtrage
- De la haute fréquence avec un émetteur à 137Mhz et l'autre à 1.13Ghz
- De l'électronique numérique avec un microcontrôleur et des CAN

Architecture globale :



Nous pouvons dissocier trois parties indépendantes :

- La minuterie, pour déclencher le système d'ouverture à culmination
- La vidéo, qui est constituée d'une caméra branchée sur un émetteur vidéo
- Les expériences, reliées au microcontrôleur, qui lui même est relié à l'émetteur via le modulateur FM

Chacune des fonctions si dessus vont être détaillées carte par carte

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		5 / 5

### 1.3 Cartes de mesures

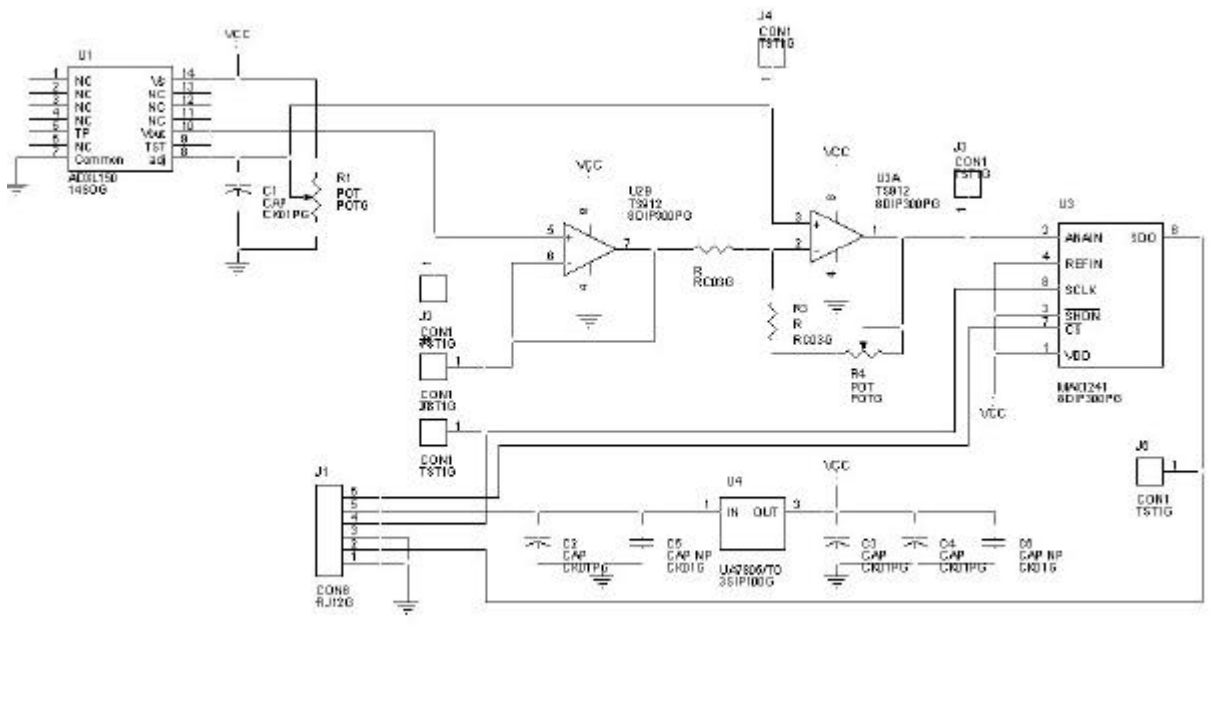
#### 1.3.1 Cartes de mesure d'accélération

Il y en a trois, une pour chaque axe (XYZ), toutes son faites suivant la même architecture. La seule différence est que pour l'axe des Z on a un capteur simple (ADXL150) et pour l'axe des X et des Y, les 2 capteurs sont sur la même puce.

Le but est de mesurer l'accélération et la décélération incidente à l'influence de la poussée du propulseur sur la fusée.

Réalisation :

On utilise des capteurs d'accélérations intégrer dans des circuits intégrés. Ensuite, comme pour la plupart des capteurs on met un circuit d'amplification.



Capteur de l'axe des Z

Autour du capteur, on a un potentiomètre qui permet d'ajuster l'offset de la sortie. Ensuite il y a un montage suiveur et un montage d'amplification inverseur qui permet en plus de régler le gain. Il est a noter que le montage a été modifié à la dernière minute, maintenant, l'entrée + du deuxième AOP est reliée à un pont diviseur constitué de deux résistances de 5.1K de tolérance 1%. Ceci permet d'avoir vraiment VCC/2 à cet endroit, car en réglant l'offset du capteur, on s'est aperçu que pour avoir 2.5V en sortie du capteur la sortie du potentiomètre pouvait être sur une valeur de l'ordre de 2V.

Ensuite on retrouve les fonctions communes à chaque carte de mesure : une alimentation de 5V filtrée et un CAN 1241

Etalonnage :

On règle le potentiomètre d'ajustement pour le capteur, de manière à ce que pour 0g, (carte à plat) on ait en sortie du capteur à 2.5V (V/2). Ensuite, en fonction de l'accélération max souhaitée, on règle le gain de l'étage d'amplification. (en inclinant la carte, on peu varier de -1g à +1g). Voir courbe en annexe.

#### 1.3.2 Carte de mesure de rotation à photorésistances

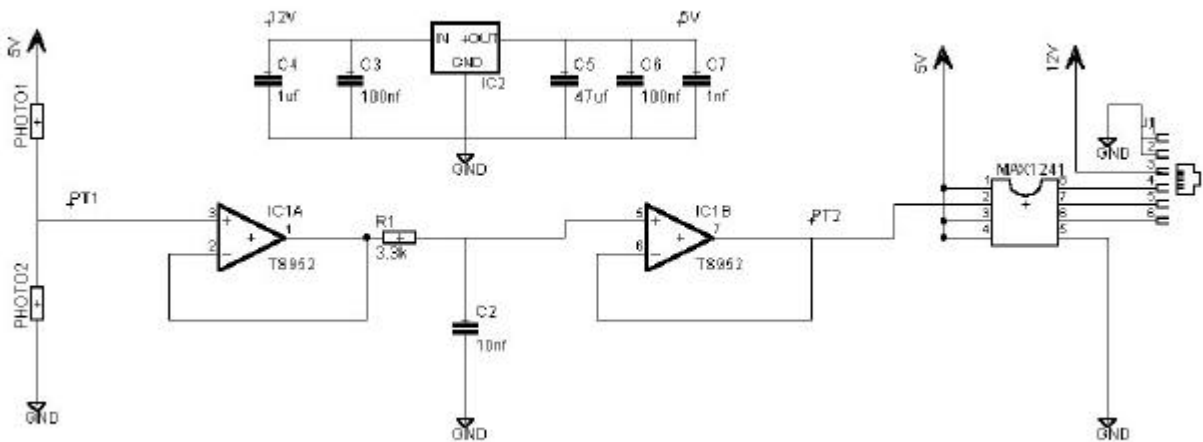
Cette carte sert à mesurer la fréquence de rotation de la fusée. Cela permet de connaître la force centrifuge due à la rotation.

Réalisation :

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		6 / 6

## FUSEE6

On utilise deux photo-résistances montées sous forme de pont diviseur. Quand la photorésistance 1 est à l'ombre et l'autre au soleil, la tension est maximum. Quand la photorésistance 2 est à l'ombre et la 1 au soleil, la tension est minimum.



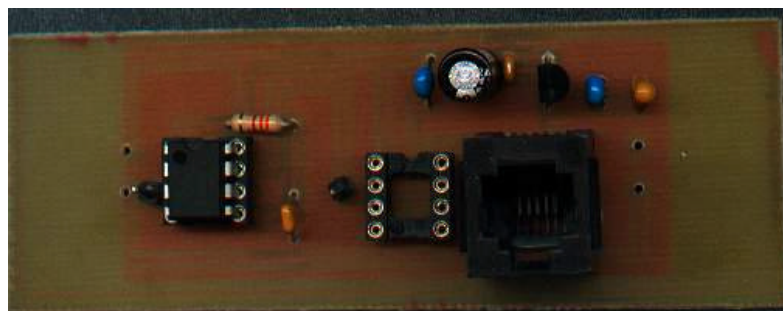
F.P.1. :A Gauche, nous avons les deux photorésistances montées en pont diviseur en théorie :  
 $R = 0$  si on a un maximum de lumière et  $R$  tend vers l'infini si il n'y a pas de lumière  
 si  $R1 = 0$  et  $R2 = \infty$ ,  $V_S = 5V$   
 si  $R1 = \infty$  et  $R2 = 0$ ,  $V_S = 0V$

Dans les faits, ces valeurs diffèrent un peu et on a un contraste de l'ordre de 4V dans les cas les plus défavorables. De toutes façon, ce qui nous intéresse c'est la fréquence, pas l'amplitude.

F.P.2 : Il s'agit de deux montages suiveurs, avec un filtre passe bas du 1er ordre à 4.88 KHz ; le filtre permet de supprimer des parasites et de lisser la courbe, les montages suiveur permettent d'éviter toute fuite de courant du pont diviseur vers le filtre et FP3

F.P.3 : Il s'agit d'un CAN de 12bits. Il permet de faire une conversion analogique - numérique, afin que le microprocesseur puisse traiter les données.

F-alim : C'est un régulateur 5 V avec des condensateurs de filtrages.



capteur de rotation

### Etalonnage :

Dans le noir, une photo-résistance donne quelques Méga ohms.

Pour une intensité lumineuse de 20 000 lux une photo-résistance donne 200 Ohms.

Donc en sortie du pont diviseur nous avons, en théorie une tension qui varie entre 0.01V et 4.99V.

Nous avons fait des mesures avec un ciel bleu et dans une pièce sombre.

Les mesures au Luxmètre n'ont pas été très précises car difficiles à mettre en oeuvre, mais d'après la documentation des photorésistances, il semblerait que la variation de la résistance soit linéaire avec le taux de lumière. Les différentes luminosités nous montrent que on peut avoir une courbe avec une amplitude suffisante pour mesurer sa fréquence (et en déduire la fréquence de rotation.)

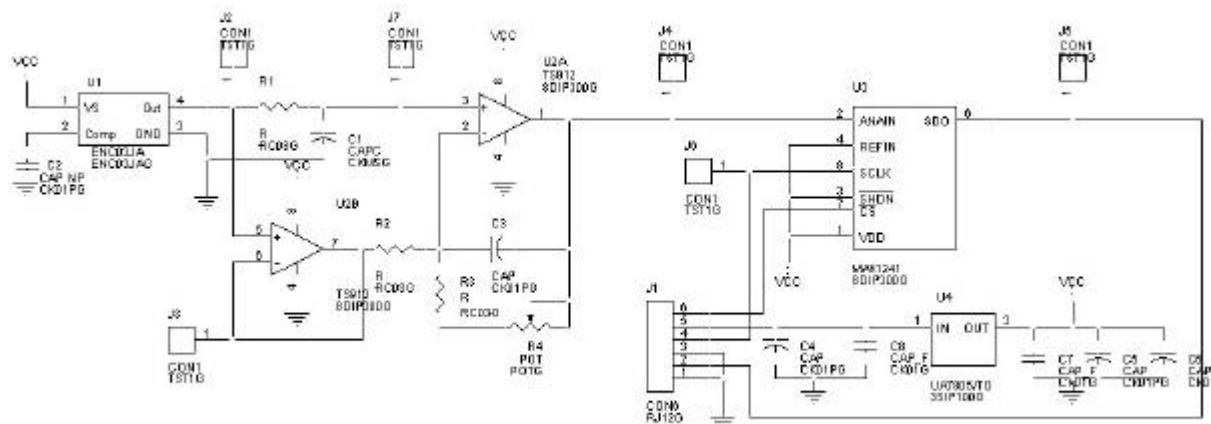
ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		7 / 7

## 1.3.3 Carte de mesure de rotation à gyroscopes

Il y en a deux dans notre fusée, un pour l'axe des X et l'autre pour la des Y. Il s'agit en fait d'un capteur piézo-électrique qui mesure la vitesse angulaire.

### Réalisation :

On utilise des gyroscopes dans des circuits intégrés. Ensuite, comme pour les autres capteurs on met un circuit d'amplification.



On a un des schémas préconisé par Murata. La sortie du capteur est filtrée par un filtre qui a une grosse constante de temps, ainsi on a la valeur moyenne du capteur comme tension de référence pour l'amplification. D'autre part, l'entrée inverseuse est attaquée par le signal instantané, et celui-ci est amplifié par rapport à la moyenne longue.

### Etalonnage :

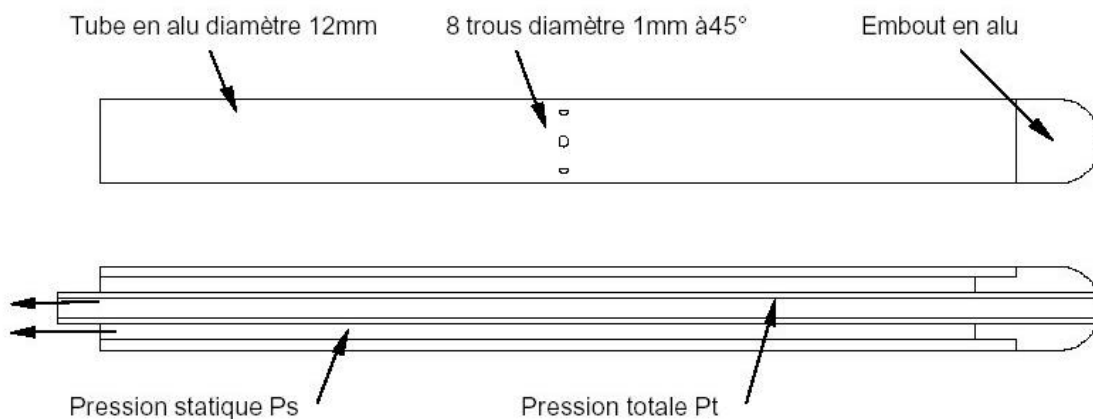
Voir courbe

## 1.3.4 Carte de mesure de vitesse

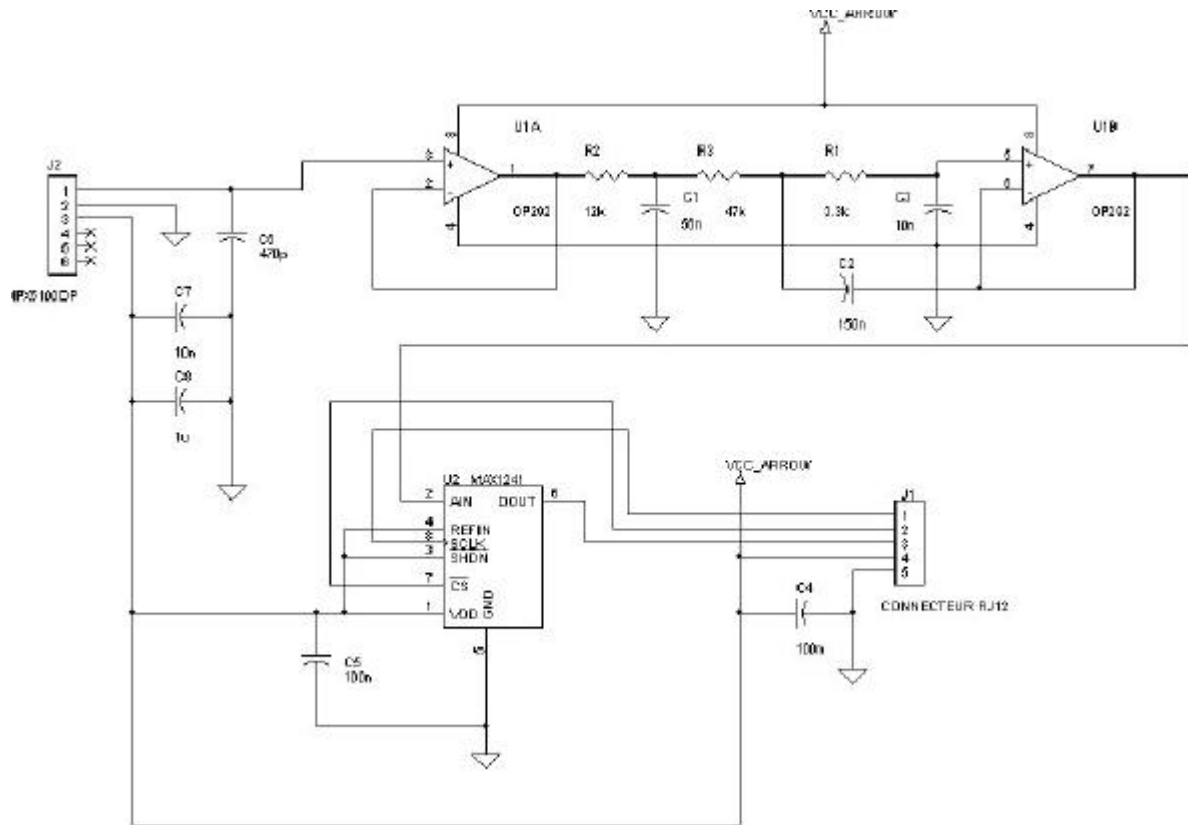
Son but est de mesurer la vitesse grâce à une mesure de pression dynamique.

### Réalisation :

Nous mettons en œuvre un tube de Pitot, celui-ci nous fournit deux informations : d'une part dans le tube 1 la pression statique, qui varie en fonction de l'altitude, et d'autre part la pression dynamique, qui elle varie en fonction de la vitesse et de l'altitude. En soustrayant donc la pression du tube 1 à celle du tube 2, on a la pression dynamique exclusivement, c'est à dire la vitesse.



ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		8 / 8



Au niveau process, c'est le même que pour les autres capteurs, on a du 12V qui est régulé en 5V, puis un système d'AOP et de CAN.

Le capteur nous donne directement la pression différentielle (tube 2 – tube 1). Il est pré amplifié, ainsi à 0 bar, on a 0V environ et à 1 Bar 5V environ. Ensuite, on a mit un filtre de Butterworth du 2ème ordre à une fréquence relativement basse de 15Hz (pour éviter un repliement de spectre lors de l'échantillonnage). Ensuite on attaque le CAN MAX1241.

### Etalonnage.

Le capteur est linéaire et on n'amplifie pas. Les mesures expérimentales faites avec une seringue vérifient la théorie : Différence De Pression nulle : 0.2V en sortie du capteur

DDP = 1Bar : 4.8V en sortie

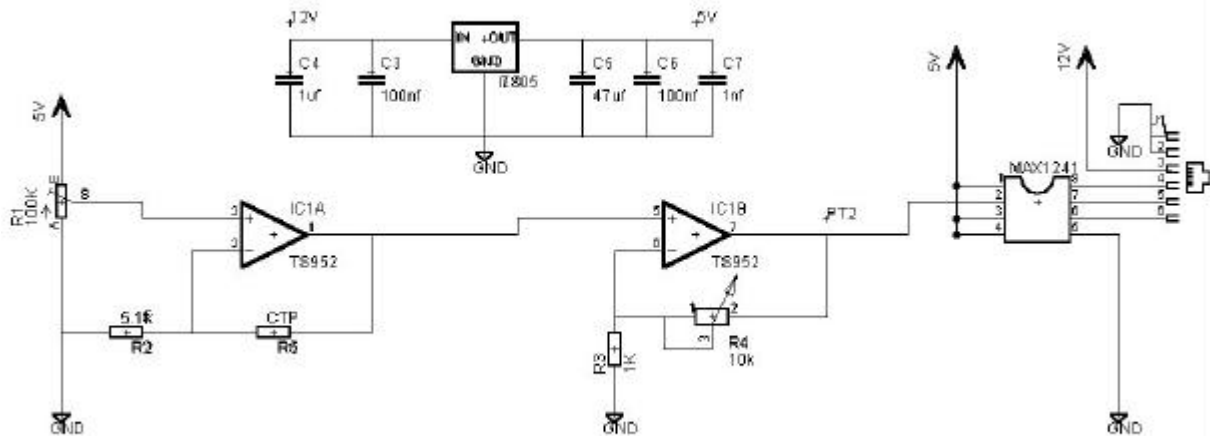
Entre ces deux valeurs on a vérifié que la variation était linéaire. A partir de cette pression, il faut en déduire la vitesse, pour ce faire on utilise la formule de Bernouilli. Voir courbe d'étalonnage en annexe

## 1.3.5 Carte de mesure de température

### Réalisation :

On utilise une sonde dont la résistance varie en fonction de la température.

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		9 / 9



F.P.1. :C'est le montage à AOP, à gauche, le capteur est une résistance dont la valeur varie selon la température : (à 0°C R=4.8K, à 25°C R=5.1K, à 50°C R=5.4K). Le potentiomètre permet de régler l'offset et le montage non inverseur couplé à une 2<sup>d</sup> résistance de 5.1K permet de délivrer une tension qui varie avec la température

F.P.2 : C'est un montage non inverseur à gain variable. On peut donc amplifier le signal issue de FP1

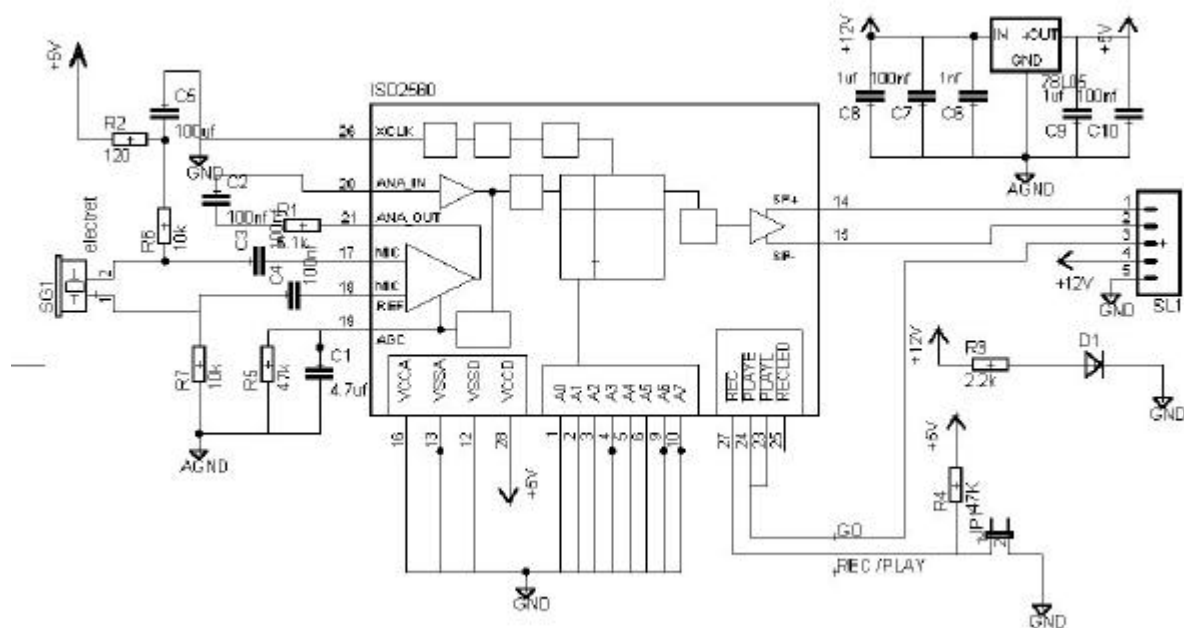
F.P.3 : Il s'agit d'un CAN de 12bits. Il permet de faire une conversion analogique - numérique, afin que le microprocesseur puisse traiter les données.

F-alim : C'est un régulateur 5 V avec des condensateurs de filtrage.

Etalonnage : Voir courbes en annexe

### 1.3.6 Carte d'enregistrement du son

Le rôle de cette fonction et d'enregistrer le son produit par la fusée, pendant son vol. Pour cela on utilise une E<sup>2</sup>prom qui a un synthétiseur audio intégré : c'est un ISD.

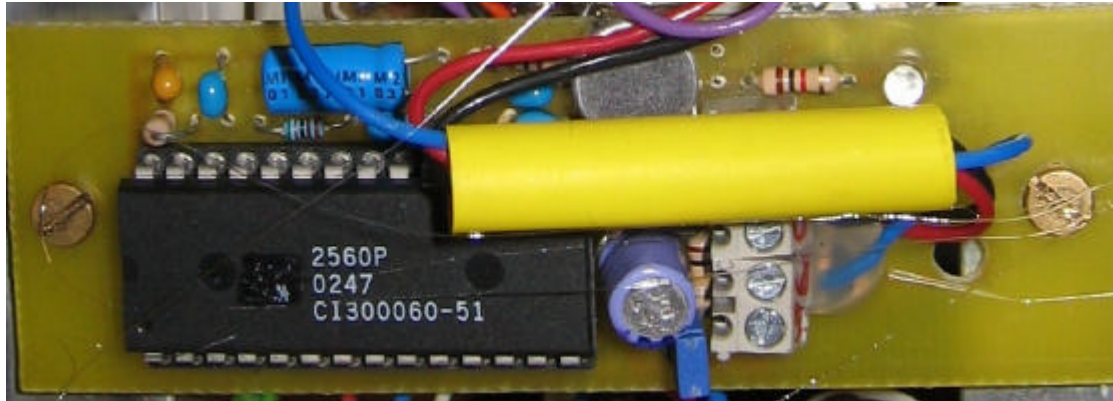


ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		10 / 10

# FUSEE6

Cette carte est faite pour un ISD, le plan de câblage figure dans la documentation toutefois, fort de nos connaissances en électronique, nous avons optimisé le montage et notamment la manière de polariser le microphone. Ainsi, les condensateurs ont été minutieusement choisis, et dans la rubrique des résultats, vous verrez que la qualité sonore est convenable pour ce type d'enregistreur qui échantillonne à 50Kz

Mis a part l'ISD, nous avons aussi une fonction de régulation 9V - 5V et un jumper permettant de lire ou d'écrire dans l'E<sup>2</sup>prom. Il y a comme sur toutes les cartes une led témoin de l'alimentation.

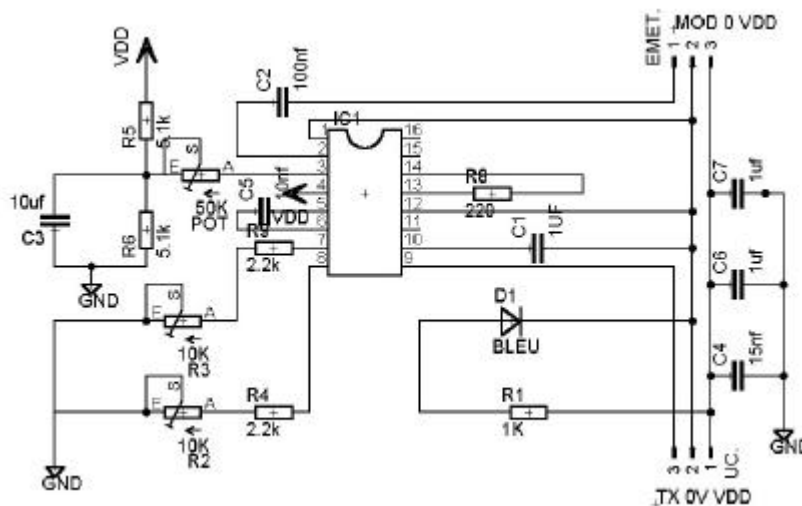


Carte de l'ISD

## 1.4 Carte modulateur FM

Cette carte sert à moduler les données issues de la carte microcontrôleur, pour les envoyer vers le TOUCAN. Il s'agit d'une modulation de type FSK :

- Un 0 Logique va être transformé en une fréquence basse
- Un 1 Logique en une fréquence haute



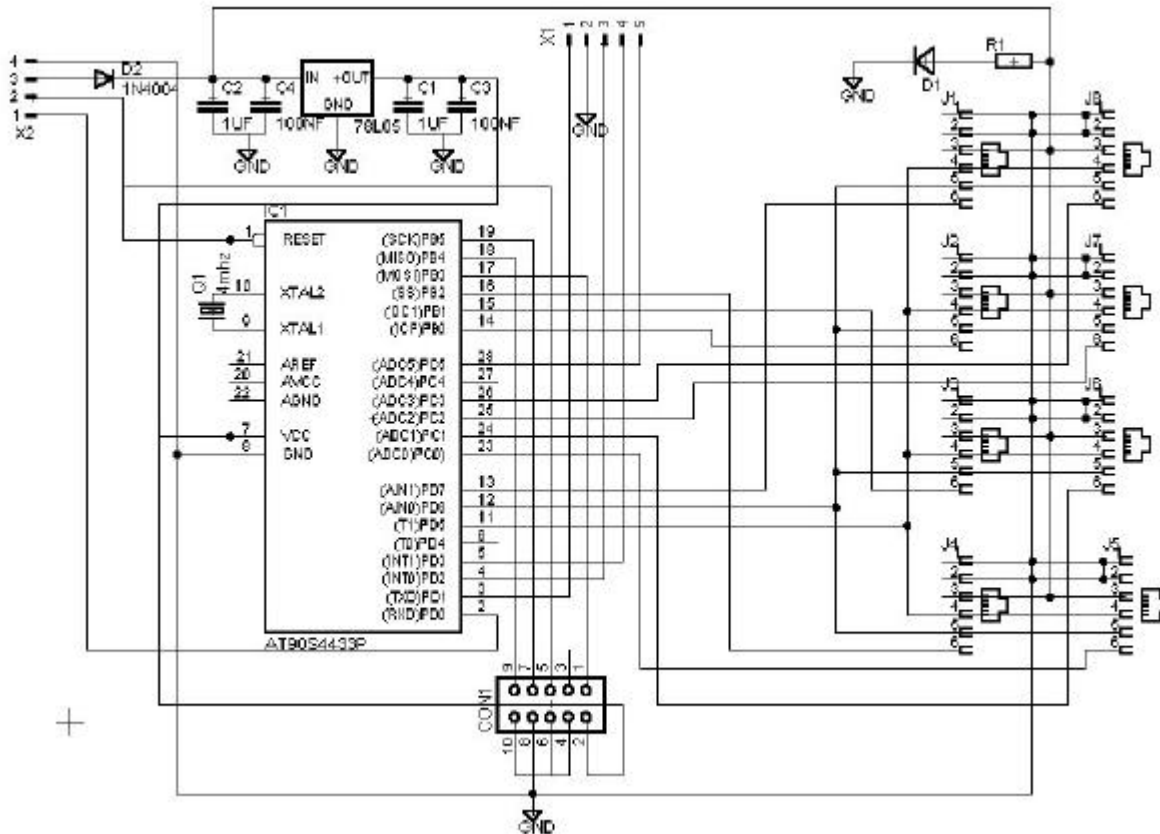
ED	1	RAPPORT TECHNIQUE - PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		11 / 11

Photo de la carte

IC1 représente le circuit intégré contenant le VCO, c'est un XR2206. Le potentiomètre de 50K règle l'amplitude de la sinusoïde de sortie, typiquement il faut 2V CC. Les potentiomètres de 10K permettent de régler les fréquences FSK.

## 1.5 Carte microcontrôleur

C'est le cerveau de la partie expérience. Son rôle est de faire une conversion Analogique - Numérique pour chacun des 8 capteurs, de mettre en forme les données et de les envoyer vers l'émetteur. Ses autres activités, sont de lancer l'enregistrement audio, et d'indiquer sur la carte interrupteur que le décollage a eu lieu et que tout va bien, par l'intermédiaire d'une led bleue.



- Sur la carte,(en haut a gauche sur le schéma) nous avons une fonction d'alimentation qui transforme le 9v des piles en 5V pour alimenter le microcontrôleur ; il y a des condensateurs de découplage et une diode blanche, qui indique que la carte est alimentée
- En bas nous avons le connecteur HE-10 -10 pour la programmation directement sur la carte
- Les connecteurs vont vers chaque carte analogique (à droite sur le schéma), ce sont des connecteurs de type RJ12 qui nous permettent d'amener en un câble 6 signaux différents :
  - o Le 0V, sur deux fils.
  - o Le 9V pour alimenter chaque carte
  - o Le signal d'horloge (SCLK) pour la CAN
  - o Le signal Chip Select pour valider les CAN
  - o Le signal SDATA ou le CAN transmet la valeur numérique de chaque carte capteur en série.
- Enfin, au centre il y a le microcontrôleur qui exécute le programme permettant de satisfaire à la fonction voulue

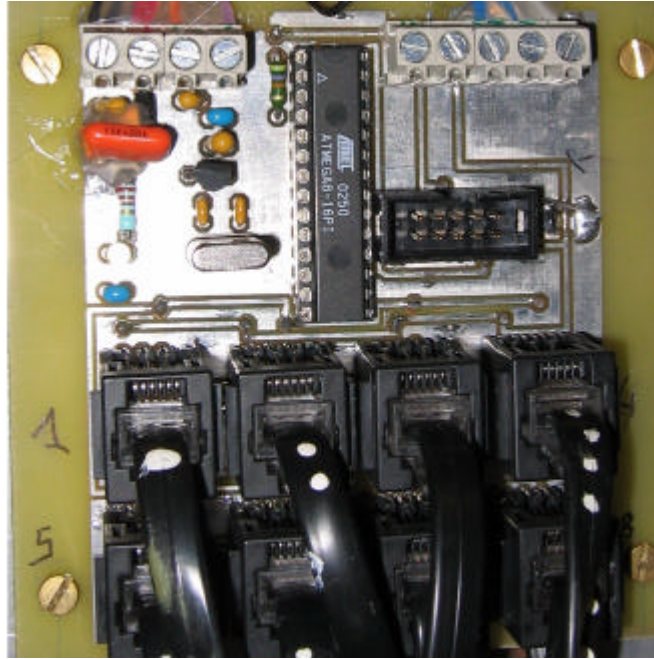
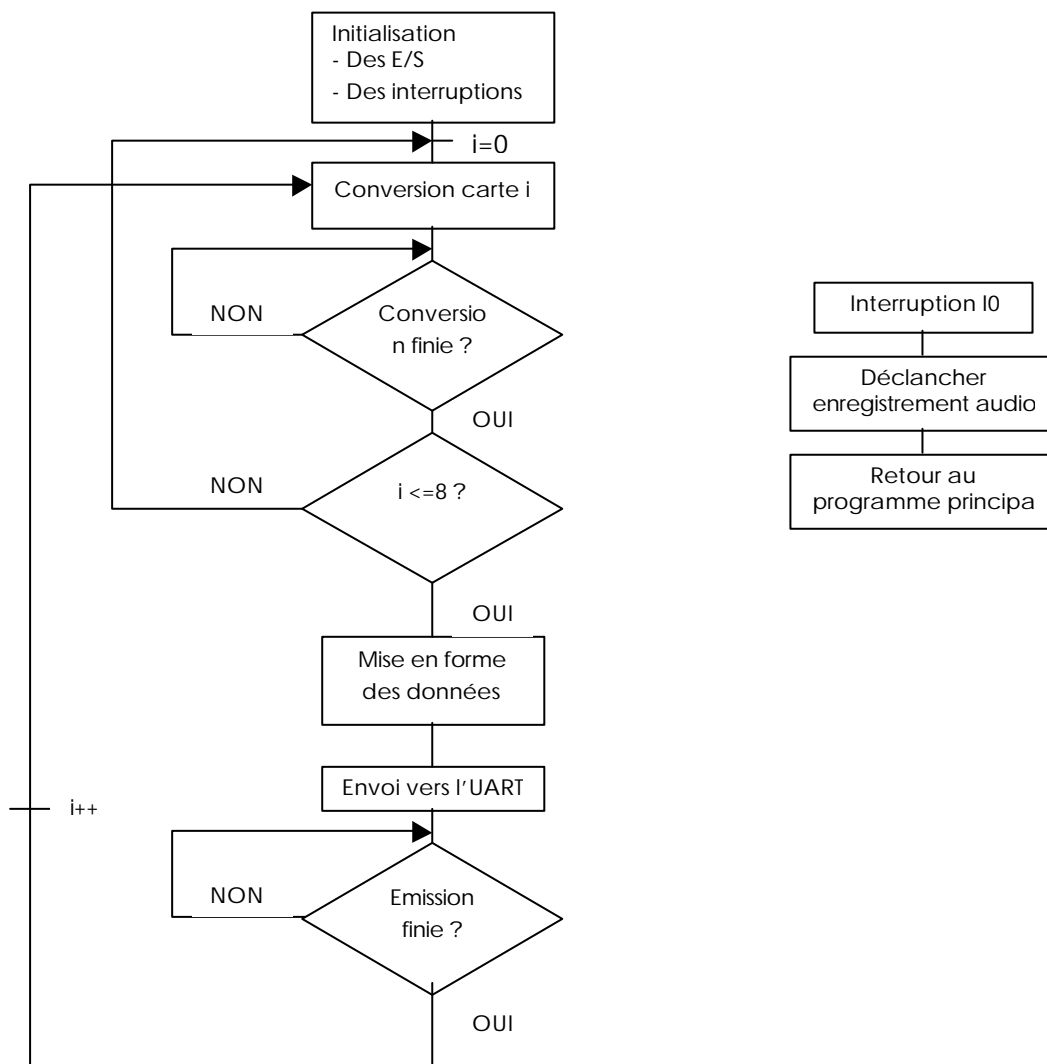


Photo de la carte

### Programmation :

Le programme est assez simple, il consiste à donner l'ordre de conversion à chacune des cartes, récupérer les données sur douze bits et les envoyer sur le modulateur FSK.



Format des trames :

Chaque CAN envoie sa conversion sur 12bits. Chaque mesure est envoyée sur deux mots de 11 bits.

Le premier mot contient un bit de start à 0, le numéro du capteur sur 4 bits puis les quatres premiers bits de la mesure et enfin deux bits de stop à 1.

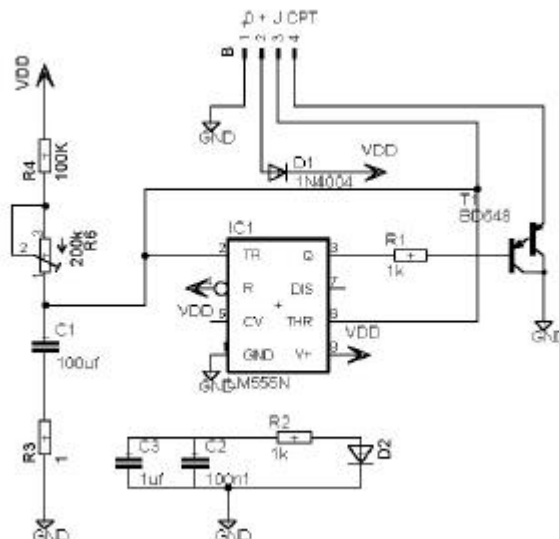
0	N0	N1	N2	N3	D0	D1	D2	D3	1	1
---	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---

Le deuxième mot contient un bit de start à 0 puis les 8 derniers bits de donnée et enfin deux bits de stop à 1.

0	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	1	1
---	----	----	----	----	----	----	-----	-----	---	---

## 1.6 Minuterie

Le rôle de la minuterie, est comme son nom l'indique, de compter. En effet, connaissant la masse de la fusée, on peut connaître à quel instant elle sera à « culmination ». Là, comme la vitesse est la plus faible, on ouvre la parachute. La minuterie permet donc à un temps T de faire fonctionner le servo-moteur, qui ouvre la trappe.



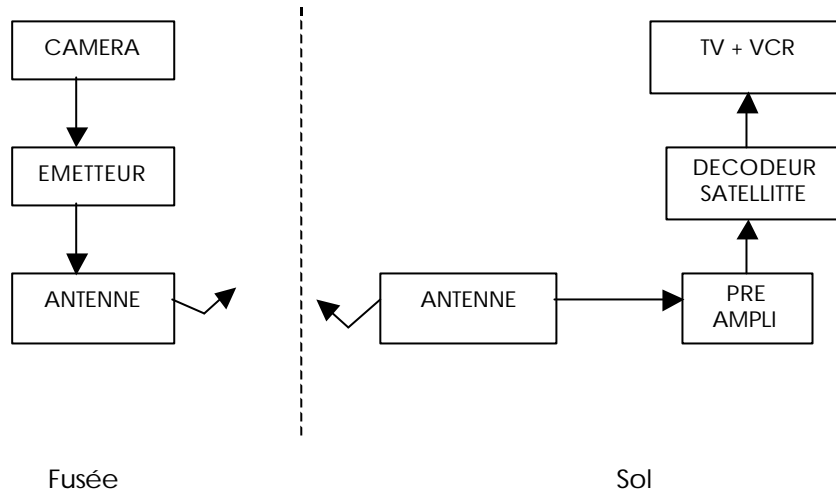
La minuterie est faite à partir d'un montage mono stable de NE555, quand le Jack est enlevé, le circuit RC (à gauche) se charge, et au bout d'un moment, la tension de seuil haute du trigger est atteinte et donc la sortie Q passe à 0. Le transistor qui est un NPN est passant et le servomoteur peut tourner. Nous avons aussi une led bleue qui indique aussi que la carte est allumée.

## 1.7 La vidéo

Le rôle de la vidéo est de filmer le vol de la fusée. Pour cela on utilise une caméra reliée à un émetteur vidéo. Au sol, on a un récepteur et un magnétoscope pour enregistrer.

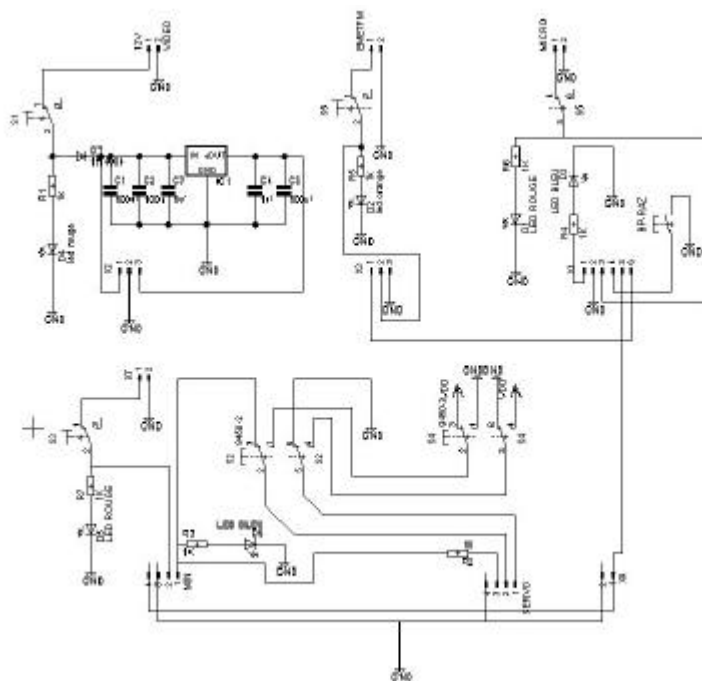
Notre fréquence de travail pour l'émetteur étant de 1.3 GHz, nous avons obtenus une licence radio amateur auprès de l'ART. La caméra est une camera CMOS alimenté en 5V

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		14 / 14



## 1.8 Plaque inter

C'est l'interface Homme- Machine de la fusée, a partir de cette carte, nous pouvons allumer et éteindre les différentes structures de la fusée et vérifier leur fonctionnement ; on peut aussi commander le servo moteur indépendamment de la minuterie et faire une remise a 0 sur le programme du microcontrôleur. C'est aussi par cette carte que transitent tous les fils reliant les différentes fonctions.



Comme on peut le voir, cette carte est essentiellement constituée de switches, de connecteurs et de LEDs,

Il y a 4 switches ON/OFF avec des leds indiquant que le Switch est sur ON pour les quatre parties :

- 1 Pour la Vidéo dans son ensemble (Camera + Emetteur)
- 1 Pour l'émetteur FM Toucan de l'ANSTJ
- 1 Pour le microcontrôleur
- 1 Pour la minuterie

Il y a aussi d'autres fonctions :

- Pour la caméra, on a placé la fonction d'alimentation 5V sur cette carte, cette fonction est faite avec un régulateur linéaire de 5V, plus quelques condensateurs pour filtrer.

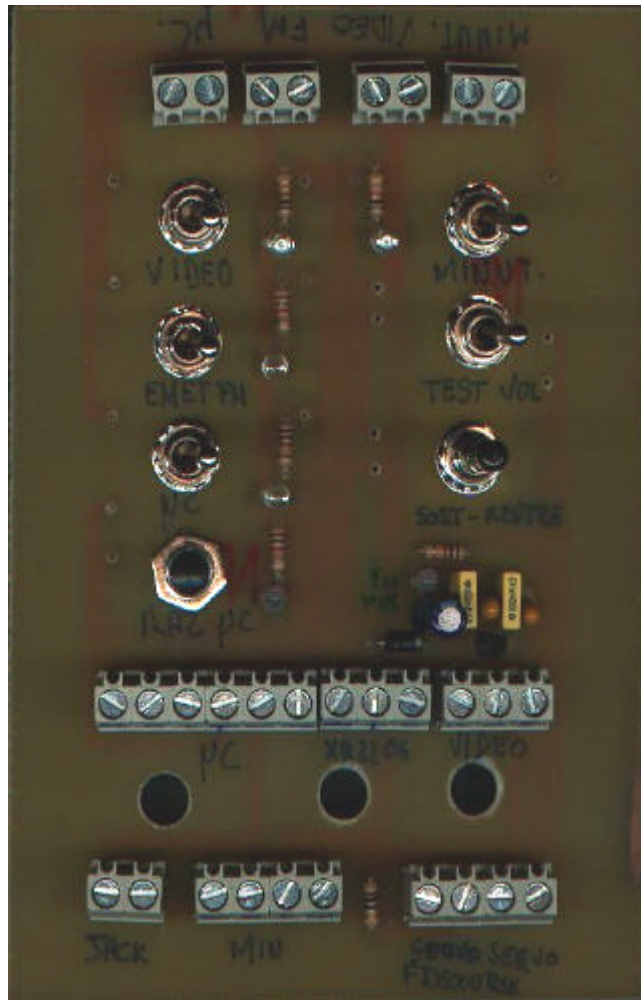
ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		15 / 15

## FUSEE6

- Pour le microcontrôleur, on a, en plus du Switch On/OFF, un bouton poussoir de RAZ du programme et une led indiquant que le processeur fonctionne.
- Pour la minuterie, on a rajouté une led permettant de dire quand le système a fini de compter, et on a aussi deux interrupteurs permettant de commander le servomoteur :
- Un interrupteur sert à choisir le mode test ( c'est l'utilisateur qui commande le servo) ou le mode vol, ou c'est la minuterie qui le commande. Le deuxième interrupteur sert à choisir, quand on est en mode test, le sens du servomoteur, pour ouvrir ou fermer la case parachute.

Au niveau des connecteurs, on a :

- Tous les blocs de piles arrivent en haut de la carte.
- On a la connexion du 12V et du 5V pour la vidéo.
- On a l'inter connexion entre le microcontrôleur et le modulateur FM
- On a l'ensemble des fils qui viennent de la minuterie et qui vont vers le servo et le switch de buté (qui bloque en fin de course le servomoteur)
- On a le jack qui permet de détecter le décollage (présence du jack : circuit en court circuit a la masse, au décollage, le jack s'en va et le circuit est ouvert.



la carte interrupteur

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		16 / 16

MECANIQUE

1.9 Architecture de la fusée

1.9.1 Description générale

La fusée doit être assez grande pour contenir son propre parachute ainsi que toutes les cartes électroniques et les batteries. La structure est très simple, la rigidité sera assurée par la peau constituée d'un tube en aluminium et les cartes seront fixées sur des tubes en « u » maintenus par des galettes. toutes les pièces traditionnelles comme la plaque de poussée, les plaques de séparation et les ailerons seront en duralumin seule l'ogive sera en fibre de verre.

1.10 Pièces mécaniques

1.10.1 Détail des pièces mécaniques

**Peau** : La peau de la fusée est un tube d'aluminium de diamètre intérieur de 96mm et un diamètre extérieur de 100mm. Son épaisseur étant de 2mm, elle assurera la rigidité de la fusée et c'est sur elle que viendront se fixer toutes les autres pièces.

**Plaque de poussée** : La plaque de poussée est une galette fixée au tube par 8 vis M4 qui va supporter toute la poussée du propulseur Chamois. Elle est relativement épaisse avec 15mm d'épaisseur pour un diamètre de 96mm (pour rentrer dans le tube). Elle est munie d'un trou central taraudé M10 pour visser le Chamois ainsi que de deux trous excentrés avec lamages pour fixer une attache en « u » destinée à accrocher le parachute.

**Ailerons** : Les ailerons sont standards, en forme de parallélogrammes. Ils sont percés afin d'être fixés aux équerres. Leur taille (200\*100) est calculée par le logiciel « trajec » de sorte que la fusée soit stable.

**Plaque guide goupille** : Cette plaque est une galette classique équipée d'une encoche pour recevoir le guide goupille. Elle est également munie d'un trou taraudé M5 pour visser un crochet de rappel du parachute. Cette plaque étant au niveau du centre de gravité, la descente sous parachute devrait se faire horizontalement.

**Équerres et contre-équerres** : Ces pièces sont usinées de manière à s'appliquer parfaitement sur la surface courbe du tube. Elles sont fixées par 2 vis M3 chacune par l'intérieur du tube. Les contre-équerres viennent prendre en sandwich les ailerons contre les équerres. Le maintien de l'ensemble est assuré par trois vis M4 qui traversent l'ensemble des trois pièces.

**Ogive** : L'ogive est réalisée en fibre de verre. Un moule en balsa a d'abord été façonné avec un tour jusqu'à obtenir la forme voulue. Après avoir huilé le balsa pour un démoulage plus facile, on applique les bandes de fibre de verre enduite de résine sur le moule. Après séchage, on ponce l'ogive puis on applique une couche de mastic. On ponce une dernière fois pour avoir une ogive parfaitement lisse. Après démoulage du support en balsa, on procède aux finitions (ponçage de l'intérieur, peinture...).

**Adaptateur du tube de Pitot** : Cette pièce permet de fixer les deux tubes concentriques de Pitot au tube qui permet de fixer les triangles.

**Triangles** : Ce sont des triangles équilatéraux de 5cm de côté dans lesquels se trouve un trou de 2cm de diamètre pour le passage d'un tube de support. Les triangles sont fixés au tube grâce à des vis traversantes. Correctement espacés, les triangles permettent la fixation de trois cartes électroniques à la verticale (L'émetteur FM, L'émetteur vidéo et la carte de mesure du tube de Pitot).

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		17 / 17

**Guide goupille :** Le guide goupille est fixée à la porte de la case parachute. Une fois la porte fermée, le guide goupille vient se caler parfaitement dans la plaque guide goupille. Le trou du guide goupille se retrouve alors parfaitement centré sous la goupille. Lorsque celle-ci descend, elle rentre dans le guide goupille et la porte est ainsi verouillée.

**Plaque interface tube :** Cette plaque permet de maintenir verticalement le tube muni des triangles sous l'ogive. Toute la partie haute de la fusée est donc fixe à l'exception de l'ogive qui est amovible.

**Plaques de séparation :** Ces plaques mesurent comme les autres 96mm de diamètre et servent à séparer les différents étages dans la fusée (Étage des batteries, étage des cartes électronique, étage du parachute...).

**Buse de Pitot :** Cette pièce a été usinée dans le but de faciliter la pénétration du tube de Pitot dans l'air grâce à sa forme aérodynamique. Son autre utilité est de maintenir fermement les deux tubes concentriques bien en face de l'adaptateur du tube de Pitot.

## 1.10.2 Système de récupération

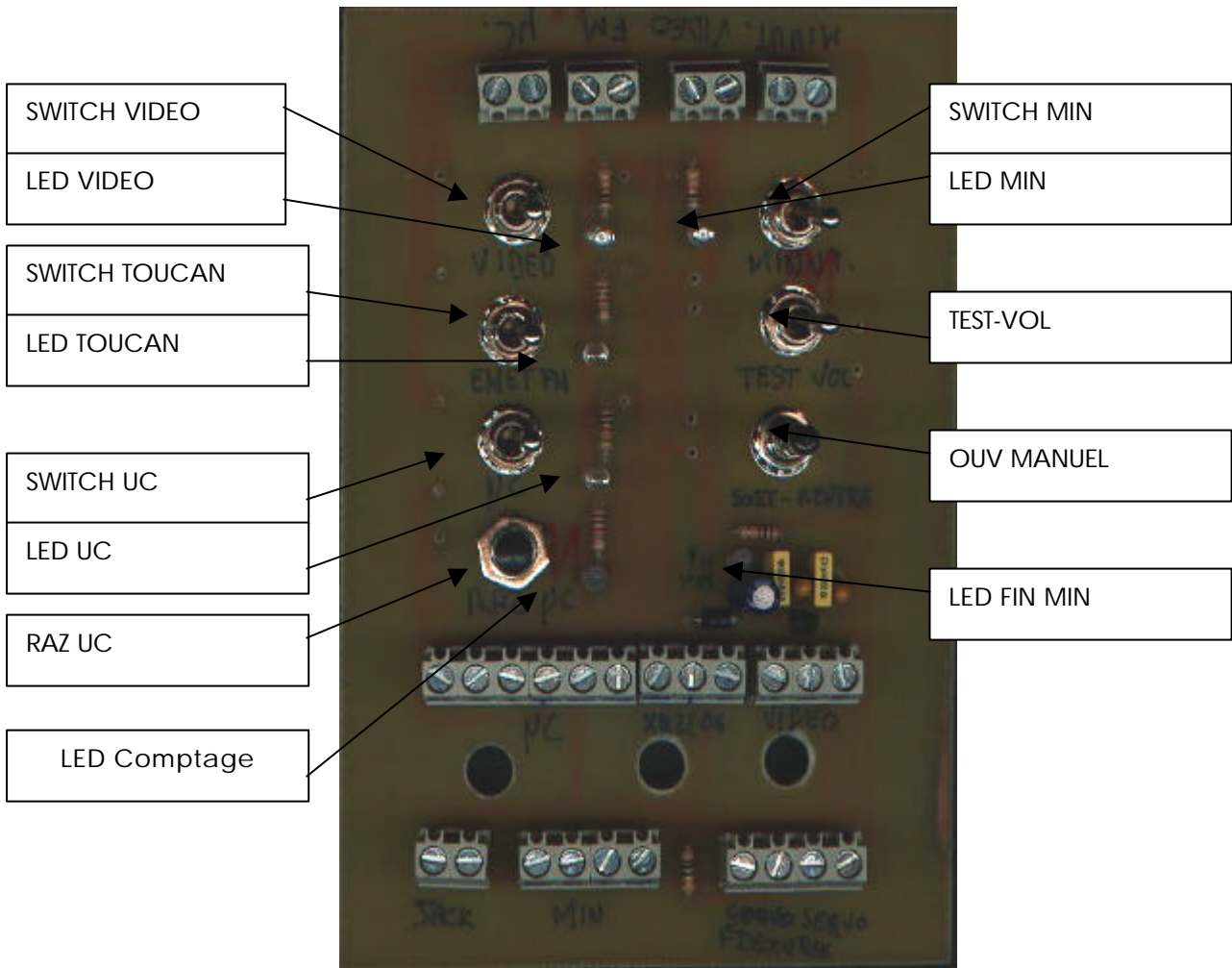
Il est constitué d'un parachute de forme classique (deux rectangles croisés). La surface est calculée pour que la fusée descende avec une vitesse autour de 10 mètres par seconde.

## 1.10.3 Bilan massique

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		18 / 18



Configuration carte inter:



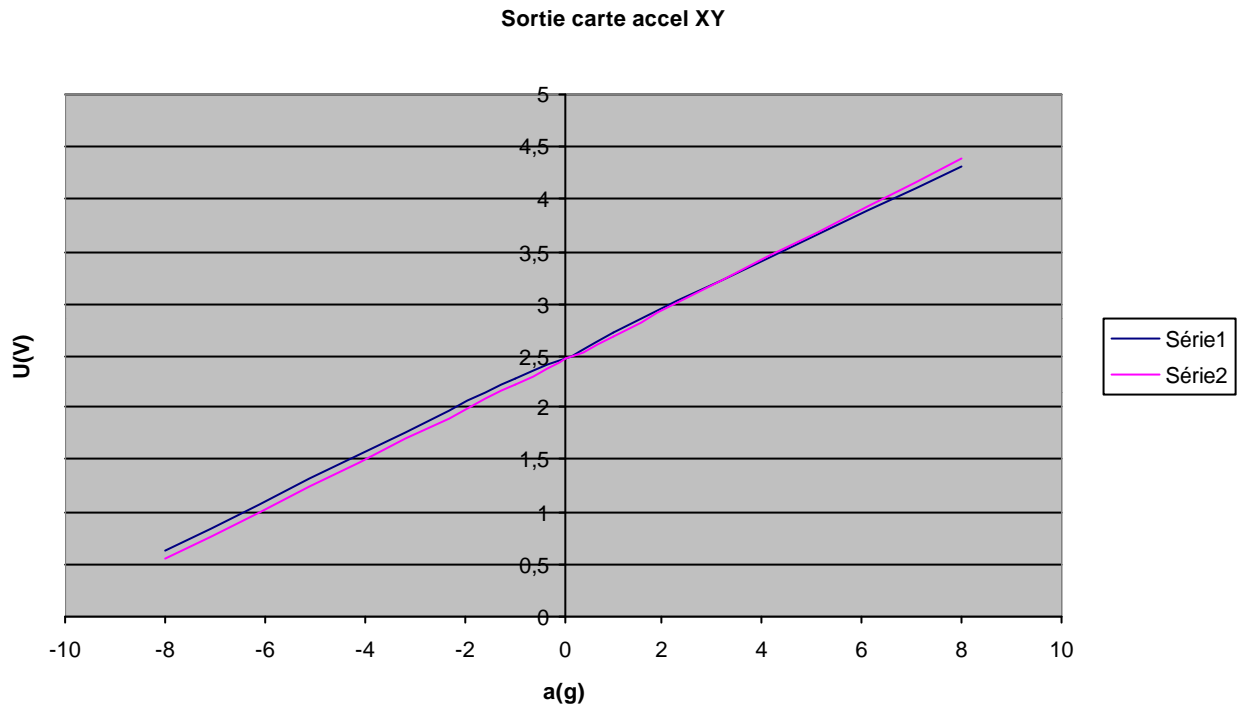
Pour le vol : Tous les inter vers la droite  
 4 Leds fixe  
 Jack enlever : 1Led bleu clignotante  
 Fin min une led bleu en plus fixe

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		20 / 20

ANNEXES

1.2 Courbes d'étalonnage des capteurs

1 Acceleration XY

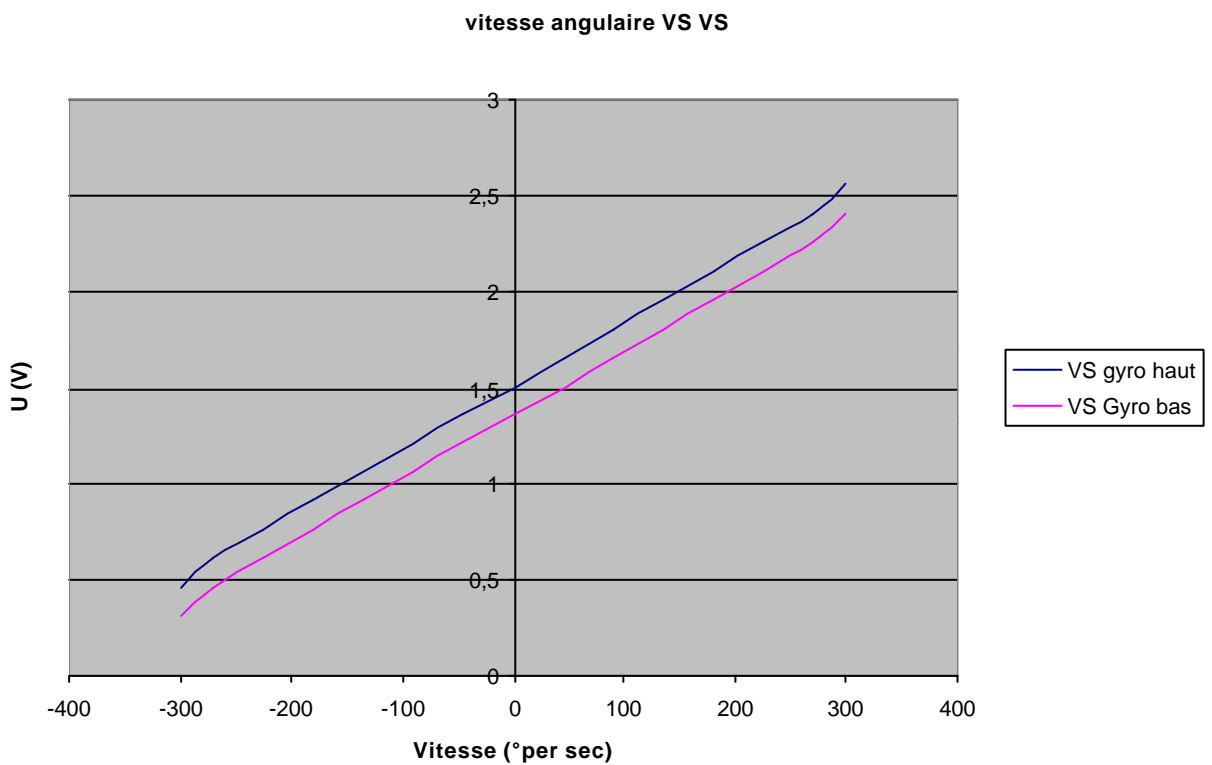


En bleu : Axe des X  
 En rose : Axe des Y

## 2 Acceleration Z



## 3 Gyroscopes

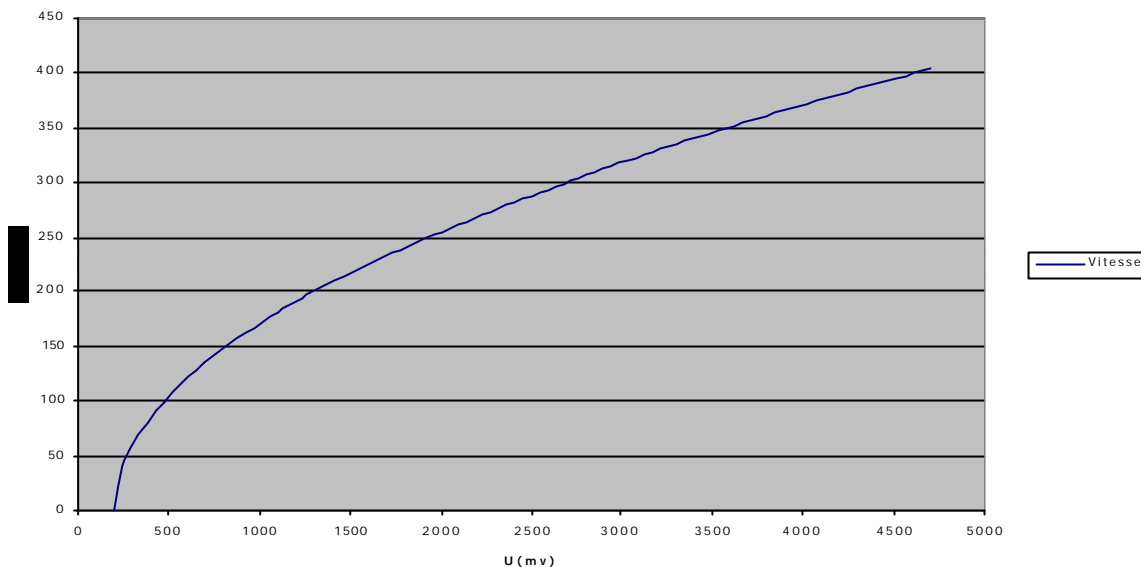


En bleu : Gyro de l'axe des X  
 En Rose : Gyro de l'axe des Y

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
<b>FUSEE6</b>	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		22 / 22

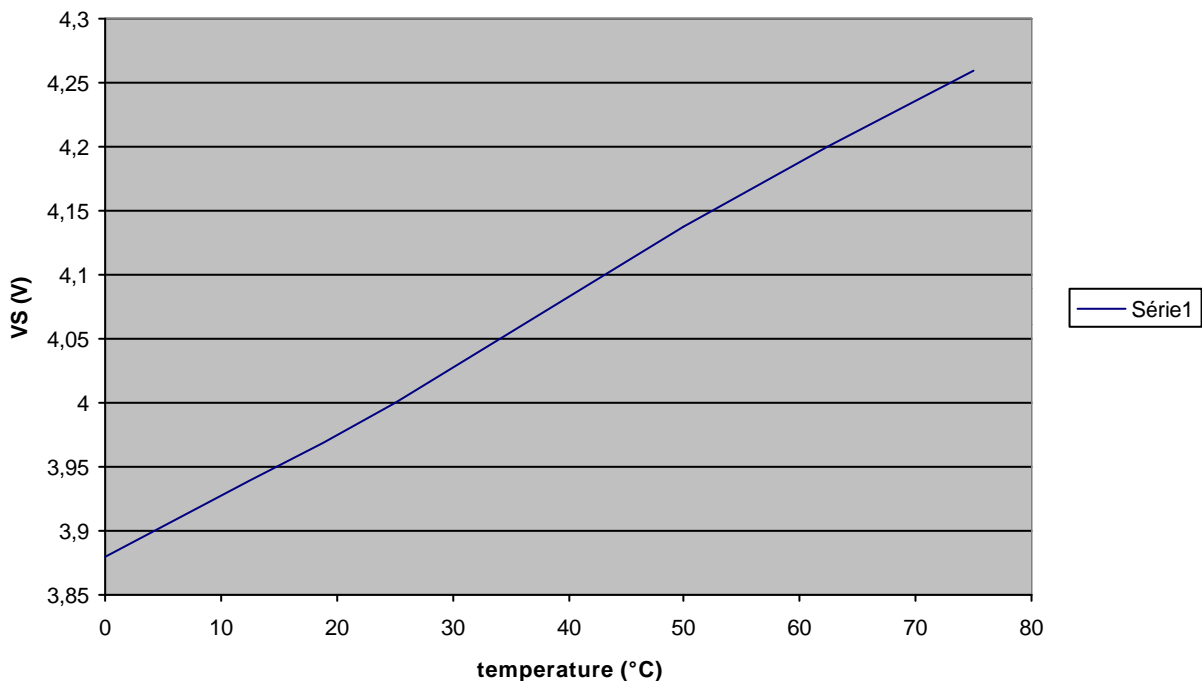
4 Etalonnage du capteur de vitesse

Vitesse vs Tension

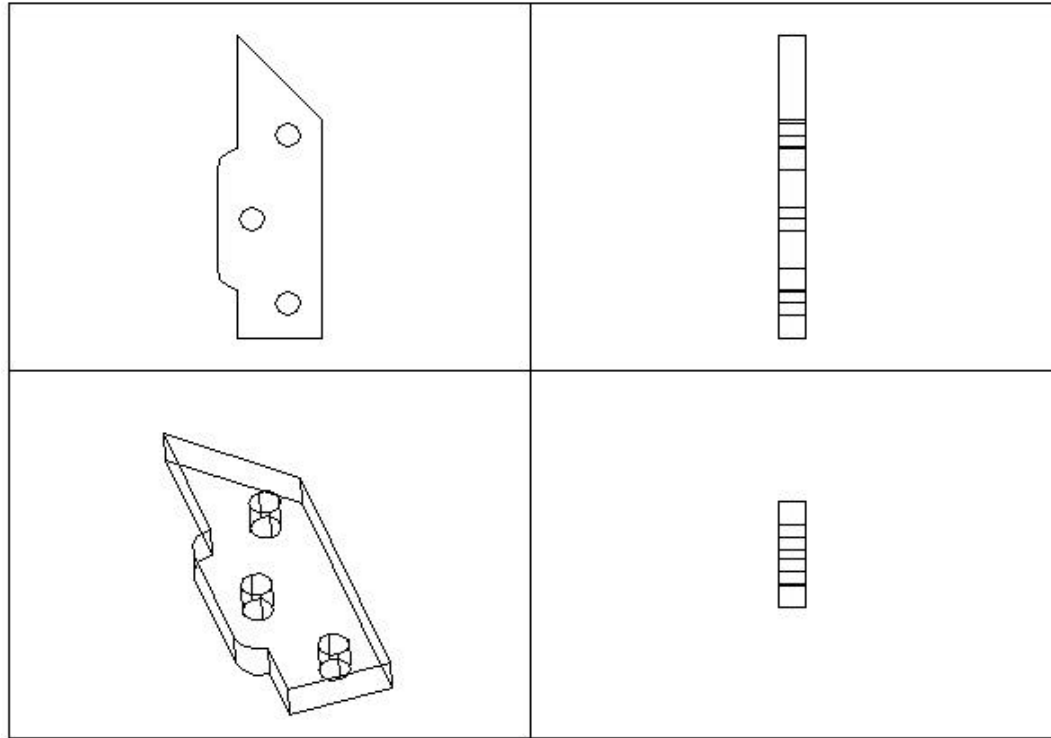


4 Etalonnage du capteur de temperature

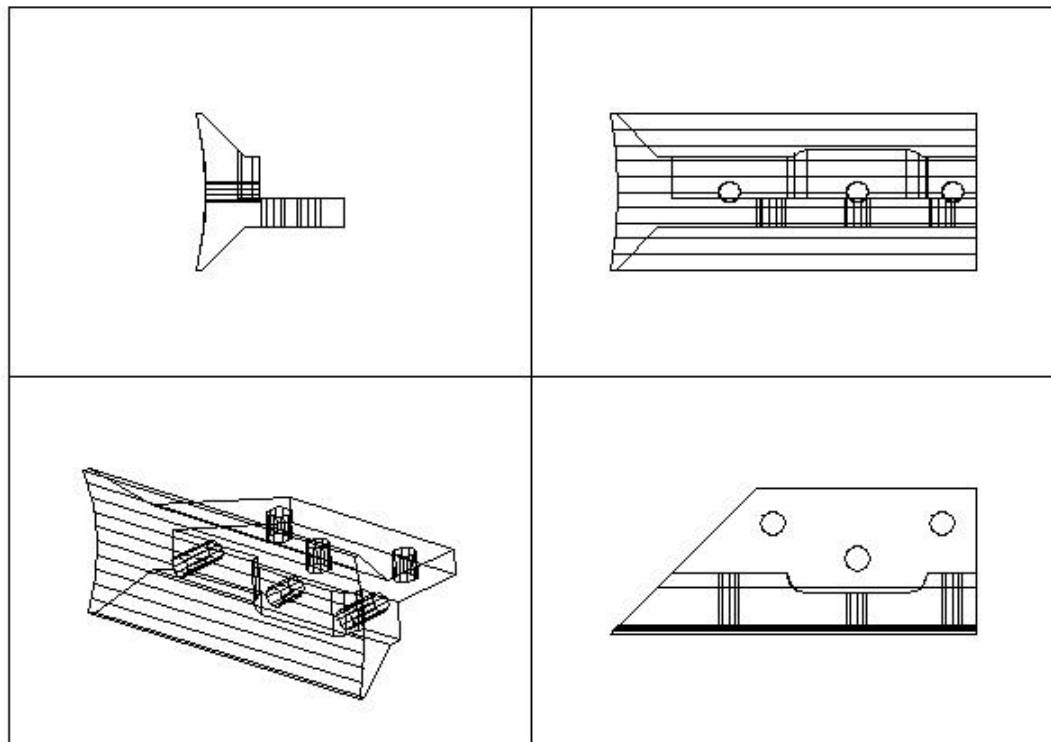
VS temp



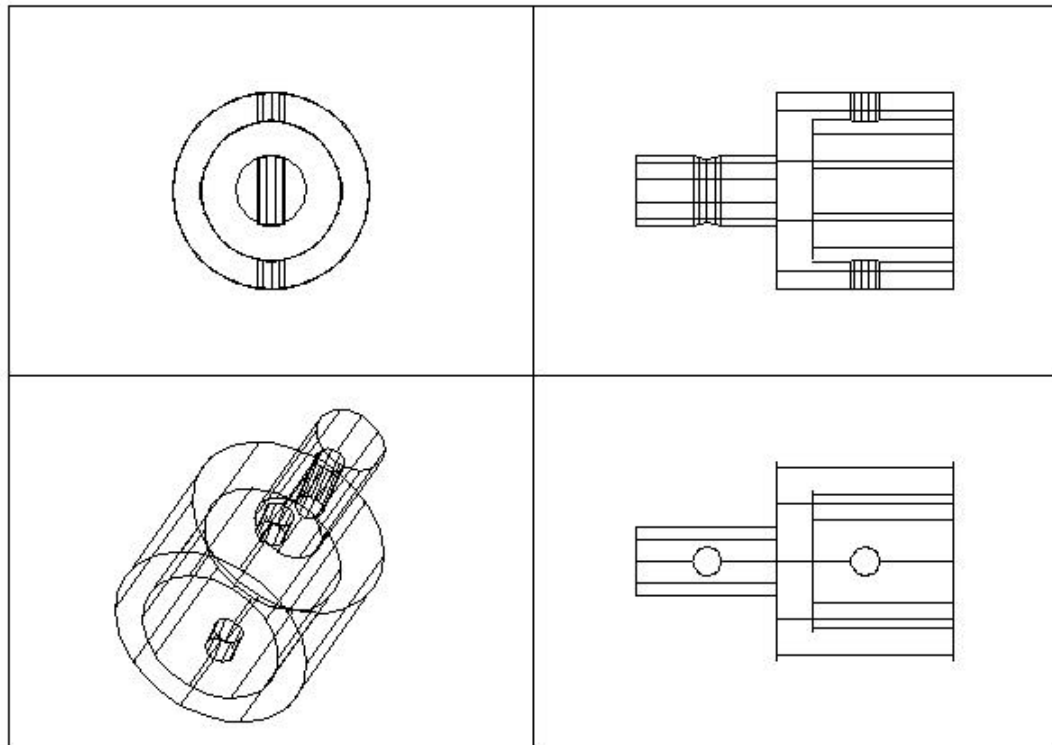
1.3 Plans mécaniques



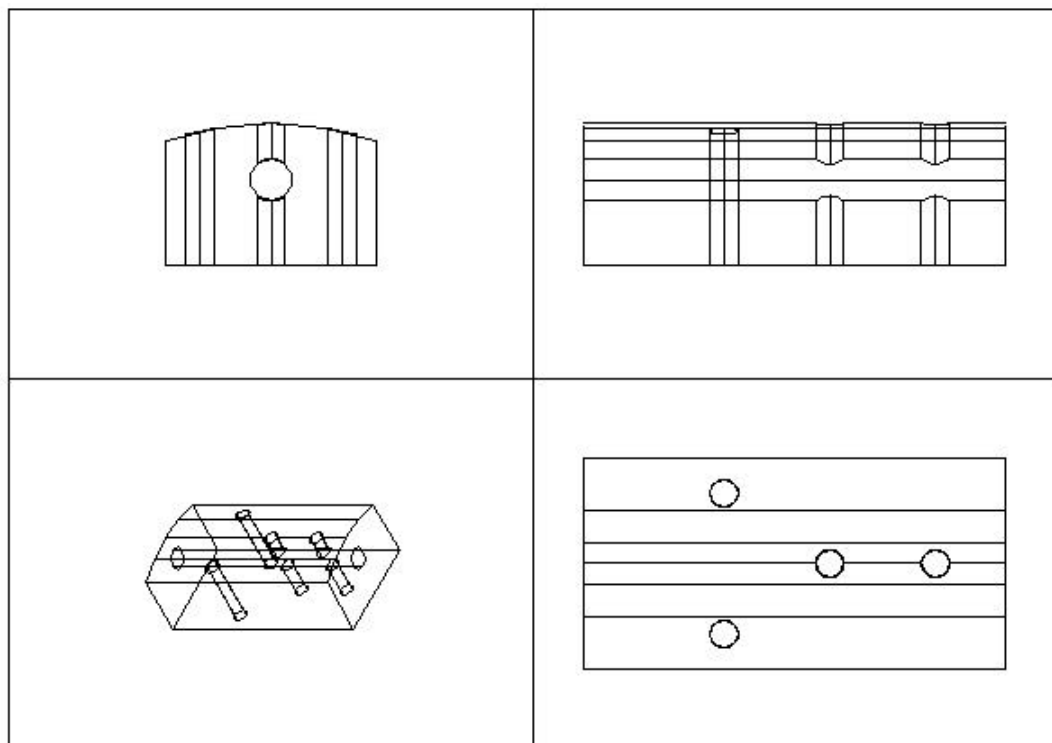
Plan mécanique 1: Contre-équerre



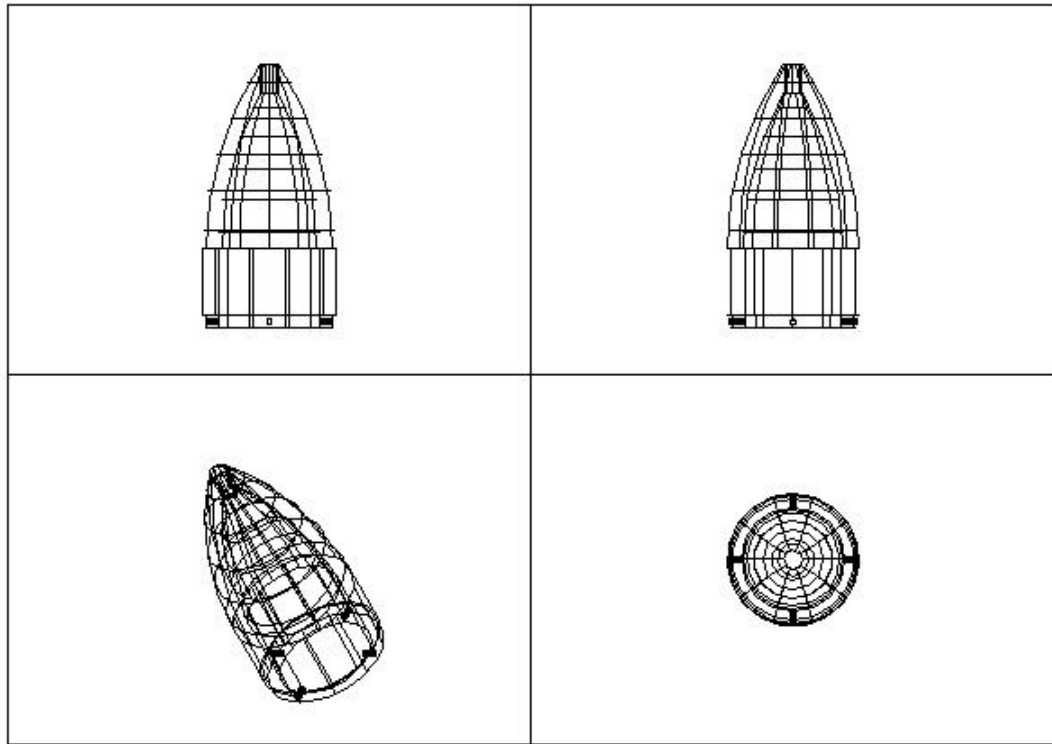
Plan mécanique 2: Equerres



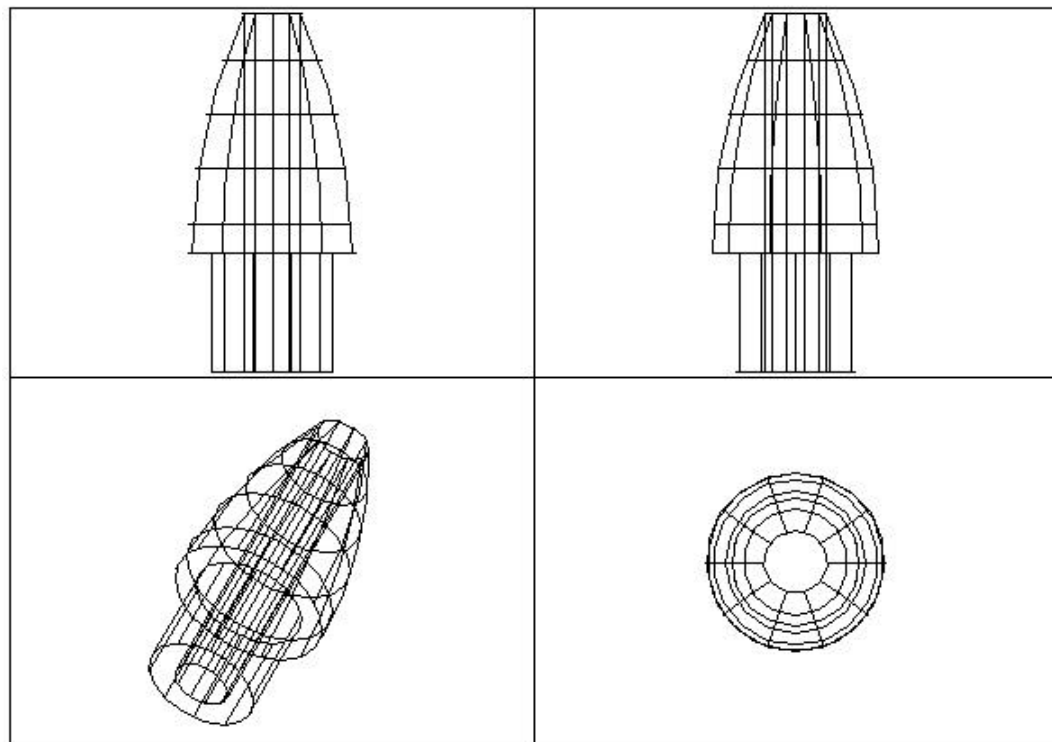
Plan mécanique 3: Adaptateur du tube de Pitot



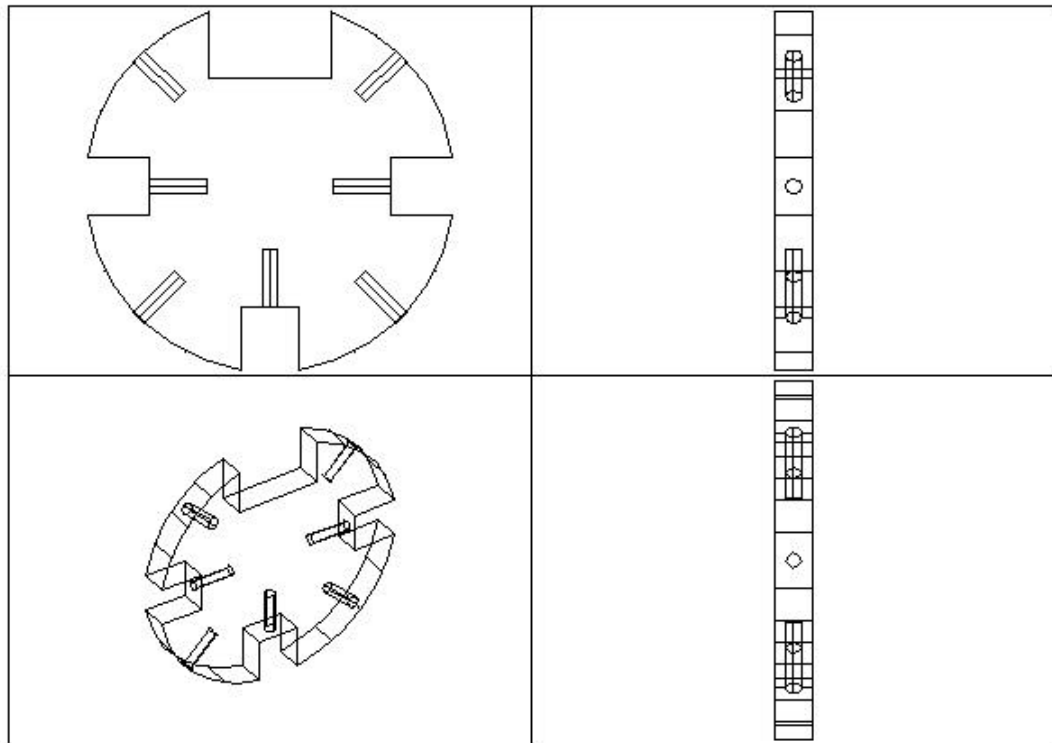
Plan mécanique 4: Guide goupille



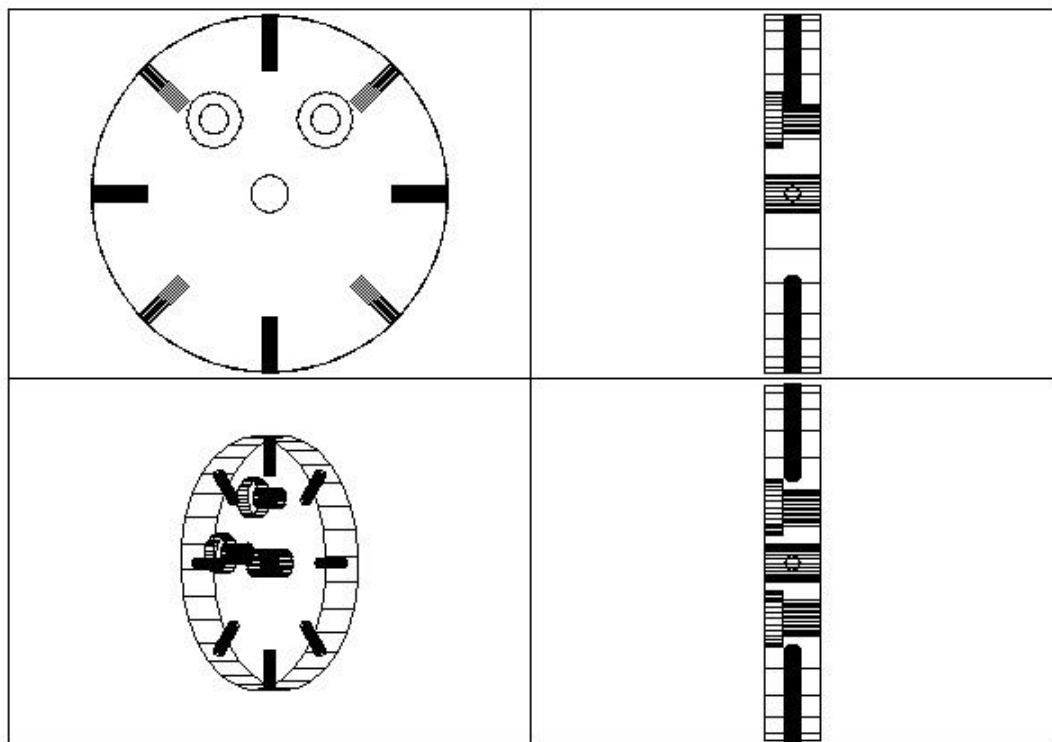
Plan mécanique 5: Ogive



Plan mécanique 6: Buse de Pitot

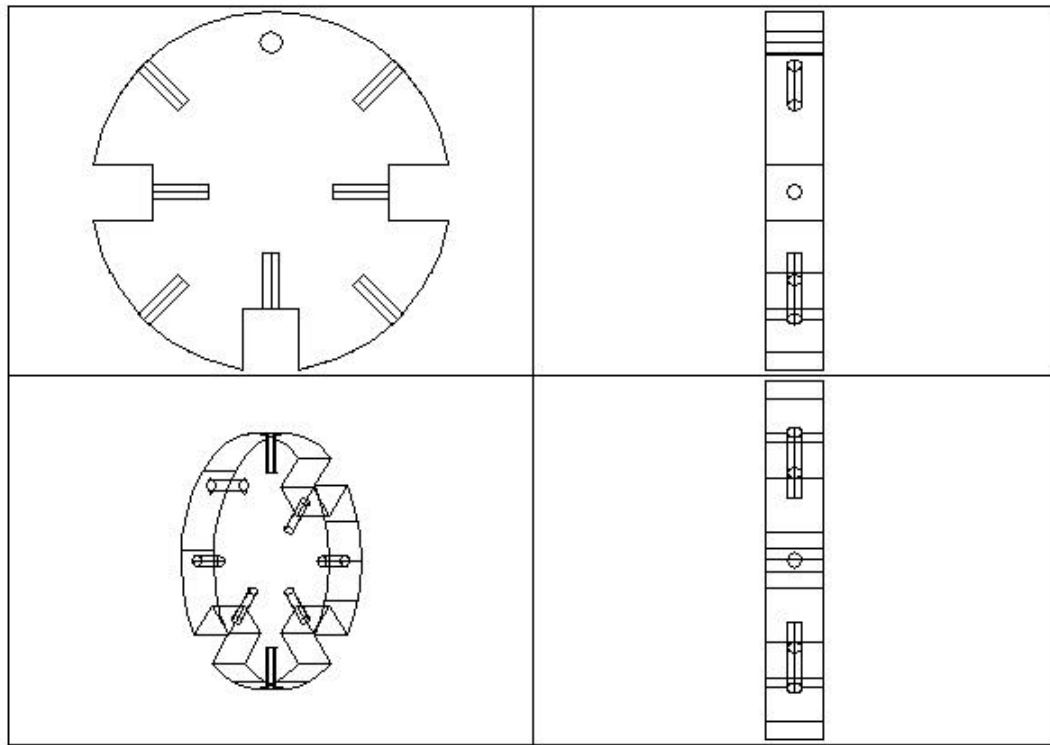


Plan mécanique 7: Plaque guide goupille

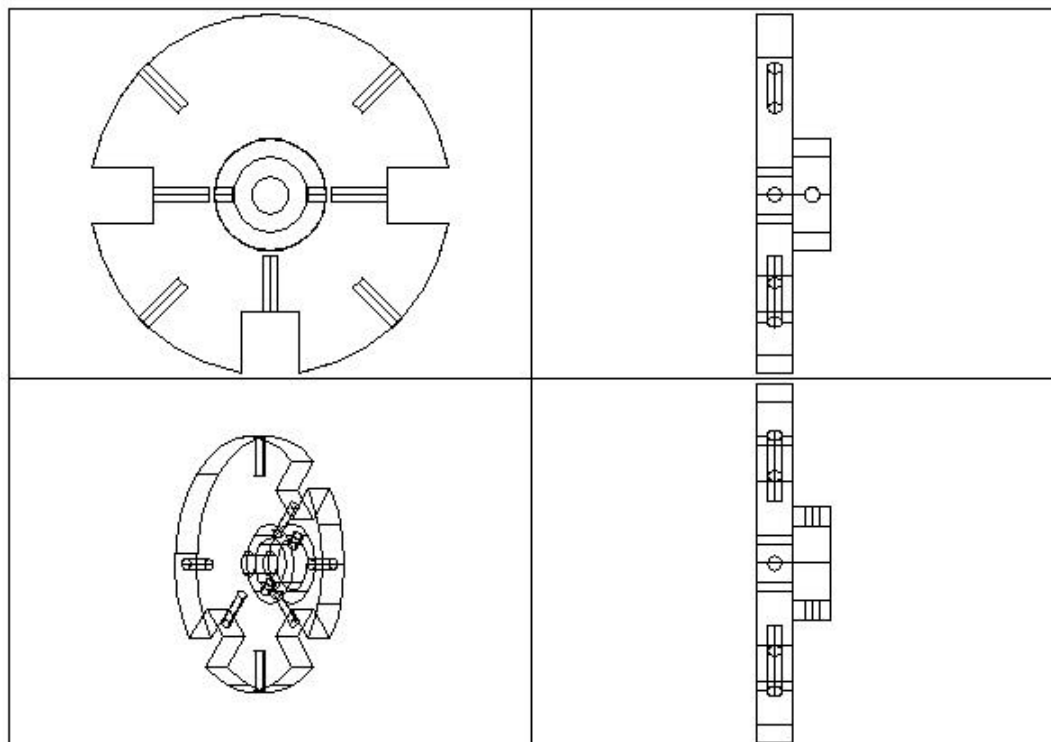


Plan mécanique 8: Plaque de poussée

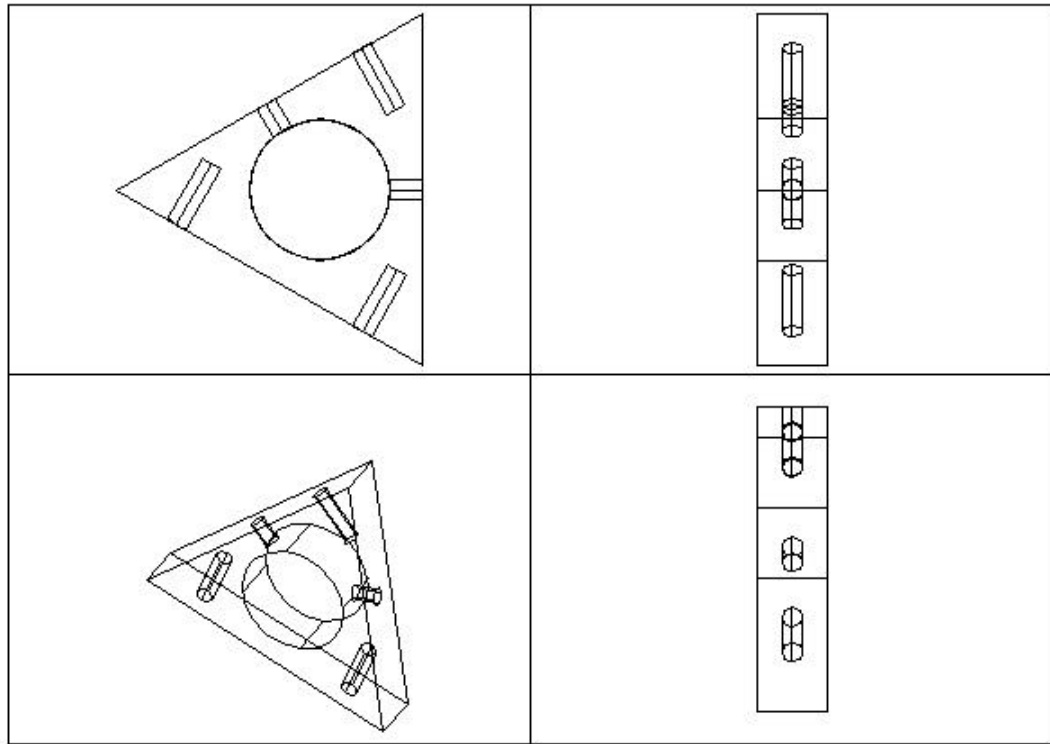
ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		27 / 27



Plan mécanique 9: Plaque de séparation



Plan mécanique 10: Plaque interface tube



Plan mécanique 11: Triangle

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		29 / 29

**FUSEE6**



CFA UPMC IFITEP - 4 place Jussieu - casier 232 - 75005 Paris Cedex 05

## Auteurs

BOULLET Romain  
CARRIERE Thomas  
GAGNON Gautier

## RESULTATS DU VOL DE SAONE

Campagne Sissonne 2003

## Distribution

**ANSTJ**  
Vincent RICHE

**IFITEP**  
Christian Gury  
Gilles Cordurié



ED	1	RAPPORT TECHNIQUE - PROJET SAONE		
<b>FUSEE6</b>	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		1 / 1

## TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>MISE EN ŒUVRE DU PROJET</b>	<b>3</b>
1.1	INTRODUCTION	3
1.2	LES CONTROLES	3
1.3	LE LANCEMENT	3
<b>2</b>	<b>RESULTATS DU VOL</b>	<b>4</b>
2.1	LE SON	4
2.2	LA VIDEO	4
2.3	LA VITESSE	4
2.4	L'ACCELERATION SUR L'AXE DES X	5
2.5	L'ACCELERATION SUR L'AXE DES Y	5
2.6	L'ACCELERATION SUR L'AXE DES Z	6
2.7	LA ROTATION SUR L'AXE DES X	6
2.8	LA ROTATION SUR L'AXE DES Y	7
2.9	LA ROTATION SUR L'AXE DES Z	7
2.10	LA TEMPERATURE	8
<b>3</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>9</b>
3.1	BILAN TECHNIQUE	9
3.2	BILAN HUMAIN	9
3.3	REMERCIEMENT	9

# 1 MISE EN ŒUVRE DU PROJET

## 1.1 Introduction

Le projet que nous avons conçu et réalisé tout au long de l'année scolaire, dans le cadre de notre mise en situation d'ingénieur, a été mis en œuvre à la campagne de Lancement de Sissonne.

Cette campagne, organisée par Planète science et le CNES, se déroule en deux étapes :

Il y a les contrôles sur trois jours, qui permettent de vérifier que le projet est conforme au cahier des charges de Planète science

Le lancement qui a eu lieu le 2 Août, sur un champs de tir militaire

Une troisième phase qui est exposé dans le présent document consiste a exploiter les données du vol.

## 1.2 Les contrôles

Dès notre arrivée au festival nous avons commencé par nous présenter aux contrôles. Il y a quatre types de contrôles :

- Les contrôles mécaniques (test de solidité, stabilité et ouverture du parachute)
- Les contrôles électroniques (Alimentations, chaines de mesures, échantillonnage)
- Les contrôles de télémessure (Tests d'acquisition, de portée, de trame)
- Le vol simulé (permet de simuler au sol, toutes les phases de vol de la fusée)

Dans l'ensemble, tous les contrôles ont été passé avec succès seules deux remarques ont été faites :

- Les conditions météo nous ont obligé à utiliser un parachute de taille inférieur à la taille prévue initialement pour une descente plus rapide de la fusée.
- Il nous a fallu rajouter des filtres anti-repliement dans chaque chaine d'acquisition.

Le vol simulé s'est bien déroulé et nous a laissé présager un vol sans encombre.

## 1.3 Le lancement

Le lancement était initialement prévu à 10h00. Malheureusement, après un essai de télémessure en rampe, nous sommes remontés en tente club pour des tests complémentaires. Ceux-ci ont été très concluant et nous pensons que certaines fréquences émises par les anémomètre présents sur le site ont pu interférer avec notre télémessure. Nous étions en effet les seuls à utiliser l'ancien émetteur Toucan.

La nouvelle fenêtre de lancement accordée était à 18h00. Après la compatibilité rampe et la mise en place du propulseur, nous avons procédé au lancement. Le parachute s'est ouvert à la culmination et le vol fut nominal. La fusée à été récupérée le lendemain ainsi que les données du vol.

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		3 / 3

## 2 RESULTATS DU VOL

### 2.1 Le son

Le petit enregistreur audio situé dans la fusée à très bien fonctionné. On distingue parfaitement le bruit des trois phases du vol :

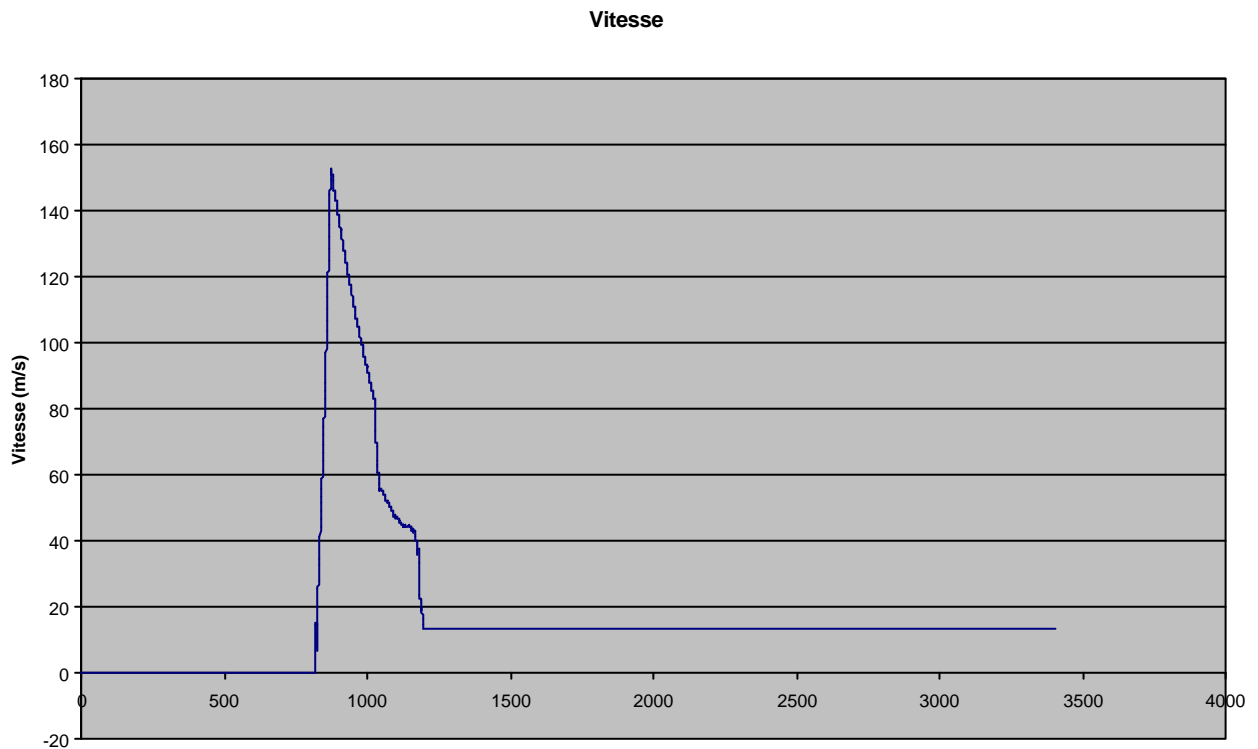
- 0 à 14 secondes : La phase ascensionnelle (accélération puis chute libre)
- 14 seconde : Ouverture du parachute (on entend bien l'éjection de la porte)
- 16 à 60 secondes : La descente sous parachute (bruit du vent et des sangles)

### 2.2 La vidéo

Pour des raisons inconnues, la portée de notre émetteur vidéo n'a jamais dépassé 200 mètres. De ce fait, aucune image de la caméra n'a pu être enregistrée, la distance entre notre système de réception et la rampe étant déjà supérieure à cette limite.

### 2.3 La vitesse

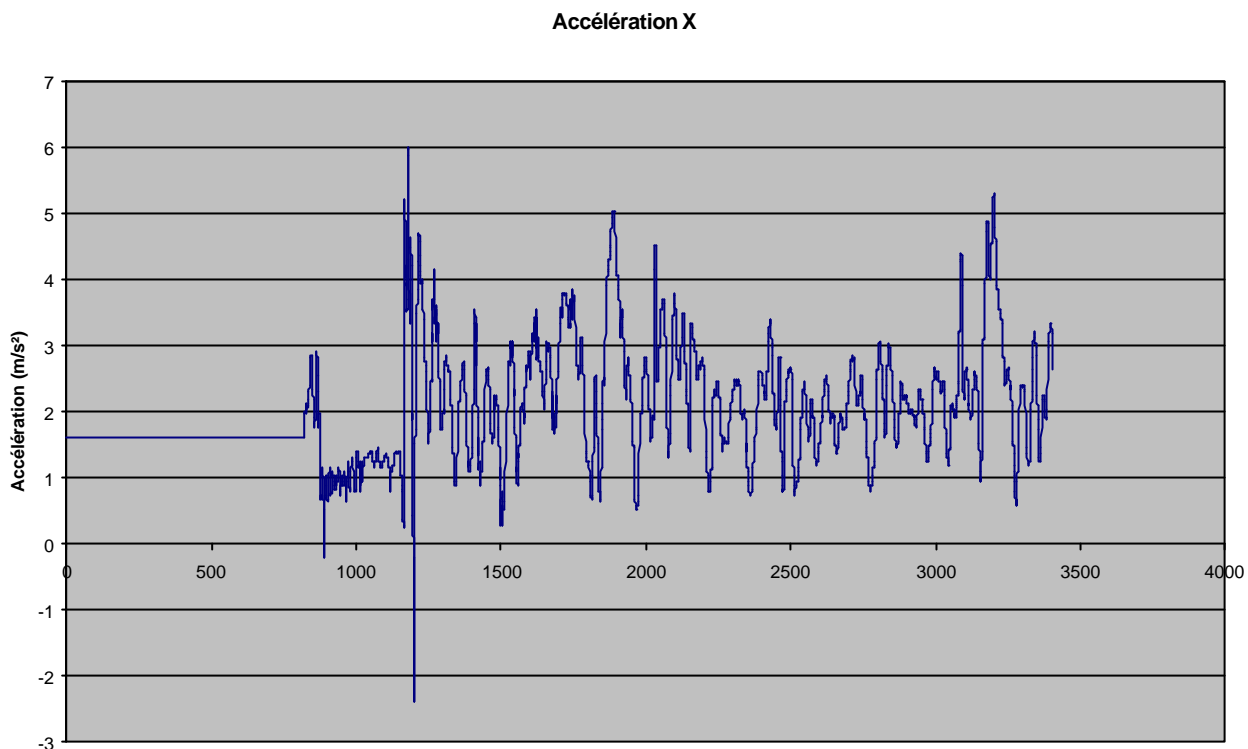
Le traitement des télémessures nous a permis d'obtenir la courbe suivante.



On voit bien les trois phases de vol. Accélération de 0 à 150m/s. Puis une vitesse autour de 15m/s pendant la descente sous parachute.

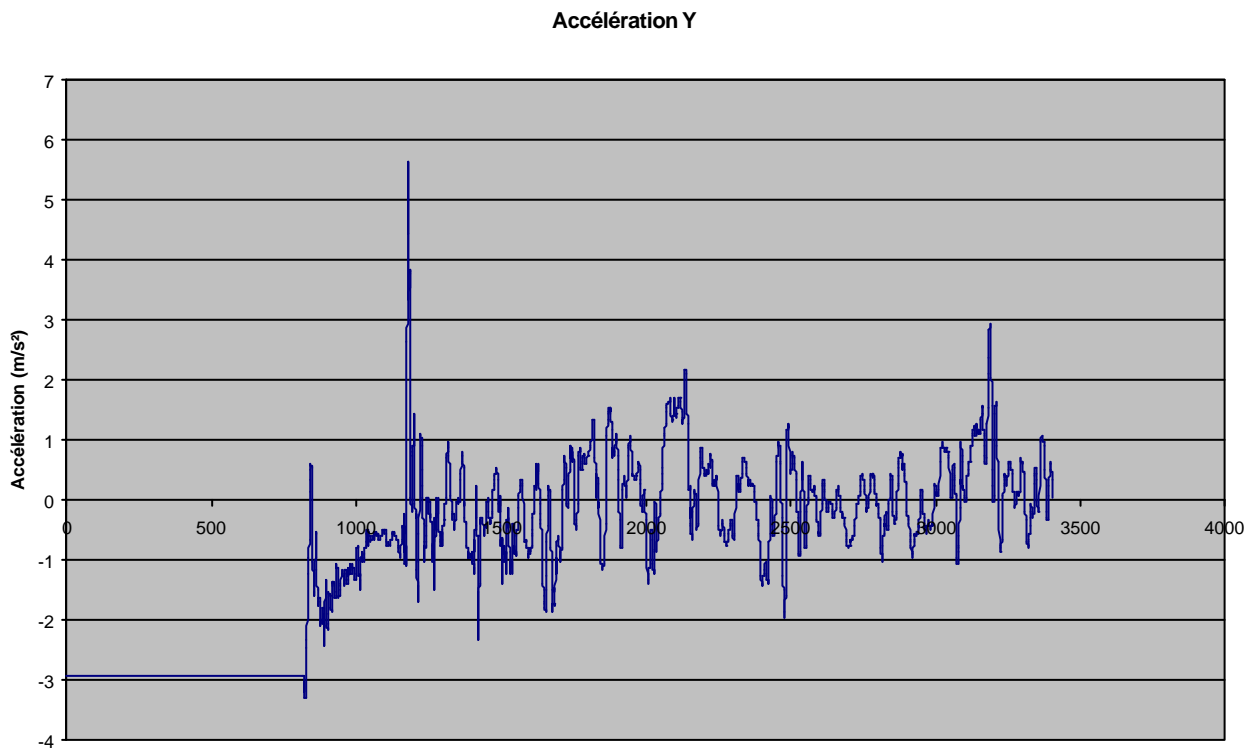
ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		4 / 4

## 2.4 L'accélération sur l'axe des X



On voit qu'entre le décollage et l'ouverture du parachute, la fusée n'a subit qu'un très léger déplacement dans l'axe des X.

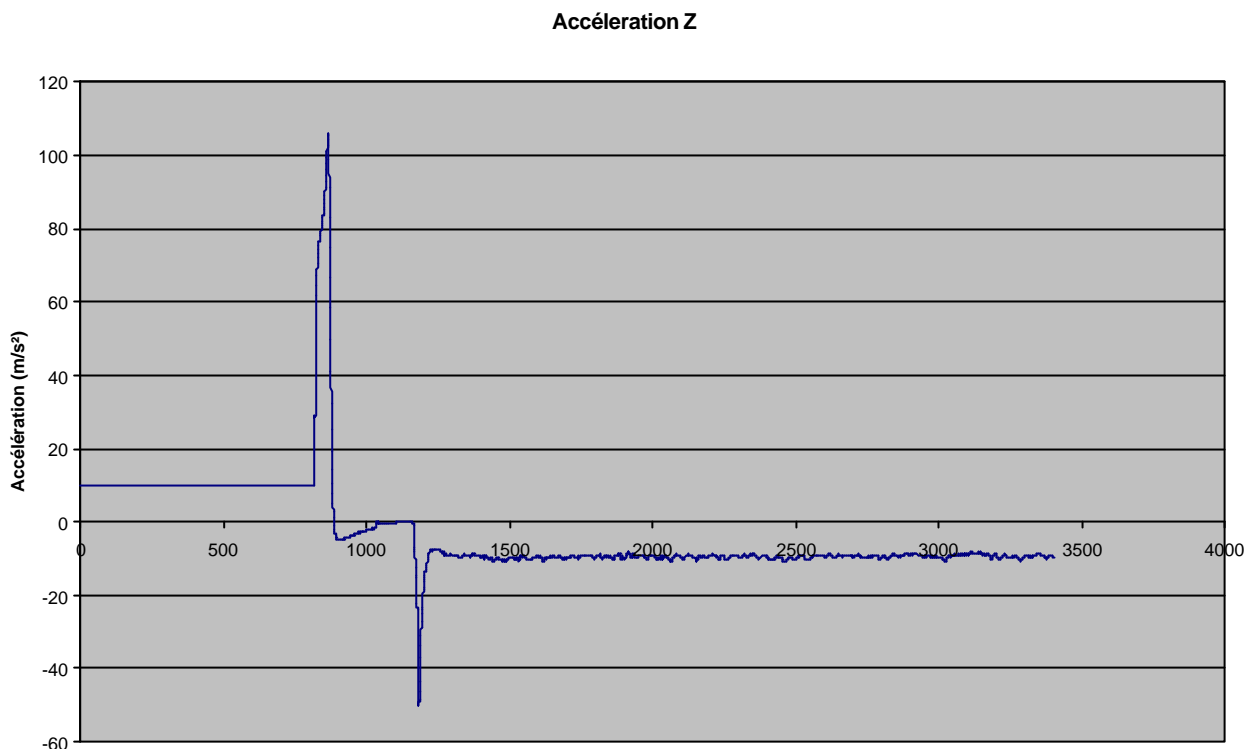
## 2.5 L'accélération sur l'axe des Y



On voit qu'entre le décollage et l'ouverture du parachute, la fusée a subit un léger déplacement dans l'axe des Y. On devine la parabole décrite par la fusée.

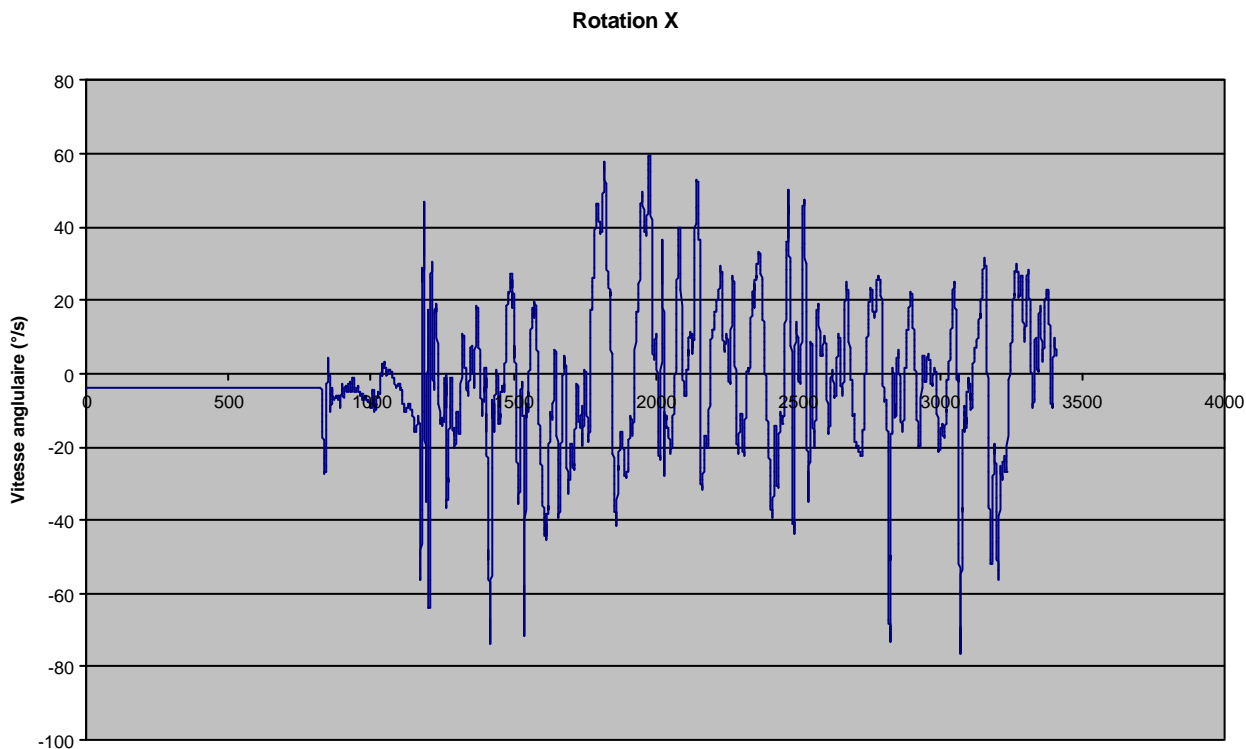
ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
<b>FUSEE6</b>	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		5 / 5

## 2.6 L'accélération sur l'axe des Z



On voit nettement les différentes phases du vol. La fusée accélère puis décélère. Elle subit une forte décélération à l'ouverture du parachute, puis n'est soumise qu'à l'accélération de la pesanteur.

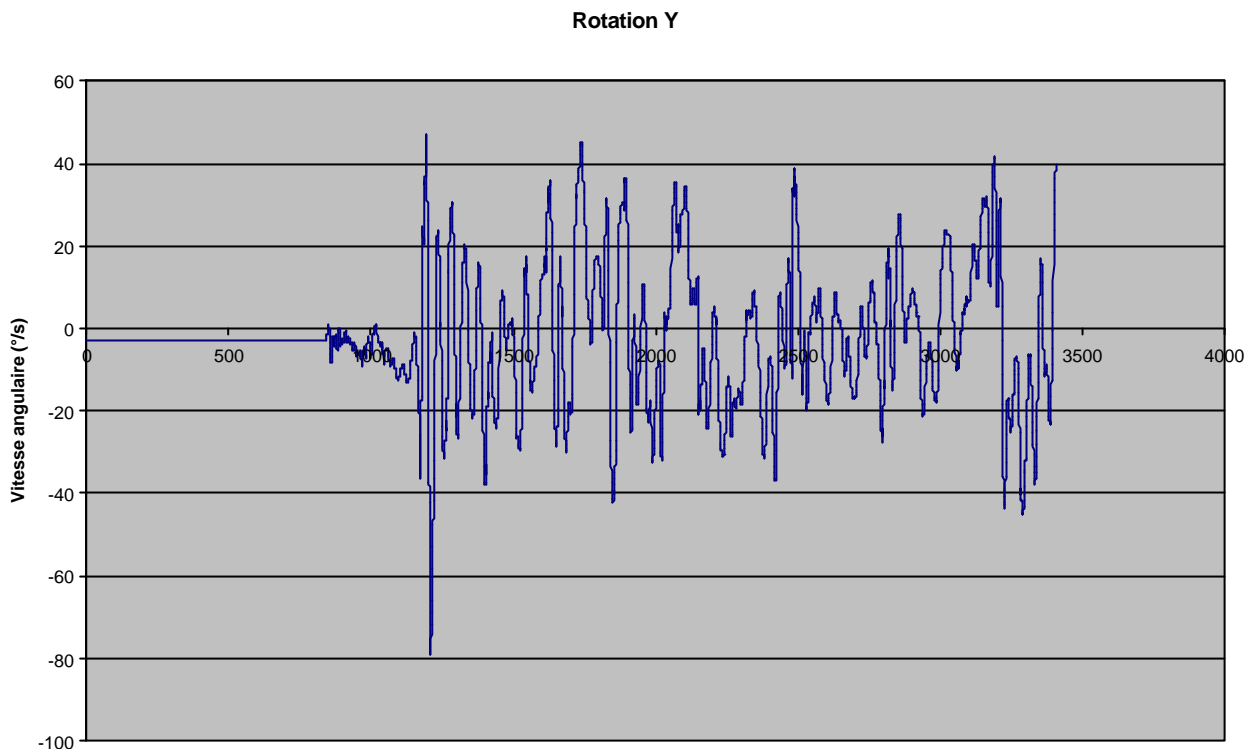
## 2.7 La rotation sur l'axe des X



On voit que la fusée a peu tourné sur l'axe des X dans la phase de poussée. On voit très bien le moment où le parachute s'est ouvert (t=21s).

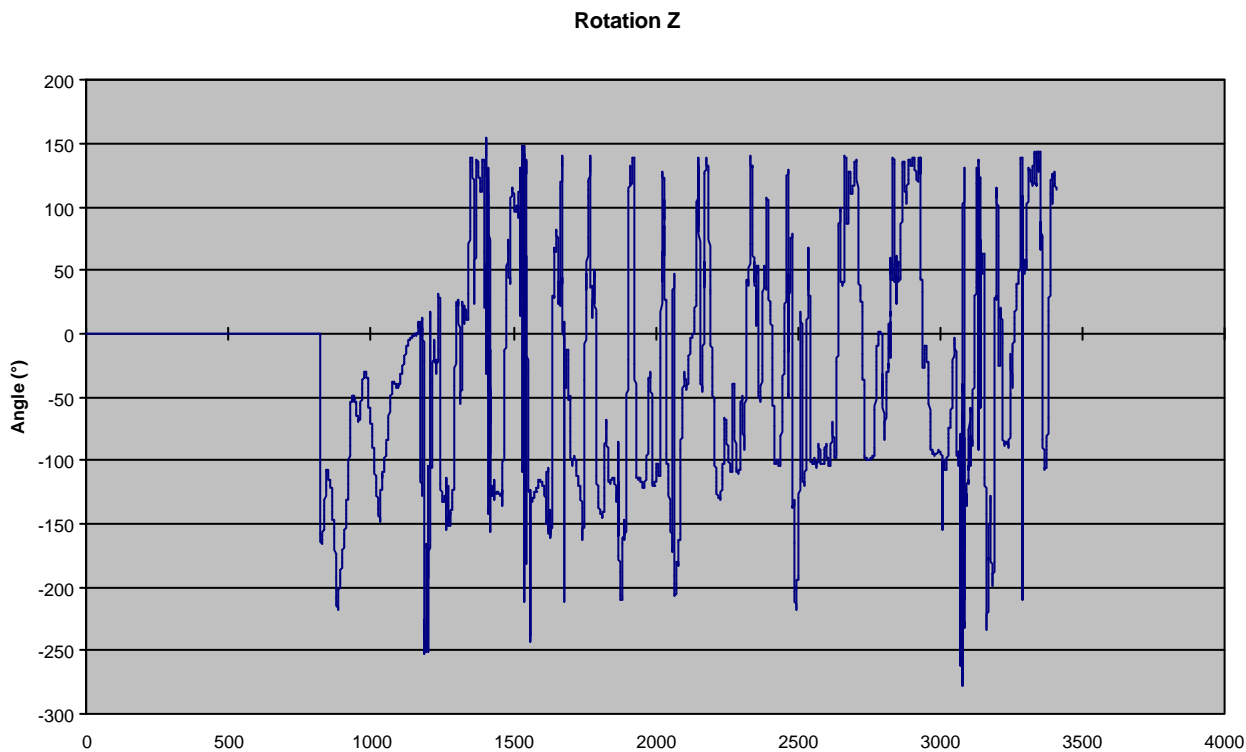
ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		6 / 6

## 2.8 La rotation sur l'axe des Y



On voit bien que la fusée n'a pas tourné autour de l'axe Y dans sa phase de montée mais on voit très bien grâce aux oscillations d'amplitudes décroissantes qu'elle s'est balancée sous son parachute.

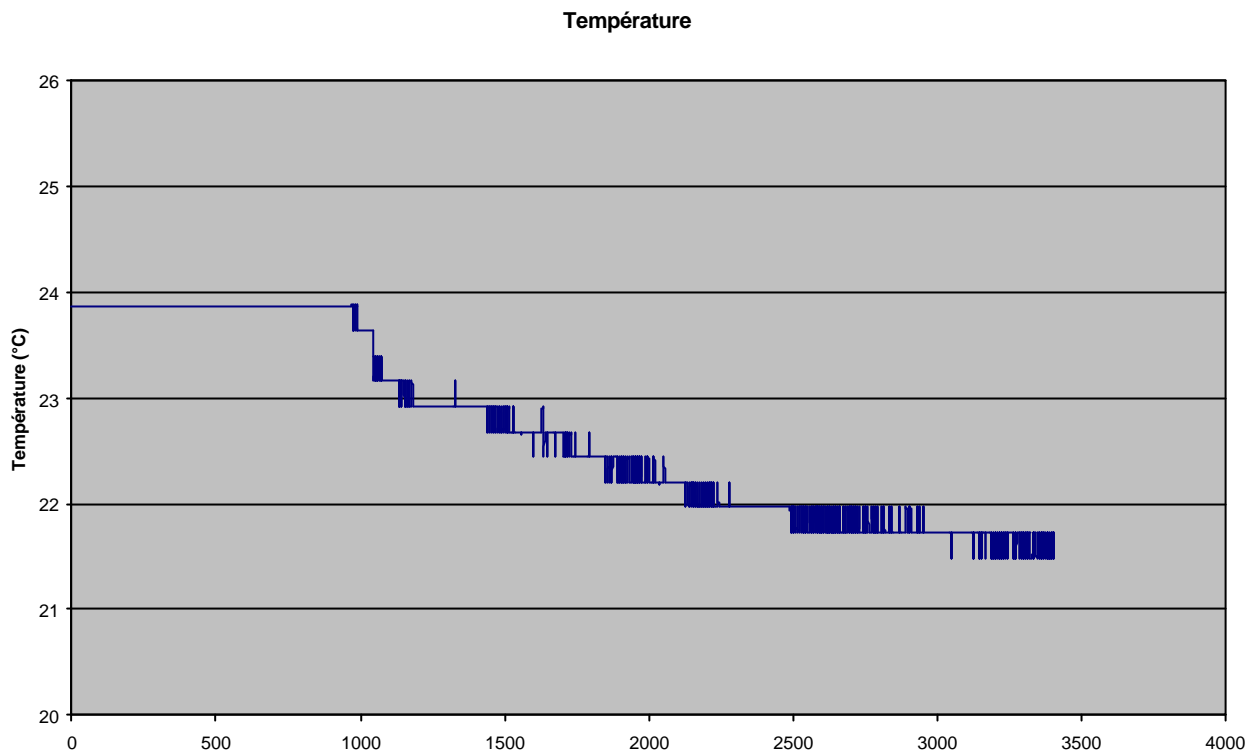
## 2.9 La rotation sur l'axe des Z



On voit que la fusée n'a pas beaucoup tournée sur elle même. Les ailerons ont donc été correctement alignés. En revanche elle a subit de forte rotation dans sa descente sous parachute.

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		7 / 7

## 2.10 La température



Comme on le voit sur la courbe, la température a très peu variée durant le vol. Nous avons noté une température de 23.9°C au sol et de 21.5°C en l'air. On voit nettement que le capteur a mal été calibré et laisse apparaître de ce fait des limites de résolution.

ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		8 / 8

### 3 CONCLUSION

#### 3.1 Bilan technique

Hormis la vidéo, toutes les expériences ont très bien fonctionné. Nous avons récupéré des informations très intéressantes sur l'accélération, la vitesse et la rotation de la fusée. Toutes ces valeurs sont cohérentes avec les prévisions faites sous « trajec » (logiciel de simulation fourni par le CNES).

Grâce à ce projet, nous avons pu mettre en pratique toutes les compétences acquise à l'IFITEP aussi bien en électronique (microcontrôleur, analogique, HF) qu'en gestion de projet. Il nous a également permis d'acquérir des notions de mécanique du dessin industriel à la fabrication.

#### 3.2 Bilan humain

Compte tenu de l'encadrement technique du projet par les membres de Planète science et de l'esprit de convivialité qui a régné sur la campagne de lancement, nous avons pu faire un grand nombre de rencontres très enrichissantes. Nous avons trouvé ce projet très agréable car il nous à permis de faire de l'électronique, de mettre en œuvre un projet concret dans un milieu de passionnés venant de plusieurs pays.

#### 3.3 Remerciement

Nous tenons à remercier le CFA IFITEP pour son partenariat financier et matériel. Nous remercions également monsieur Cordurié (Ingénieur à l'IFITEP) sans qui nous n'aurions pu mener à bien ce projet. Au sein de Planète science et du CNES, l'ensemble des gens qui nous ont encadré et conseillé. Enfin, nous remercions les membres de l'atelier de réalisations mécaniques de Jussieu pour leur travail ainsi que le Club STS pour le prêt de ses locaux et matériels et la société Shopline.



ED	1	RAPPORT TECHNIQUE – PROJET SAONE		
FUSEE6	Campagne SISSONNE 2003	11/11/2003		9 / 9