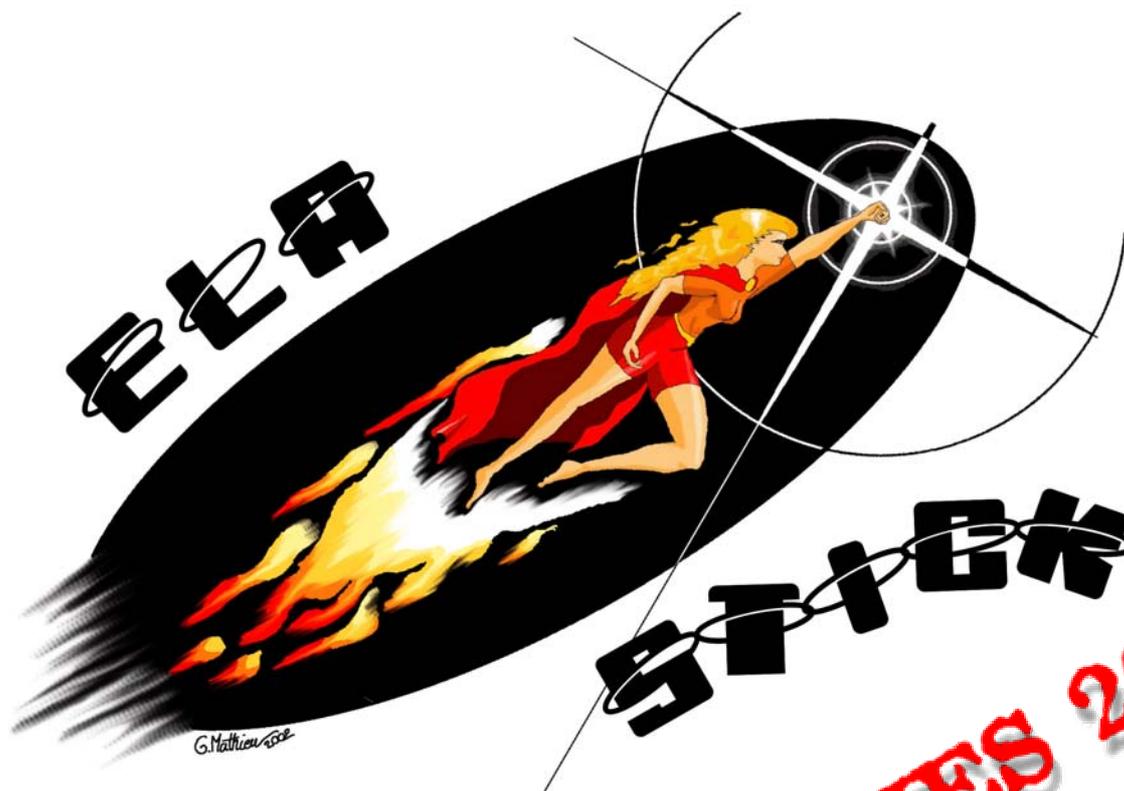


# DOSSIER DE CLOTURE PROJET ELA 2002



FUSEX & MINIF  
CLES-FACIL 2002

**PRIX CINES 2002**



Ce paragraphe concerne les versions papiers et électroniques des documents<sup>1</sup>. Les droits de tous les documents<sup>1</sup> appartiennent à leurs auteurs. Nous autorisons la diffusion (à titre privé ou à un adhérent ANSTJ) complète ou partielle de ce rapport à la seule condition de préciser au club à qui se fait cette diffusion. (cles-facil@ifaeadi.insa-lyon.fr) En cas de diffusion publique ou de la modification de documents veuillez demander, au préalable, l'accord à la même adresse mail. L'acceptation du présent dossier entraîne l'acceptation du présent paragraphe. <sup>1</sup>Documents = plans, rapports, films, photos, dessins.

Vous trouverez avec cette documentation 2 CD :

- ELA 2002 : Vidéo de 10'18" retraçant l'aventure de la réalisation de se projet sont également au rendez-vous : version électronique du présent document, photos de toute l'année, fichier originaux pour les plans mécaniques et électronique, logo ...
- Millau 2002 : Vidéo de 22'53" relatant le festival européen de l'espace 2002 au travers du lancement de ELA

---

**Note du rédacteur :**

Tout d'abord je ne suis pas le rédacteur mais seulement le copieur/colleur du travail de toute une équipe. Somme toute j'espère que la lecture de ce document vous enchérira d'une façon ou d'une autre.

**Nico**  
nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr

<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>8</b>
<b>TROMBINOSCOPE 2001/2002 .....</b>	<b>9</b>
<b>RAPPORT DE DEFINITION .....</b>	<b>12</b>
1. LES PARTICIPANTS AU PROJET .....	13
2. DESCRIPTION GENERALE .....	14
2.1. <i>Principe de la fusée</i> .....	14
3. INTEGRATION.....	15
4. MECANIQUE .....	15
5. ELECTRONIQUE.....	16
5.1. <i>Système d'acquisition des contraintes mécaniques</i> .....	16
5.2. <i>Systèmes de mesure de vitesse</i> .....	16
5.3. <i>Système de gestion des flashes lumineux</i> .....	17
6. INFORMATIQUE.....	17
6.1. <i>téléométrie</i> .....	17
6.2. <i>Logiciel d'exploitation des mesures</i> .....	18
<b>DOSSIER TECHNIQUE - CNES.....</b>	<b>19</b>
1. VUE D'ENSEMBLE .....	20
2. STRUCTURE MECANIQUE GLOBALE .....	21
3. REMARQUES COMPLEMENTAIRES .....	22
3.1. <i>Ailerons</i> .....	22
3.2. <i>Système d'éjection du ralentisseur</i> .....	22
3.3. <i>Minuterie (ou séquenceur)</i> .....	22
3.4. <i>Flashes lumineux</i> .....	22
3.5. <i>Cartes électroniques pour les jauges</i> .....	22
3.6. <i>Système d'émission</i> .....	22
3.7. <i>Microcontrôleur et mémoire</i> .....	22
3.8. <i>Système LASER</i> .....	23
4. ERRATUM .....	23
4.1. <i>LASER</i> .....	23
4.2. <i>Récepteur photo-sensible</i> .....	23
<b>STABILITE - TRAJECTOGRAPHIE.....</b>	<b>24</b>
1. ECRAN TRAJEC .....	25
1.1. <i>Trajectoire</i> .....	25
1.2. <i>Stabilité</i> .....	25
1.3. <i>Calculs</i> .....	25
2. ANALYSE DES DONNEES .....	26
2.1. <i>Altitude</i> .....	26
2.2. <i>Vitesse</i> .....	27
2.3. <i>Accélération</i> .....	27
3. SYNTHESE .....	28
<b>TEST/DIMENSIONNEMENT DE L'EMERILLON .....</b>	<b>29</b>
1. SITUATION DU PROBLEME .....	30
2. CONTRAINTES .....	30
2.1. <i>Par le calcul</i> .....	30
2.2. <i>Premier abaque</i> .....	31
2.3. <i>Deuxième abaque</i> .....	31
2.4. <i>Troisième abaque</i> .....	31
3. LES TESTS .....	32
4. CONCLUSION .....	33

<b>SYNOPTIQUE ELECTRONIQUE.....</b>	<b>34</b>
<b>MINUTERIE.....</b>	<b>36</b>
1. DESCRIPTION FONCTIONNELLES.....	37
2. PROBLEMES SPECIFIQUES ET SOLUTIONS APORTEES.....	37
3. ACQUISITION ET MEMORISATION DU SIGNAL DE DECOLLAGE .....	37
4. COMPTAGE .....	39
5. TRANSMISSION DU SIGNAL .....	40
6. BRANCHEMENT DES CONNECTEURS .....	42
7. SCHEMAS ELECTRONIQUES.....	43
7.1. Schématique .....	43
7.2. Circuit imprimé vu de dessus .....	44
7.3. Circuit imprimé vu de dessous.....	45
8. LISTE DES DATASHEETS EN ANNEXE .....	46
<b>MODULATION FSK .....</b>	<b>47</b>
1. DESCRIPTION FONCTIONNELLE .....	48
1.1. Principe de la modulation FSK .....	48
1.2. Cahier des charges.....	48
1.3. Emission FSK.....	48
2. REALISATION .....	49
2.1. Emission .....	49
2.2. Importance de l'adaptation d'impédance.....	50
2.3. R.O.S: Rapport d'ondes stationnaires.....	51
2.4. Notions de compatibilité électromagnétique (CEM) et choix des composants ..	53
2.5. Importance du choix des composants.....	54
2.6. Importance des masses .....	54
2.7. Découplage HF. Importance du choix des condensateurs.....	55
3. SCHEMAS, ROUTAGE ET ESSAIS DE L'ENSEMBLE.....	56
3.1. Schémas et routage.....	56
3.1.1. Le schématique .....	56
3.1.2. Le routage a été effectué sous Eagle 4.03 .....	56
3.2. Essais et réglages du modulateur .....	57
3.3. Essais de l'ensemble et mesure du ROS.....	58
4. PHOTOS. LOCALISATION DES COMMANDES .....	58
4.1. Emetteur et splitter .....	58
4.2. Commandes du modulateur .....	59
5. CONCLUSION .....	59
6. BIBLIOGRAPHIE .....	60
7. LISTE DES DATASHEETS EN ANNEXE .....	60
<b>AIR TEMPERATURE AND VELOCITY MEASURE SYSTEM (VO) .....</b>	<b>61</b>
1. INTRODUCTION.....	62
2. CHOOSING THE TEMPERATURE – DEPENDENT ELEMENT .....	62
3. TWO METHODS FOR MEASURE.....	63
4. THE DRAWBACK DANS THE SOLUTION.....	65
<b>AIR TEMPERATURE AND VELOCITY MEASURE SYSTEM (VF).....</b>	<b>68</b>
1. INTRODUCTION.....	69
2. CHOIX DE L'ÉLEMENT DEPENDANT DE LA TEMPERATURE .....	69
3. DEUX MÉTHODES DE MESURE.....	70
4. INCONVENIENT ET SOLUTION .....	72
<b>ALIMENTATIONS A DECOUPAGE .....</b>	<b>76</b>
1. INTRODUCTION.....	77
2. DESCRIPTIONS DES CIRCUITS : .....	77
3. SCHEMAS LOGIQUES DES CARTES ALIMENTATIONS.....	79

<b>CARTE MEMOIRE &amp; MICROCONTROLEUR .....</b>	<b>82</b>
1. DESCRIPTION FONCTIONNELLE .....	83
1.1. <i>Acquisition et traitement des données</i> .....	83
1.2. <i>Mémorisation des données</i> .....	84
1.3. <i>Emission FSK</i> .....	85
1.4. <i>Signaux ouverture parachute et décollage</i> .....	85
2. REALISATION .....	85
2.1. <i>Schéma logique</i> .....	86
2.1.1. Carte microcontrôleur.....	86
2.1.2. Connecteurs pour les capteurs.....	88
2.2. <i>Multiplexeurs</i> .....	88
2.3. <i>Régulateur de tension</i> .....	88
2.4. <i>Les connecteurs</i> .....	89
2.4.1. Connecteur d'alimentation .....	89
2.4.2. Connecteur d'adresse .....	89
2.4.3. Connecteur de données .....	90
2.4.4. Connecteur FSK.....	91
2.5. <i>Carte mémoire</i> .....	92
2.5.1. Schématique .....	92
2.5.2. Connecteur d'adresse .....	93
2.5.3. Connecteur de données .....	94
2.5.4. Porte logique.....	95
3. ROUTAGE .....	96
3.1. <i>Carte microcontrôleur</i> .....	96
3.1.1. Bottom.....	96
3.1.2. top .....	96
3.2. <i>Carte mémoire</i> .....	97
3.2.1. bottom.....	97
3.2.2. top .....	97
4. PHOTOS.....	98
4.1. <i>Carte microcontrôleur</i> .....	98
4.2. <i>Carte mémoire</i> .....	99
5. LISTE DES DATASHEETS EN ANNEXE .....	100
<b>JAUGES DE CONTRAINTES .....</b>	<b>101</b>
1. PROCEDURE DE REGLAGE DES JAUGES.....	102
1.1. <i>Préampli</i> .....	102
1.2. <i>Ampli</i> .....	103
2. SCHEMATIQUE.....	104
2.1. <i>Etage 1</i> .....	104
2.2. <i>Etage 2</i> .....	105
3. ROUTAGE .....	106
3.1. <i>Etage 1</i> .....	106
3.2. <i>Etage 2</i> .....	107
<b>CARTE DE VISUALISATION .....</b>	<b>108</b>
1. CABLAGE.....	109
2. ROLE .....	109
<b>LASER.....</b>	<b>110</b>
1. LE LASER.....	111
2. LE CAPTEUR.....	111
2.1. <i>Le capteur PSD</i> .....	111
2.2. <i>Les Papiers photosensibles</i> .....	111
2.2.1. Papier photos Noir et Blanc .....	112
2.2.2. Papier photos Couleur .....	112
2.2.3. Film Polaroid.....	112
3. LE FILTRE .....	112

3.1. Filtre à interférences (par couches minces) .....	112
3.2. Le bricolage.....	112
3.2.1. Les matériaux .....	113
3.2.2. Détermination de l'empilement .....	113
4. LA CARTE DE COMMANDE.....	113
5. RESULTAT DE L'EXPERIENCE .....	116
6. CONCLUSION .....	116
<b>LES FLASHES .....</b>	<b>117</b>
1. INTRODUCTION.....	118
2. PREMIERES RECHERCHES .....	118
3. APPLICATION A NOTRE CAS .....	119
3.1. Montage classique.....	119
3.2. Montage avec hacheur .....	120
3.3. Montage mixte.....	121
3.4. Le montage UHT .....	122
4. LES DERNIERES DIFFICULTES .....	123
5. MONTAGES FINAUX .....	126
5.1. Pour le déclenchement.....	126
5.2. Pour une carte flash.....	126
6. LES MOSFETS .....	129
<b>LES PLANS MECANIQUES .....</b>	<b>130</b>
1. VUES D'ENSEMBLE .....	131
2. BAGUE CONE .....	132
2.1. Vue 3D .....	132
2.2. Vue avec les efforts .....	132
2.3. Vue isométrique.....	133
2.4. Vue dessus.....	134
2.5. Vue de dessous.....	135
2.6. Vue de coté.....	136
3. SUPPORT LASER .....	137
4. BAGUE MOTEUR .....	138
4.1. Vue 3D .....	138
4.2. Vue avec les efforts .....	138
4.3. Vue isométrique.....	139
4.4. Vue de dessus .....	140
4.4. ....	141
4.5. Vue de dessous.....	141
4.6. Vue de coté.....	142
5. CASE PARACHUTE .....	143
5.1. Vue 3D .....	143
5.2. Vue avec les efforts .....	143
5.3. Vues globales de la case parachute.....	144
6. BAGUE THERMOS.....	145
6.1. Vue 3D .....	145
6.2. Vue avec les efforts .....	145
7. THERMOS .....	146
7.1. Vue 3D .....	146
7.2. Vue avec les efforts .....	146
8. BAGUE DE POUSSEE .....	147
8.1. Vue 3D .....	147
8.2. Vue avec les efforts .....	147
<b>EXPLOITATION DES RESULTATS .....</b>	<b>148</b>
1. DISPOSITION DES CAPTEURS .....	148
2. ETALONNAGE DES CAPTEURS .....	149

2.1. Les jauges de contraintes .....	149
2.2. Le tube de Pitot .....	149
3. RESULTATS .....	150
3.1. Vitesse .....	150
3.2. Efforts sur la bague de poussée.....	152
3.3. Choc sur l'attache du parachute .....	154
3.4. Efforts sur le bas des barres en « T » .....	156
3.5. Efforts sur le haut des barres en « T ».....	157
3.6. Efforts sur le haut des barres en « T ».....	158
3.7. Efforts sur le bas des barres en « T » .....	159
3.8. Tige case parachute.....	160
4. CONCLUSION .....	161
<b>EPILOGUE DU FESTIVAL .....</b>	<b>162</b>
<b>COORDONNEES DU CLUB .....</b>	<b>163</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>165</b>
1. MINUTERIE .....	165
1.1.1. Bascule : DM74LS74A.pdf .....	165
1.1.2. Transistor : BDW93C.pdf .....	165
1.1.3. Timer : CD4541BC.pdf.....	165
1.1.4. Transistor : 2222.pdf .....	165
1.1.5. Régulateur : 7805.pdf .....	165
2. MODULATION FSK.....	165
2.1.1. Amplificateur : MC4558.pdf.....	165
2.1.2. Modulateur : xr-2206.pdf.....	165
2.1.3. Emetteur TOUCAN : emetteur.pdf .....	165
2.1.4. Emetteur KIMI : note_kiwi_millennium.pdf.....	165
2.1.5. Télémétrie : telemesure_numerique.pdf .....	165
3. CARTE MEMOIRE & MICROCONTROLEUR.....	165
3.1.1. Multiplexeur : MC14051B-D.pdf .....	165
3.1.2. Mémoire DALLAS : DS1270memoireSRAM.pdf.....	165
3.1.3. Boîtier de porte logique : 74LS04.pdf.....	165
3.1.4. Régulateur de tension MAXIM : AD584.pdf .....	165



## Remerciements

Tout d'abord nous remercions les sponsors qui nous ont permis de réaliser ce projet :

- L'INSA Lyon, notre école, qui croit chaque année en nos projets malgré qu'ils soient toujours de plus en plus fous. Il y a donc :
  - Le Comité de la Vie Associative (CVA)
  - La Direction de l'Information et de la Communication (DIC)
  - Les départements de Génie Mécanique et Développement (GMD), Génie Electrique (GE), Informatique (IF) et Génie Energétique (GEN).
- Les sociétés Hexcel Fabrics (Fibre de carbone), SETS (Traitement de surface : chrome), TDA (Mise en forme de composites)
- Les sociétés Analog Devices, Maxim, Texas qui offrent de très bons échantillons.

Ensuite nos partenaires :

- Le CNES pour la mise en œuvre de nos projets. Plus particulièrement Mr Stilas (Super Mario) pour son aide sur le R3.
- L'ANSTJ que l'on appellera planète science d'ici quelques jours pour l'organisation du festival, son soutien tout au long de l'année et ses actions pour les jeunes et la science.

A titre, plus personnelle nous tenons à remercier :

- Emmanuel Jolly : notre suiveur pour sa sympathie, sa gentillesse et ses conseils toujours avisés.
- Denis Psomiadès pour un dépannage express d'alimentation à découpage.
- Gilles Mathieu pour le logo du projet
- Gilbert Chaléroux : pour son aide ponctuelle dans l'année et au festival (merci papa)
- Mme Sannier pour la réalisation du parachute.
- Le CNES, encore, pour avoir récompenser nos efforts au travers de son prix.
- Les militaires de la Cavalerie pour nous avoir offert une semaine de service militaire et pour leurs petits déjeuners.
- On ne peut que finir par eux : une équipe qui réunie des pilotes de chars, des pilotes de dirigeables, des collectionneurs de vieux Renault TRAFIC, des professionnels du barbecue, des artistes de la fusée à eau, oui c'est : CASCADE. Merci pour les coups de mains, la bonne humeur. Nous avons également une pensée pour votre projet car il ne pouvait pas représenter moins pour vous que le notre pour nous.

## ***Trombinoscope 2001/2002***



**Antoine Bourcelly**  
antoine.bourelly@insa-lyon.fr



**Bogdan-Ion Chereji**  
bogdam-c1@hotmail.com



**Florent Massias**  
fmassias@gmdserveur.insa-lyon.fr



**Florian Raynaud**  
fraynaud@ge-serveur.insa-lyon.fr



**Isabelle Sembely**  
isembely@gmdserveur.insa-lyon.fr



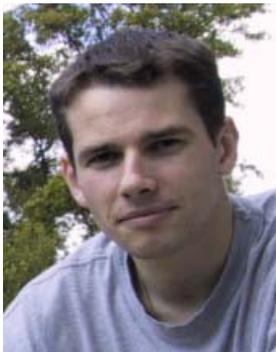
**Jérôme Hamm**  
jhamm@ifaedi.insa-lyon.fr



**Jérôme Mousseau**  
jmousseau@ifaedi.insa-lyon.fr



**Joël Roustant**  
jroustant@yahoo.fr



**Julien Truchot**  
julien.truchot@insa-lyon.fr



**Laurent Ruet**  
lruet@gmdserveur.insa-lyon.fr



**Louise Pontal**  
lpontal@gmdserveur.insa-lyon.fr



**Ludovic Bertrand**  
civodul@free.fr



**Natacha Pellet**  
pelletnata@minitel.net



**Nicolas Chaléroux**  
nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr



**Nicolas Villetard**  
nicolas.villetard@webmails.com



**Olivier Bompis**  
olivier.bompis@insa-lyon.fr



**Olivier Sannier**  
osannier@ifaedi.insa-lyon.fr



**Ovidiu Dobre**  
dobrevidiu@hotmail.com



**Pierre Fayet**  
fayetpierre@aol.com



**Pierre-Loïc Ropars**  
Pierre-loic.ropars@insa-lyon.fr



**Salvatore Gigliuto**  
sgigliut@ifaedi.insa-lyon.fr



**Stéphane Simon**  
SSBSS@free.fr

Merci également à Magali Jaillard et Damien Tortel pour leurs contributions



**CLES-FACIL**



<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Nicolas Villetard

[Nicolas.villetard@insa-lyon.fr](mailto:Nicolas.villetard@insa-lyon.fr)

**Projet : ELA**

Novembre 2001 - Version 2.0

## ***Rapport de définition***

# **1. Les participants au projet**

Les différents responsables du projet sont :

**Nicolas VILLETARD** (chef de projet et responsable informatique)

**Louise PONTAL** (responsable mécanique)

**Jérôme HAMM** (responsable électronique)

Les 22 participants à ce projet sont répartis dans trois équipes distinctes:

L'équipe « méca » (**mécanique**) :

Louise PONTAL (**4 GMD**)

Isabelle SEMBELY (**4 GMD**)

Marie-Blandine VILLEVAL (**4 GCU**)

Laurent RUET (**4GMD**)

Joël ROUSTANT (**4GMD**)

Damien TORTEL(**4 GMD**)

L'équipe « élec » (**électronique**) :

Jérôme HAMM (**4 IF**)

Natacha PELLET

Magali JAILLARD (**premier cycle**)

Olivier SANNIER (**4 IF**)

Antoine BOURCELLY (**premier cycle**)

Ludovic BERTRAND

Nicolas CHALEROUX (**4 IF**)

Olivier BOMPIS (**premier cycle**)

Ovidiu DOBRE (**3 IF**)

Pierre FAYET

Pierre-Loïc ROPARS (**3 IF**)

Quentin SIRAUT (**3 IF**)

Salvatore GIGLIUTO (**4 IF**)

Stéphane SIMON (**premier cycle**)

Bogdam-lom CHEREJI (**GE**)

L'équipe « if » (**informatique**) :

Nicolas VILLETARD (**4 IF**)

... d'autres participants à venir...

## **2. Description générale**

### **2.1. Principe de la fusée**

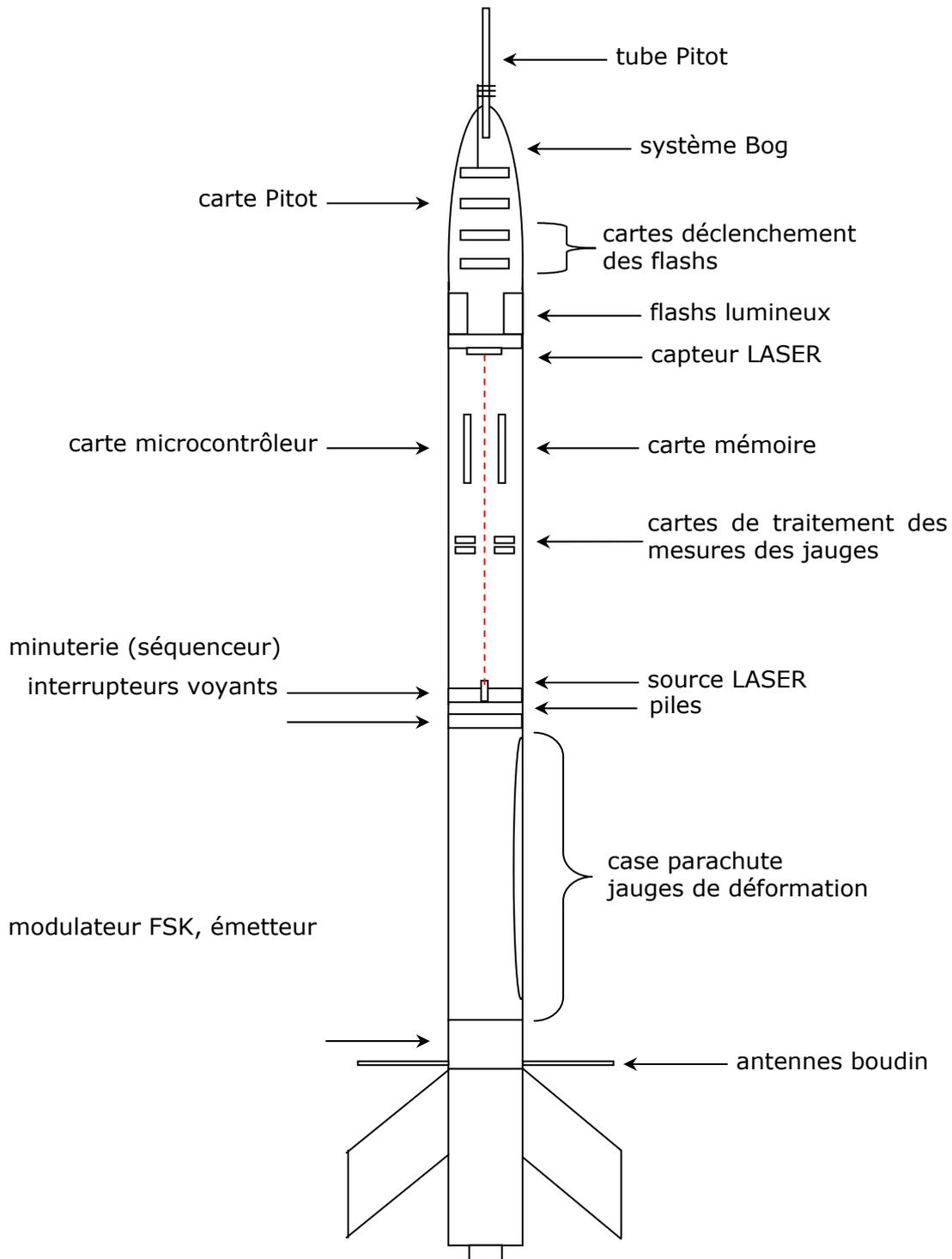
La fusée « Ela » est une fusée expérimentale. Elle embarque deux expériences :

- l'étude des contraintes mécaniques qui s'exercent sur la fusée lors des différentes phases du vol à l'aide de jauges de déformation et d'un système LASER de mesure de la flèche de la fusée.
- la mesure de la vitesse de la fusée à l'aide d'un tube de *Pitot* (technique désormais rodée au club) et d'un système expérimental baptisé système *Bog* (du nom de son concepteur au club) (cf description plus loin).

Ces données seront mesurées durant tout le vol, de l'instant précédant le décollage jusqu'à l'atterrissage, et seront transmis partiellement en temps réel vers le sol grâce à un émetteur.

De plus, afin de soigner son image de marque et son style, le CLES-FACIL a décidé cette année d'équiper cette fusée de quatre flashes lumineux qui se déclencheront régulièrement pendant le vol afin qu'elle soit un peu plus visible dans le ciel du Larzac (car nous parions sur la présence de brouillard cette année ☺).

### 3. Intégration



### 4. Mécanique

La fusée est construite principalement à l'aide d'aluminium et de carbone. Son diamètre externe est de 114 mm. Elle est divisée en 4 segments indépendants : le bloc

propulseur, la case du parachute, le corps même de la fusée et le cône. Tous ces segments sont reliés entre eux à l'aide de bagues.

La case parachute est constituée de 3 tubes pleins en aluminium, le tout entouré d'une peau en matériau composite, sorte de sandwich en carbone-kevlar et nid d'abeille. La structure porteuse du corps de la fusée est constituée de 2 barres en « T » auxquelles vient se fixer une coque en carbone. Le cône est lui aussi en fibre de carbone.

Les jauges de contrainte sont fixées dans la case parachute, sur la bague de poussée et sur la structure porteuse du corps de la fusée. Ainsi on mesure les déformations des structures mécaniques qui subissent le plus de contrainte durant les différentes phases de vol.

## **5. Electronique**

La fusée embarque un microcontrôleur 68HC11 afin d'échantillonner les différents capteurs employés. Les données mesurées sont stockées dans des mémoires vives dynamiques équipées d'une alimentation interne à très longue durée de vie.

### **5.1. Système d'acquisition des contraintes mécaniques**

Les signaux sortant des jauges sont amplifiés au plus près de celles-ci. Le signal à la sortie des jauges est transmis à l'aide de fils torsadés de façon différentielle, afin que si une composante est affectée par du bruit, l'autre le soit aussi. Les signaux sont filtrés à l'aide d'un filtre passe-bas afin d'éliminer les fréquences supérieures à la moitié de la fréquence d'échantillonnage afin de satisfaire le célèbre théorème de Shannon.

*Rappel du théorème de Shannon :*

*Soient :  $f_e$  la fréquence d'échantillonnage*

*$f_s$  la plus grande fréquence contenue dans le signal*

*Alors il faut que :*

$$f_e \geq 2 \times f_s$$

Ainsi on évite l'apparition de vibrations basse-fréquence parasites lors de l'analyse des échantillons effectués.

Pour mesurer les variations de la flèche de la fusée, la fusée embarque un système de mesure LASER, composé d'une source LASER (dans le domaine des couleurs visibles) et d'un capteur optique de 1 cm<sup>2</sup>. Ainsi on peut mesurer le déplacement du spot lumineux sur le capteur et par conséquent mesurer la déformation du corps de la fusée. Etant donné que la présence d'une source LASER représente un léger danger, il faut prendre quelques précautions vis à vis de son fonctionnement. On prévoit notamment la présence d'un interrupteur de mise hors tension de la source LASER accessible depuis l'extérieur, afin qu'il puisse être désactivé avant tout démontage de la fusée.

### **5.2. Systèmes de mesure de vitesse**

La fusée est équipée de deux systèmes de mesure de la vitesse :

- un système classique basé sur un tube de *Pitot* avec mesure des pressions dynamiques et statiques pour calculer la vitesse.
- un système (baptisé système *Bog*) basé sur l'estimation de la vitesse par convection. Il consiste à faire chauffer un filament à une température constante et l'exposer à l'air libre. On mesure alors la quantité d'énergie nécessaire pour

stabiliser la température du filament. Cette quantité d'énergie correspond à l'énergie dispersée par convection qui doit normalement être corrélée à la vitesse de la fusée.

Nous embarquons deux systèmes de mesure de vitesse. Le tube de *Pitot* est système déjà bien rodé alors que le système *Bog* est complètement expérimental. Notre but est de tester l'efficacité et la fiabilité du système *Bog* en comparant avec les données du tube de *Pitot*. Si le système *Bog* est validé, on peut très bien imaginer qu'il équipe d'autres fusées du CLES-FACIL dans le futur, en remplacement du traditionnel tube de *Pitot*.

### **5.3. Système de gestion des flashes lumineux**

Les flashes lumineux sont au nombre de 4 et sont situés à la base du cône de la fusée. Ils doivent clignoter à tour de rôle, toutes les 4 secondes environ. Leur puissance est estimée aux alentours 25 Joules. Chaque flash est commandé par une carte électronique équipée, entre autres, d'une self de déclenchement, d'un transformateur et d'un condensateur de forte capacité.

Ils sont équipés de leur propre pile et ne doivent pas se déclencher avant le décollage (en rampe) car ce serait inutile et les piles des flashes n'ont pas une forte autonomie. Les flashes nécessitent la présence de condensateurs de forte capacité, il est donc nécessaire de mettre en place un système de sécurité et d'isolation permanent afin d'éviter toute charge/décharge intempestive.

## **6. Informatique**

### **6.1. télémétrie**

Pour ce projet, nous pensons réaliser un logiciel de télémétrie permettant de récupérer en temps réel les données du vol et les exploiter par la suite. Toutefois le faible débit offert par le système de télémétrie limite beaucoup la quantité d'information transmise, donc seule une partie des mesures effectuées sera envoyée au sol. Cependant la totalité des mesures seront stockées dans les mémoires embarquées dans la fusée.

Les informations transmises au sol sont (liste non exhaustive et susceptible d'être modifiée) :

- mesures des jauges
- mesure du tube Pitot
- mesure du système Bog
- mesure du système LASER
- tension des piles (éventuellement)

Les trames respectent le format SNR. Le format des trames n'a pas encore été défini mais elles seront probablement structurées de la façon suivante :

- début de trame 0xFF (1 octet)
- numéro de trame (2 octets)
- mesures des  $n$  jauges ( $2n$  octets)
- mesure du système Bog (1 octet)
- mesure du tube Pitot (1 octet)
- mesure du système LASER (1 octet)
- tension des  $p$  piles ( $p$  octets)
- code de détection d'erreur (1 octet)

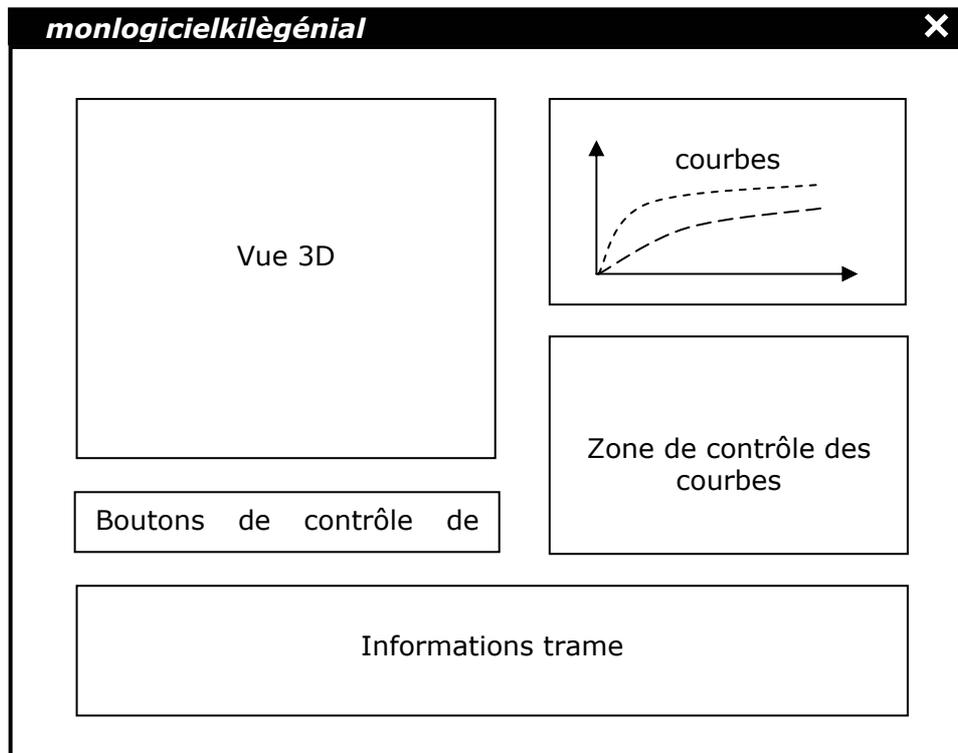
Ce qui nous donne approximativement des trames de 30 octets. Sachant que la fréquence de signalisation de l'émission est 4800 bds, on peut espérer recevoir environ

80 trames par seconde. La télémétrie est donc justifiée car elle nous permettra d'obtenir immédiatement pendant le vol des données en quantité suffisante pour une première exploitation. On pourra éventuellement récupérer ultérieurement toutes les mesures du vol en nous connectant directement au microcontrôleur de la fusée.

## 6.2. Logiciel d'exploitation des mesures

Afin d'ajouter un pouvoir démonstratif, voire spectaculaire, aux informations récoltées pendant le vol de notre fusée, nous souhaitons réaliser un logiciel graphique en 3D d'exploitation des mesures. Il utilisera en temps-réel (ou non) les données reçues décrites ci-dessus. Ce logiciel fonctionnera sous Windows<sup>®</sup> et sera programmé en C/C++.

Ce logiciel devrait comprendre une vue en 3 dimensions de la fusée avec une représentation des différents vecteurs de contrainte mesurés par l'ensemble des jauges ainsi qu'une série de courbes représentant les évolutions de chaque voie<sup>1</sup>. Il pourrait se présenter succinctement de la façon suivante :



<sup>1</sup> Pour la conception de ce logiciel, nous nous inspirerons fortement de celui réalisé en 2001 par l'excellent Gilles ROUX (ex-membre du CLES-FACIL) dans le cadre du projet Nausicaa.



**CLES-FACIL**



<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Nicolas Villetard

[Nicolas.villetard@insa-lyon.fr](mailto:Nicolas.villetard@insa-lyon.fr)

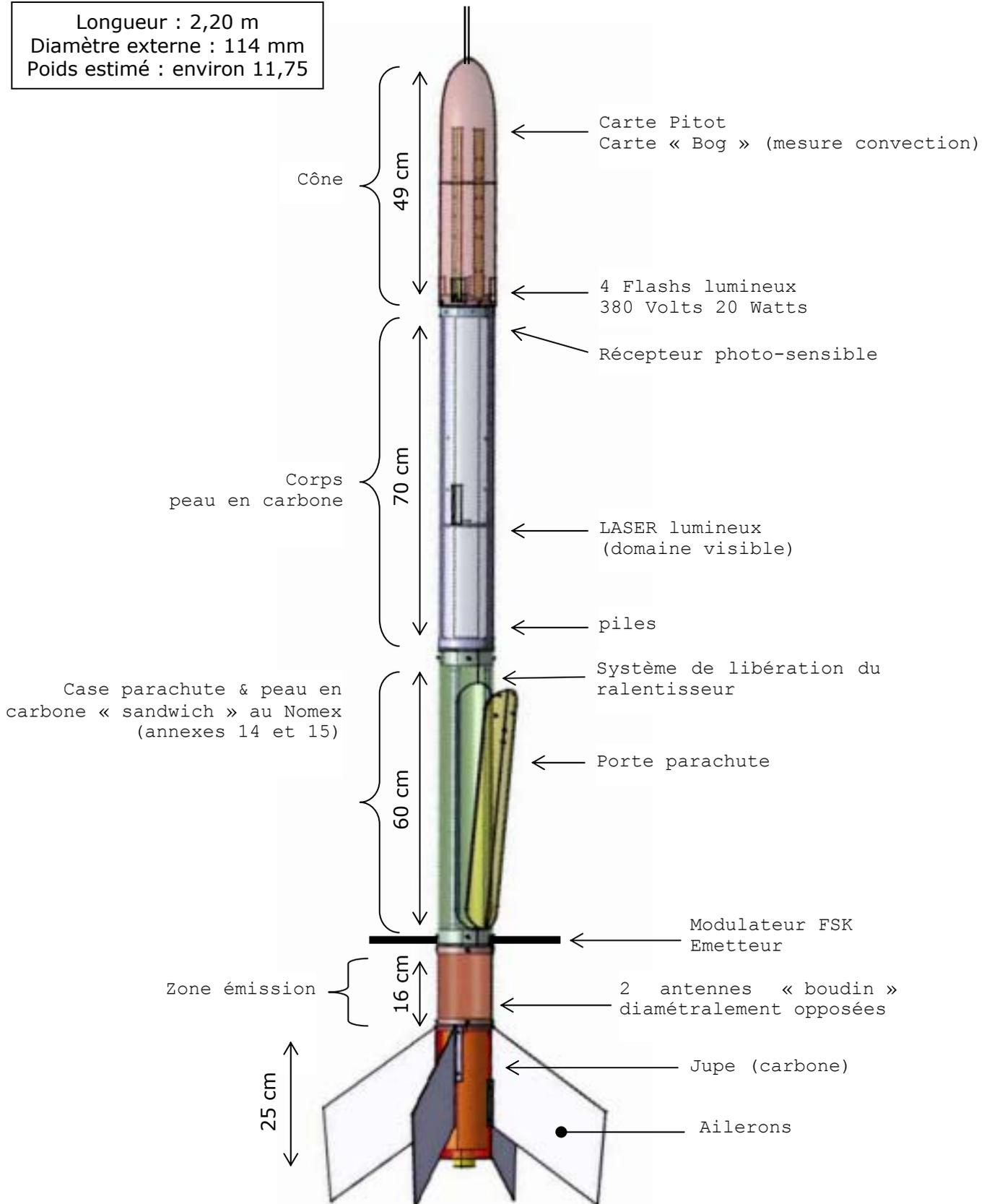
**Projet : ELA**

Mai 2002 - Version 2.0

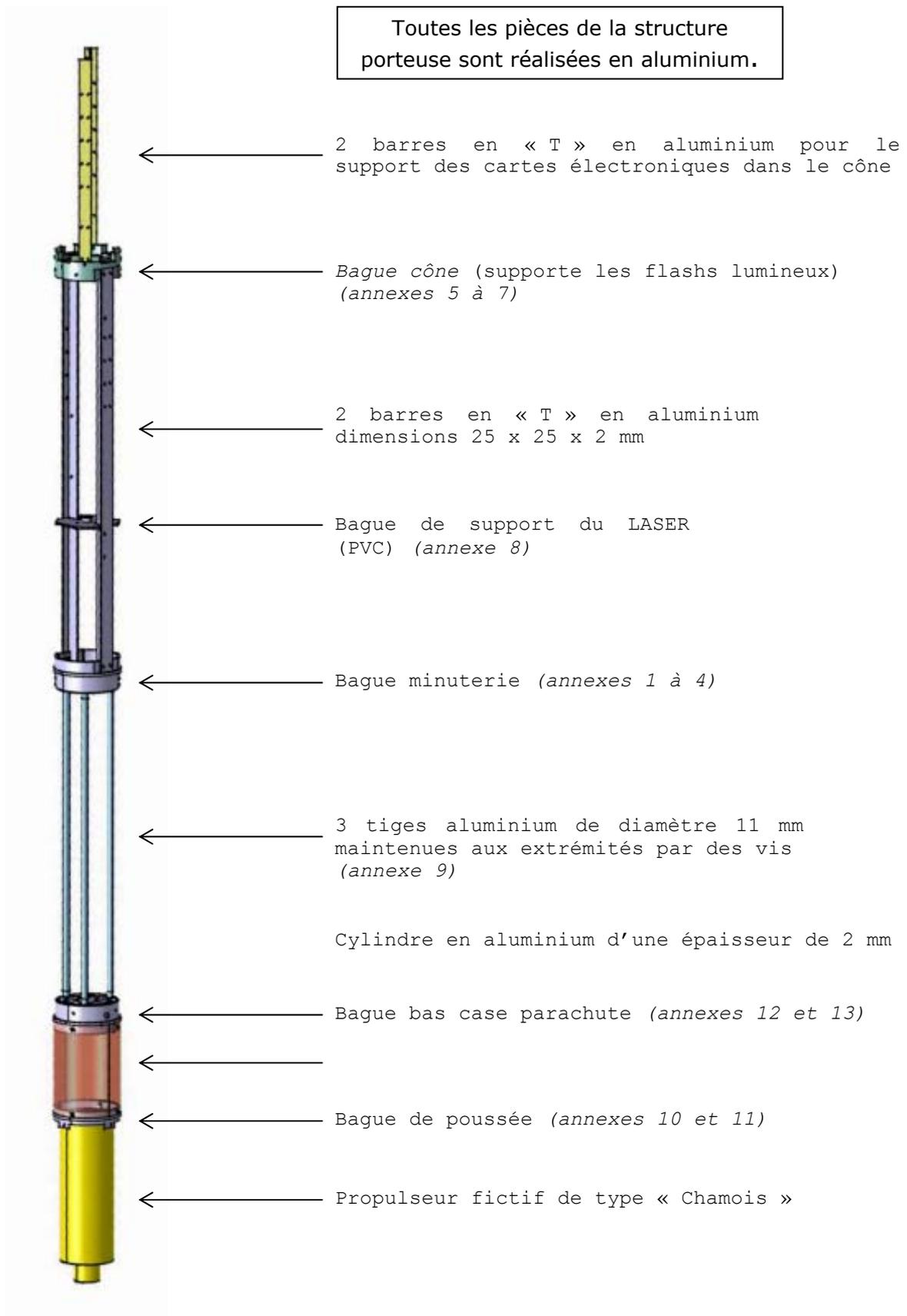
***Dossier technique - CNES***

# 1. Vue d'ensemble

Longueur : 2,20 m  
Diamètre externe : 114 mm  
Poids estimé : environ 11,75



## 2. Structure mécanique globale



### **3. Remarques complémentaires**

#### **3.1. Ailerons**

Les ailerons sont fixés sur la jupe en carbone et sur la bague de poussée. Cette solution a été employée sur les vols Nausicaa et Cerbères qui ont été tous les deux nominaux en 2001, donc elle ne pose aucun problème mécanique.

#### **3.2. Système d'éjection du ralentisseur**

Le système d'éjection du ralentisseur est réalisé selon un modèle déjà très éprouvé au club depuis des années, basé sur un système de pièce excentrique rotative fixée sur un moteur. Le moteur est actionné lorsque la case parachute doit être ouverte et tourne indéfiniment. La porte est attachée au parachute, qui est donc entraîné vers l'extérieur, donc éjecté.

#### **3.3. Minuterie (ou séquenceur)**

La minuterie est commandée par l'accéléro-contact. Elle est équipée de LEDs témoins. Elle commande le moteur d'ouverture de la case parachute et la mise en route du système de flashes lumineux (annexe 24) via des opto-coupleurs.

#### **3.4. Flashes lumineux**

Les flashes utilisent leur propre alimentation et sont donc, d'un point de vue électrique, totalement autonomes. De plus ils sont complètement isolés électriquement du reste de la fusée en étant noyés dans de la résine ou de la mousse. Tout le système de chargement des flashes s'interrompt dès que l'alimentation générale de la fusée est interrompue (même momentanément). De plus des cavaliers de sécurité accessibles depuis l'extérieur seront installés, empêchant, par court-circuit résistants, tout chargement incontrôlé des condensateurs.

Le système électronique est divisé en deux : 1 carte gère la synchronisation des différents flashes (annexe 26) en commandant 4 autres qui gèrent chacune le déclenchement d'un flash (annexe 25).

#### **3.5. Cartes électroniques pour les jauges**

Le traitement des jauges s'effectue sur 2 étages électroniques différents. Un premier traitement d'amplification (annexe 16) est réalisé au plus près de la jauge et le signal est transmis en différentiel à un 2<sup>ème</sup> étage (annexe 17) qui le traite et le filtre avant de le transmettre au micro-contrôleur.

#### **3.6. Système d'émission**

Pour des raisons de facilité d'intégration et de finalisation, nous souhaiterions utiliser un émetteur de type Toucan. Les antennes sont situées dans l'axe des ailerons. Il s'agit d'antennes boudin. Le même modèle avec un système analogue a volé l'année dernière avec notre fusée *Nausicaa* sans aucun problème, ce qui enlève tout scepticisme quant à la résistance mécanique du montage.

#### **3.7. Microcontrôleur et mémoire**

Nous échantillonons toutes nos mesures à l'aide d'un microcontrôleur de type Motorola 68HC11. Toutes ces données sont mémorisées dans une mémoire de type SRAM (rendue non volatile grâce à une pile interne) d'une capacité de 512 Koctets.

Etant donné que nous ne disposons pour la télémesure que d'une passante très réduite, nous n'émettons pas toutes les données échantillonnées mais seulement une partie.

### **3.8. Système LASER**

Le LASER est dans le domaine du visible et un interrupteur de sécurité sera accessible depuis l'extérieur de la fusée. De plus le LASER employé n'est pas d'une grande puissance.

Le récepteur photo-sensible n'est pas électronique (pour des raisons budgétaires), mais est basé sur l'utilisation de papiers photographiques et de filtres optiques.

## **4. Erratum**

### **4.1. LASER**

Le LASER utilisé est un LASER de classe 2. Il est donc relativement peu puissant. De plus nous mettons en place tous les moyens de sécurité nécessaires afin d'éliminer tous les risques éventuels. Le LASER ne s'allume qu'au décollage et s'éteint automatiquement ensuite, et l'alimentation électrique du LASER passe par un interrupteur accessible depuis l'extérieur. Le système employé est donc conforme à la législation et nous prenons toutes les précautions nécessaires à son utilisation.

### **4.2. Récepteur photo-sensible**

Il est basé sur l'utilisation de papier photographique type « Polaroid ». Nous appliquons des filtres optiques afin d'éviter le bruit lumineux extérieur pouvant détériorer la qualité de l'expérience. Nous avons pensé à l'influence des autres facteurs externes (humidité, température, ...). De plus, il n'y a aucun risque d'incendie dû à une éventuelle sur-exposition du récepteur au faisceau du LASER, car le LASER est de très faible puissance. Enfin, le protocole de récupération de la fusée tiendra compte des précautions à prendre pour la révélation du film photographique.



**CLES-FACIL**



<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Nicolas Chal eroux

[Nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr](mailto:Nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr)

**Projet : ELA**

22 juillet 2002 - Version 2.0

***Stabilité - Trajectographie***

# 1. Ecran Trajec

## 1.1. Trajectoire

1:MOTEUR chamois_U95	A:PAS DE CALCUL 0.05 s	G:VITESSE INITIALE 0 m/s
2:MASSE 12.655 kg	B:Cx ESTIME 0.80	X:AXE X INITIAL 0 m
3:MAITRE COUPLE 11907 mm <sup>2</sup>	C:ALTITUDE RAMPE 145 m	Y:AXE Y INITIAL 0 m
4:FICHER RESULTAT NON	D:SITE DE LA RAMPE 80 °	Z:AXE Z INITIAL 145 m
5:TEMPS D'OUVERTURE DU PARACHUTE : 18.0 s	H:GISEMENT RAMPE 0 °	I:TEMPS INITIAL 0.0 s
6:DESCENTE SOUS PARACHUTE NON	E:LONGUEUR RAMPE 4.0	L:IMPRIME UN FICHER RESULTAT
7:VITESSE PARA : 15 m/s	F:IMPRESSION DES PRINCIPAUX RESULTATS : NON	M:EDITE UN FICHER RESULTAT
UENT : ventnul.ven		--- Version 2.2 ---
0:FUSEE ela	K:CLUB cles	
8:début du calcul de trajectoire	9:sortir du programme	

## 1.2. Stabilité

FUSEE:ela	CLUB:cles	MOTEUR:chamois_U95	PAS: 10 %
-----------	-----------	--------------------	-----------

virole: NON Xcg: 50 biétage : NON  
masse: 1.000

coiffe:conique jupe/rétréint : NON épaisseur ailerons : 2.0

sortir du programme déplacements: ←↑↓→ valid.: RETURN variations: +- nombre d'ailerons : 4  
Produit Ms x Cn : inutilisé

nom de la fusée\_

Cn=22.5 ||Xcp:1921 ||marge statique:de 3.7 à 4.3 cotes en mm

## 1.3. Calculs

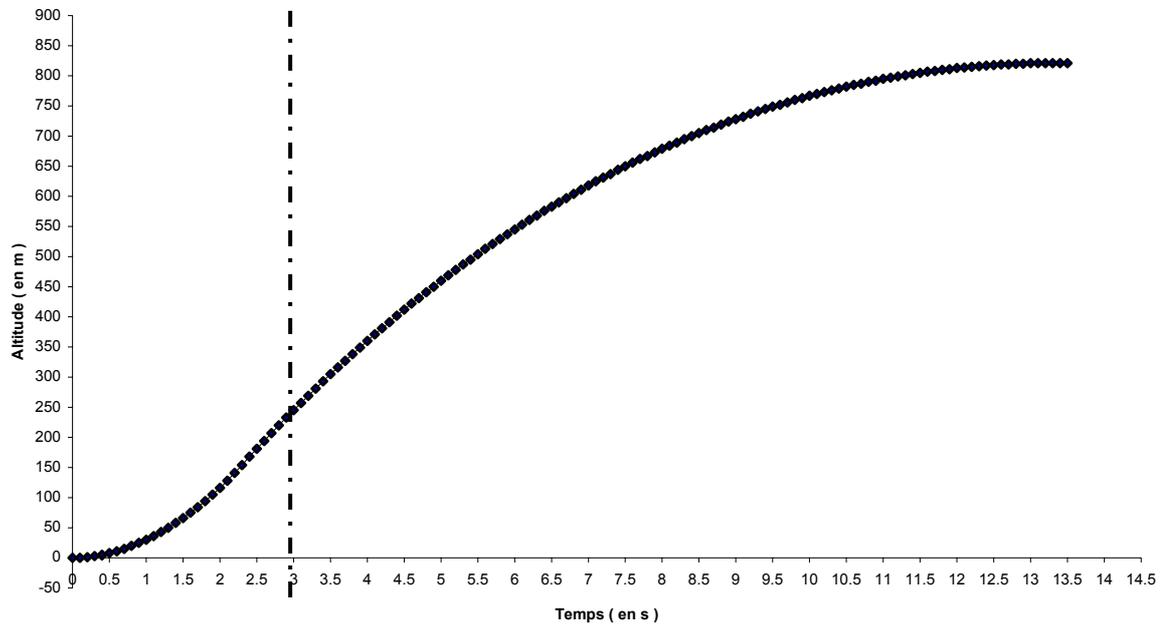
calcul de trajectoire en cours	t=0.000s	z-z0= 0m	v= 0m/s	x= 0m	y= 0m	g= 0m/s <sup>2</sup>	A= 80°
sortie de rampe	t=0.380s	z-z0= 4m	v= 21m/s	x= 1m	y= 0m	g= 58m/s <sup>2</sup>	A= 80°
fin de propulsion	t=2.850s	z-z0= 227m	v= 135m/s	x= 52m	y= 0m	g= 19m/s <sup>2</sup>	A= 76°
culmination	t=13.55s	z-z0= 845m	v= 23m/s	x= 333m	y= 0m	g= 10m/s <sup>2</sup>	A= -1°
impact	t=27.60s	z-z0= 0m	v= 107m/s	x= 611m	y= 0m	g= 4m/s <sup>2</sup>	A= -82°

Ce listing sort les principales valeurs de la trajectographie, c'est-à-dire :

- La vitesse de sortie de rampe (21 m.s-1) → Point important des contrôles
- La vitesse maximale atteinte (135 m.s-1) → Etalonnage Pitot
- Le temps de culmination (13.55s) → Réglage minuterie

## 2. Analyse des données

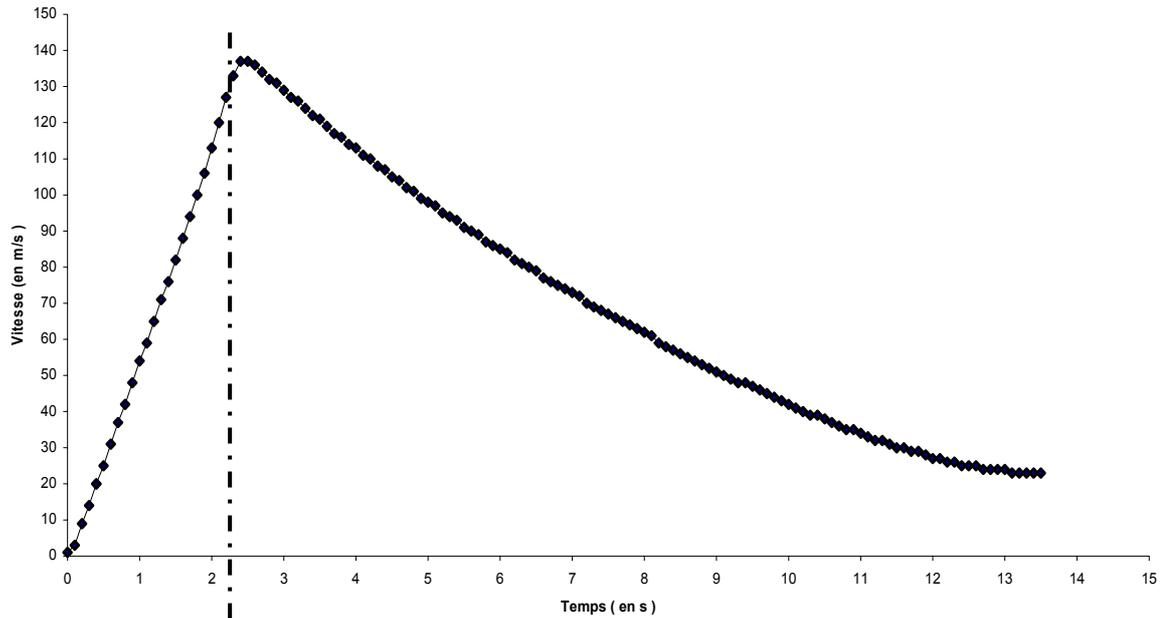
### 2.1. Altitude



Evolution de l'altitude de la fusée en fonction du temps durant la phase ascensionnelle. La culmination a lieu au temps 13.55s et à une altitude de 845m..

Le trait figure la fin de la phase propulsée, cela doit correspondre également au point d'inflexion de la courbe.

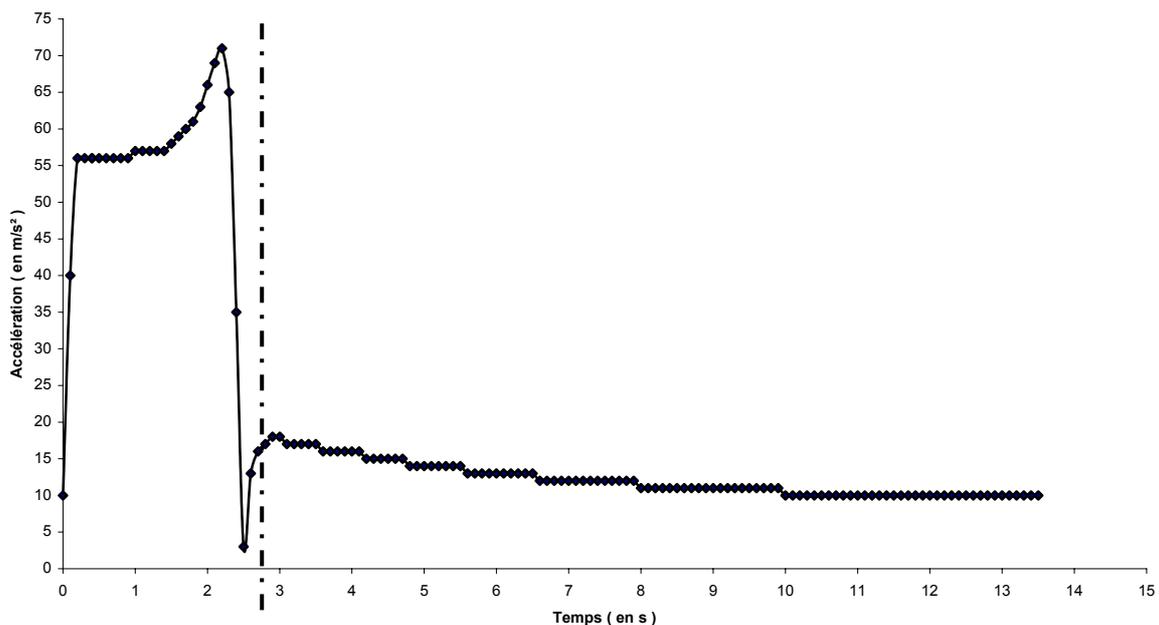
## 2.2. Vitesse



Evolution de la vitesse en fonction du temps. Le trait figure encore la fin de la phase propulsée. On remarque que le maximum de vitesse ne correspond pas à la fin de la propulsion : le poussée du propulseur diminue en fin de combustion de la poudre.

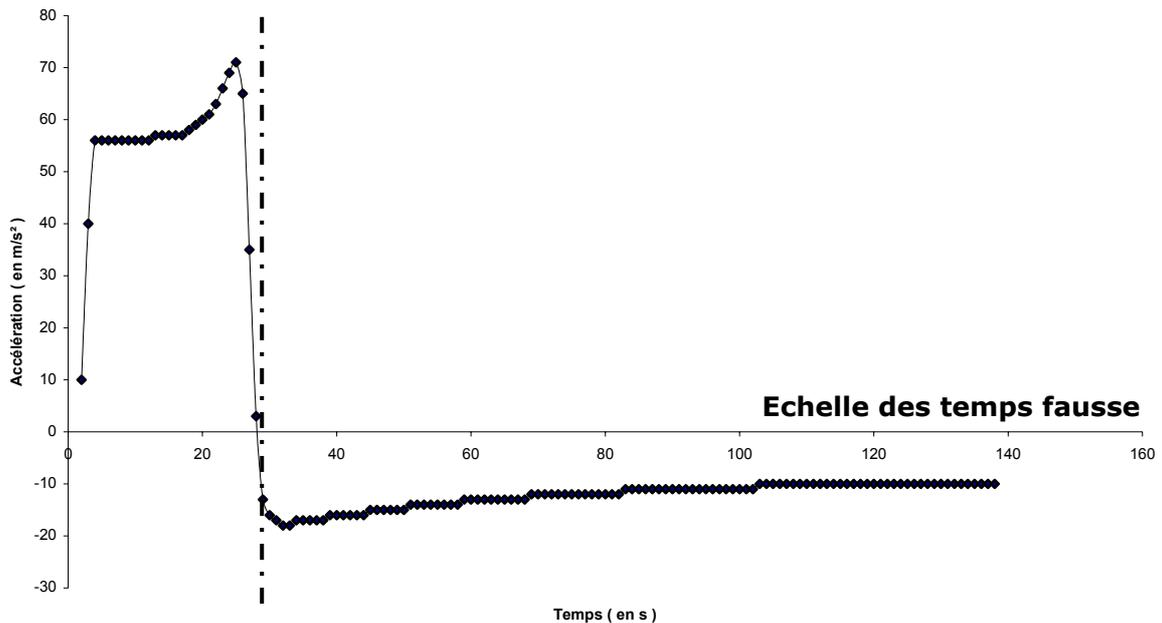
L'évolution de la vitesse est suivie jusqu'à la culmination de la fusée. On remarque alors que celle-ci n'est pas nulle ( $23\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) → A la culmination seule la composante verticale de la vitesse s'annule. La valeur précédente est donc la valeur de la composante horizontale de la vitesse. Ceci est à prendre en compte si on désire détecter la culmination avec ce paramètre ou lors du dimensionnement du parachute.

## 2.3. Accélération



Evolution de l'accélération en fonction du temps. On remarque que Trajec donne

les valeurs absolues de l'accélération : une décélération se traduit par une valeur négative de l'accélération (après 2.5s)



Voici la courbe avec les valeurs remises au bon signe. On remarque que le début de la courbe retranscrit assez fidèlement celui de la courbe de poussée du propulseur chamois. Outre cela on remarque la forte accélération du début et aussi (et surtout) ma forte décélération en fin de propulsion.

### **3. Synthèse**

$$V_{\text{Sortie Rampe}} = 21 \text{ m.s}^{-1} \quad (V_{\text{so}} > 20 \text{ m.s}^{-1}) \quad \text{Pas de calcul } 0.05$$

$$\text{Finesse} : f = \frac{2245}{115} = 19.52 \quad (10 < f < 35)$$

$$\text{Portance} : C_n = 22.5 \quad (15 < C_n < 40)$$

$$\text{Marge statique} : 3.7 < M_s < 4.3 \quad (2 < M_s < 6)$$

$$C_m = M_s \times C_n : 83.25 < C_m < 96.75 \quad (40 < C_m < 100)$$

$$\text{Vitesse Max} = 135 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Culmination} = 845 \text{ m}$$

$$\text{Durée totale du vol} = 67.05 \text{ s}$$



**CLES-FACIL**



<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Nicolas Chaléroux

[Nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr](mailto:Nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr)

**Projet : ELA**

15 juillet 2002

Version 1.0

***Test/Dimensionnement de l'émerillon***

## **1. Situation du problème**

Toute fusée est obligée par le cahier des charge d'être pourvue d'un système anti-torche. Le club utilise depuis de nombreuses années des émerillons maisons fabriqués directement dans des blocs d'aluminiums tournés et avec des grosses vis. L'inconvénient de poids est justement le poids ! En effet, cette année nous cherchons à optimiser par tous les moyens le poids de notre fusée. (case parachute en carbone, design des pièces usinées...) Il était donc inconcevable d'utiliser un émerillon de ce type :

### **Photos Emerillon NAUSICAA**

Nous avons cherché des émerillon dans différents magasins de bricolage et de sport sans être très chanceux. Tous les magasins de bricolage proposaient le même produit. Il est à noter que ces derniers appellent également un émerillon : un touret ! Voici le seul émerillon que nous avons trouvé :

### **Photo Emerillon AVANT**

Ce dernier n'est pas garanti pour une certaine charge contrairement à ce que nous pensions trouver. Il nous revient la charge de tester si cette pièce résistera aux contraintes du vol.

## **2. Contraintes**

### **2.1. Par le calcul**

Il y a clairement deux phases de contraintes différentes durant l'utilisation de l'émerillon :

- A l'ouverture du parachute : le choc
- Lors de la descente sous parachute : effort que l'on considère constant

Il est clair que le premier est de loin le plus grand et c'est donc cet effort que nous allons tâcher de dimensionner. Le cahier « Les parachutes des fusées expérimentales » (édition février 2002) donne comme formule :

La valeur de la force à l'instant d'ouverture :

$$|F| = \frac{RSC_x V_0^2}{2}$$

Avec : R : densité de l'air (prise égale à 1.3 g.l<sup>-1</sup>)

S : la surface du parachute (1.69 m<sup>2</sup> dans ce projet)

C<sub>x</sub> : le coefficient aérodynamique du parachute (1 comme une surface plane)

V<sub>0</sub> : Vitesse de la fusée à l'ouverture (50 m.s<sup>-1</sup> nous semble un cas très réaliste)

On trouve avec ces valeurs une force de **2750 N**. Nous remarquons que le formule ne dépend pas de la masse de la fusée ce qui nous semble bizarre et nous conforte dans l'idée que cette formule est approchée. Je pense que l'élasticité des sangles doit intervenir avec encore beaucoup d'autres paramètres. Cette formule est donc simple à utilisée mais pas exacte. Comme le dit **XXX** : « Ce qui est simple est faux et ce qui ne

l'est pas est inutilisable » Somme toute nous allons étudier les abaques fournis dans le document précédemment cité.

## 2.2. Premier abaque

Cet abaque donne le choc à l'ouverture en fonction de la vitesse à l'ouverture et de la masse de la fusée, le parachute étant dimensionné pour une descente à 10m.s<sup>-1</sup>. Notre parachute entre exactement dans ces critères puisque le cahier des charges demande une vitesse de descente sous parachute comprise entre 5 et 15 m.s<sup>-1</sup> et que nous avons pris exactement la valeur médiane.

Nous trouvons pour une fusée de 12.5kg et une vitesse à l'ouverture de 50 m.s<sup>-1</sup> : **2500 N** environ. Ceci est de l'ordre de grandeur de notre premier résultat.

## 2.3. Deuxième abaque

Celui-ci traduit toujours le choc à l'ouverture mais cette fois en fonction de la vitesse d'ouverture et de la surface du parachute. Nous lisons pour les mêmes conditions une force de **2500 N** également. Etant donné les échelles ce résultat peu être considéré comme peu fiable. Nous ne faisons pas une étude suffisamment poussée pour indiquer les incertitudes. Il s'agit uniquement d'application de formule et de lecture donc nous ne maîtrisons pas la théorie et avancer une plage d'incertitude serait bien hasardeux.

## 2.4. Troisième abaque

Il s'agit cette fois du choc à l'ouverture en fonction de la vitesse à l'ouverture pour des fusées typiques caractérisées par leur type de propulseur (Isard, Chamois, Caribou). La courbe donne pour un chamois à 50 m.s<sup>-1</sup> une valeur de **2500 N** encore !

### **3. Les tests**

Il nous faut appliquer une force de 2750 N (maximum des valeurs calculées dans le paragraphe précédent) sur l'émerillon pour tester sa résistance. Nous allons essayer de le pendre avec une masse de 280 Kg ( $2750/9.81$ ). Le système expérimental reste rudimentaire mais respecte les conditions expérimentales :



**Emerillon**

Le photographe ayant rejoint le premier équilibriste sur le montage le poids total atteint fut de **226 Kg**. Ceci étant inférieur à notre objectif et comme nous n'arrivions plus à déjouer la gravité pour augmenter la charge nous avons cherché à faire une charge équivalente par chute d'une masse.

Notre premier essai fut le bon puisqu'en lâchant 52.5Kg de 20cm de hauteur avec un câble rigide nous avons cassé l'émerillon.



Il nous faut donc calculer quelle charge équivalente nous lui avons appliquée lors de cet ultime essai !

Cet essai un peu violent nous amène à une autre conclusion. En effet, étant donnée la configuration de la rupture :



Nous voyons que comme nous attachons l'émerillon avec une sangle large nous diminuons les contraintes. En effet, avec le câble les contraintes sont beaucoup plus concentrées et donc destructrices qu'avec la sangle.

#### **4. Conclusion**

Malgré que notre étude soit plus qualitative que quantitative et que nos essais n'aient pas été menés avec l'art et la manière nous pouvons dire que cet émerillon tiendra le choc. Notre certitude viens également du fait que nous avons presque atteint les valeurs escomptées et que nous nous placions pas forcément dans des cas favorables.

Enfin dans les pièces annexes nous pourrions mettre les avis positifs des anciens qui s'ils ne valent pas des preuves donnent généralement la bonne tendance.



**CLES-FACIL**



<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Nicolas Chaléroux

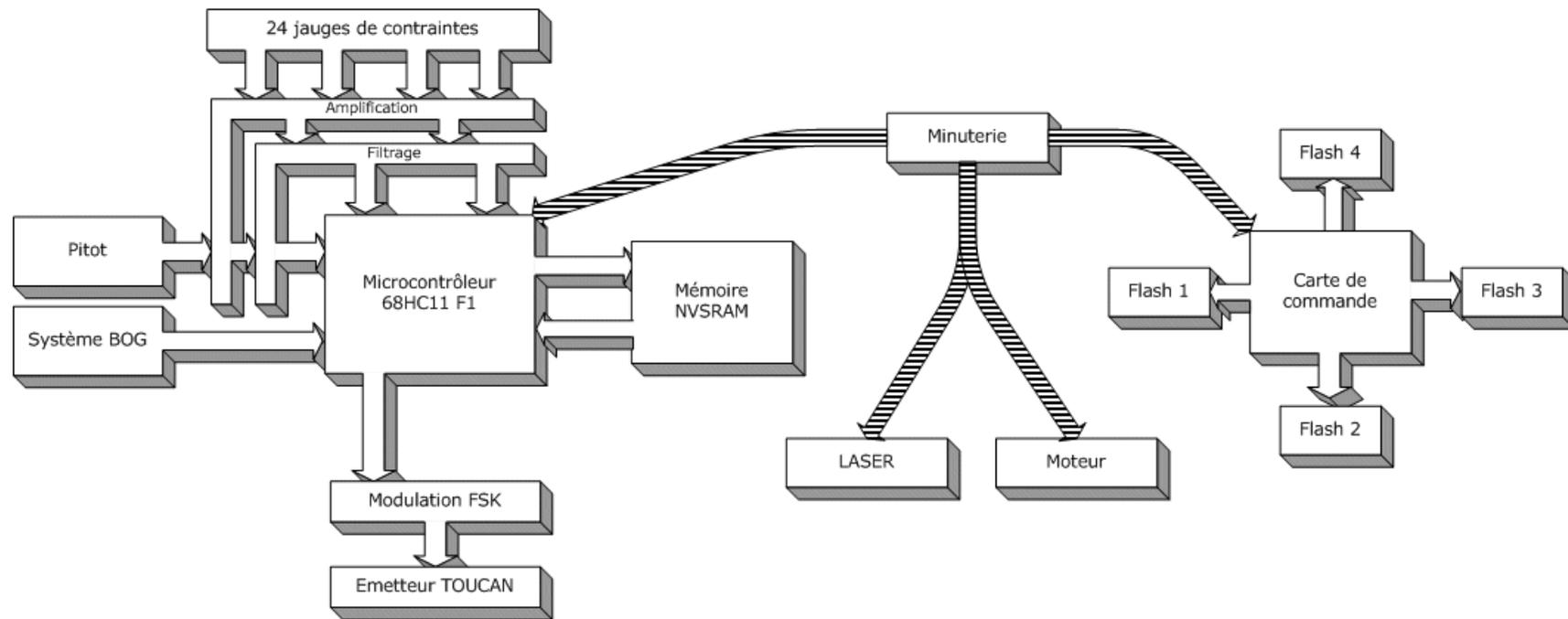
[Nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr](mailto:Nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr)

**Projet : ELA**

25 juillet 2002

Version 1.0

***Synoptique électronique***





<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Stéphane SIMON

[stephane.simon@insa-lyon.fr](mailto:stephane.simon@insa-lyon.fr)

**Projet : ELA**

26 juin 2002

Version 2.0

***Minuterie***

## **1. Description fonctionnelles**

La carte minuterie est l'organe qui va donner l'ordre de l'ouverture de la case parachute. Cette carte reçoit l'information du départ de la fusée grâce à un capteur d'accélération. Lorsque l'information est reçue par la carte, celle-ci déclenchera au bout d'un temps prédéterminé le moteur qui ouvre la trappe de la case parachute. La porte de la case parachute est maintenue grâce à un excentrique qui bloque l'ouverture. Lorsque cet excentrique pivote, la porte se libère. Cet excentrique est lui peut tourner grâce à un moteur.

La carte minuterie et le moteur d'ouverture de la case parachute ont la particularité d'avoir chacun une alimentation indépendante de l'alimentation de la fusée et répond par conséquent au cahier des charges. Un régulateur le 7805 vient par conséquent réguler la tension à 5V.

## **2. Problèmes spécifiques et solutions apportées**

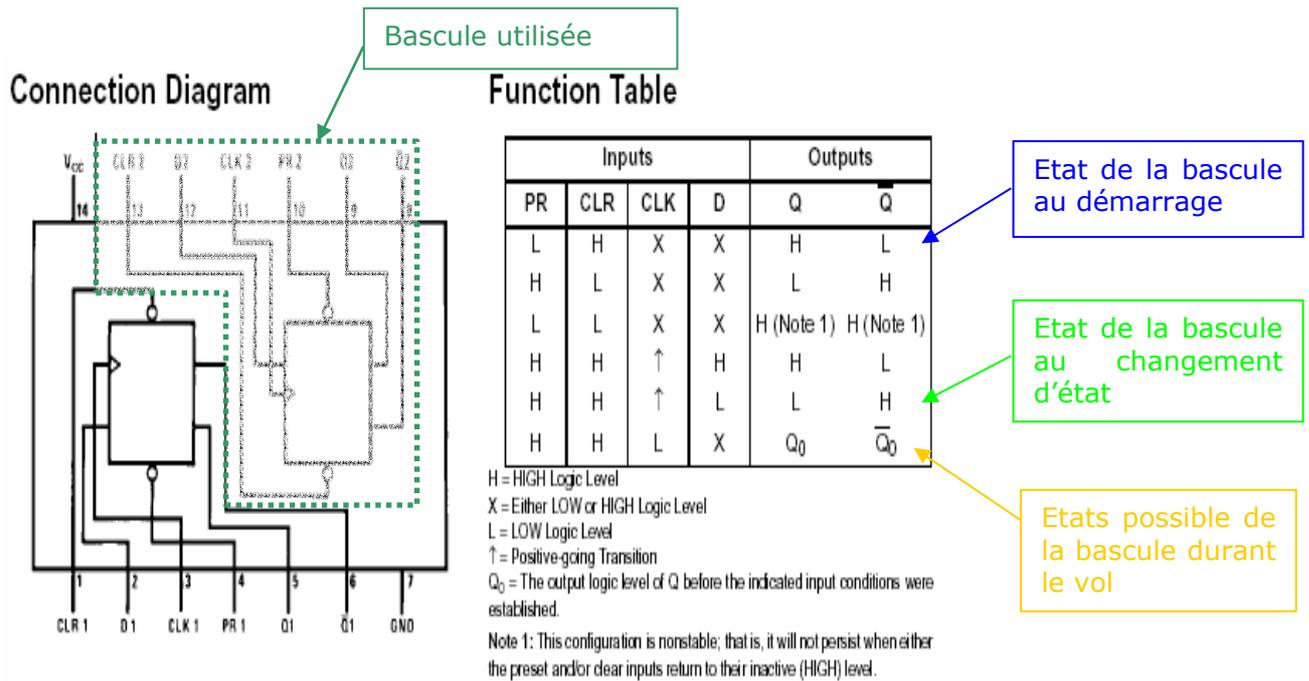
La minuterie est soumise à des perturbations électromagnétiques dues à la télémesure embarquée au sein même de la fusée. Pour cela des précautions sont à prendre. La première est d'assurer bien à chaque composant alimenté électriquement (bascule et 4541) une alimentation continue sans baisse de tension. Le régulateur n'est pas suffisant, il a donc été ajouté un condensateur relié entre la masse et le borne 5V. Ce condensateur de 100nF est placé le plus près de la borne 5V du composant.

Pour les mêmes raisons de perturbation il est conseillé de faire des pistes de cuivres les plus courtes possibles pour relier 2 composants. Dans la minuterie, la gravure sur les 2 faces a permis de simplifier les liaisons et a permis de diminuer la longueur des pistes.

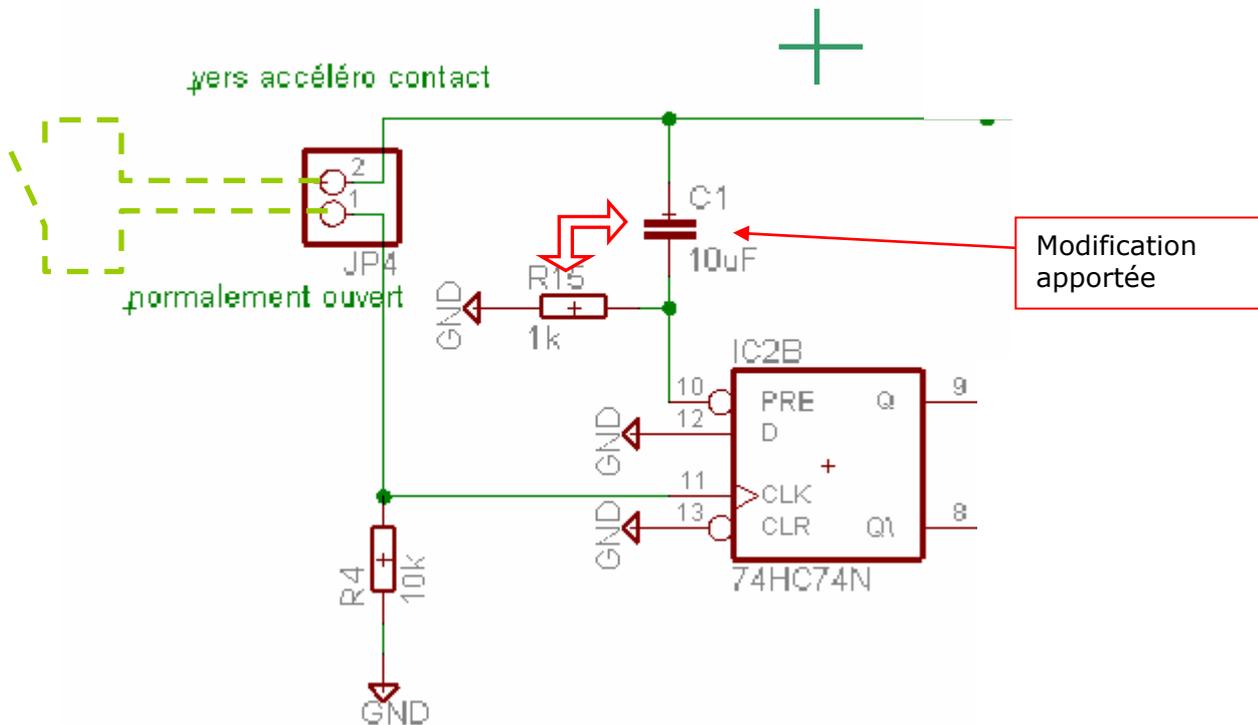
Chacun connaît la relation  $U = R * I$ , cette relation reste toujours valable mais lorsque l'on travaille dans ce milieu perturbé, des courant « fictifs » peuvent apparaître sur une piste, même si ces courant on une faible intensité, s'ils passent à travers une résistance de forte valeur, une tension parfois non négligeable apparaît aux bornes de la résistance. Cette tension non maîtrisée vient alors perturber notre circuit. Pour répondre à cette contrainte nous utilisons des résistances avec des valeurs ohmiques inférieures à 10k $\Omega$ .

## **3. Acquisition et mémorisation du signal de décollage**

La fusée reçoit l'information de départ de la fusée grâce à un capteur d'accélération (tout ou rien). Celui ci est un interrupteur qui est normalement ouvert. L'information est mémorisée grâce au composant : « bascule D » dans le schéma de fonctionnement est celui ci ». Ce composant mémorise la première impulsion (ou front montant), et garde cet état. Il peut y avoir un effet de rebond qui est non maîtrisé sur l'accéléro contact, mais celui-ci n'a aucun effet sur la mémorisation du signal puisque c'est la première impulsion qui est mémorisée.

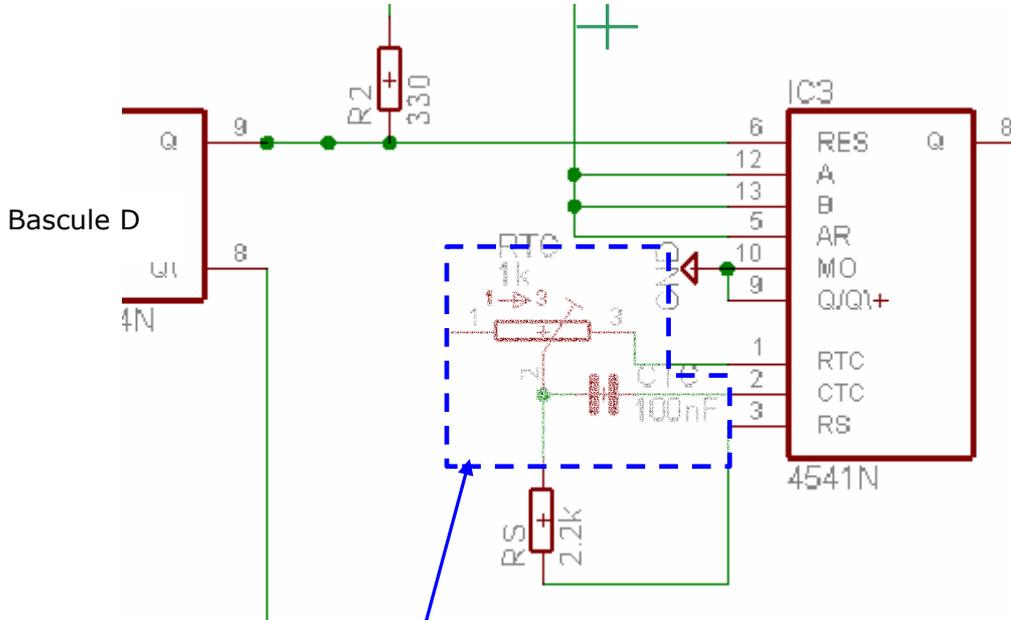


Le schéma de câblage de ce composant est dessiné ci dessous. Cependant je me suis aperçu une fois la carte tirée qu'il y avait une erreur dans mon schéma. En effet lorsque l'on alimente la carte de la fusée, il faut que la sortie Q soit au niveau haut donc *preset* au niveau H et *preset* au niveau L. Le condensateur assure lui le niveau bas a la mise sous tension de la carte. Les valeurs de R et C ont été choisies après plusieurs essais pour assurer un temps correct de montée en tension aux bornes du condensateur C1



## 4. comptage

Un seul composant le appelé 4541 et dont la référence varie suivant les constructeurs est utilisée pour le comptage. Lorsque la fusée est au sol, l'entrée reset est forcée par la bascule. Au décollage cette entrée n'est plus activée et le comptage débute



le compteur dont la période a été réglée avec la résistance  $R_{TC}$  et Le condensateur  $C_{TC}$ .

La formule donnant la durée un cycle est :

$$\tau = 2,3 \times R_{TC} \times C_{TC}$$

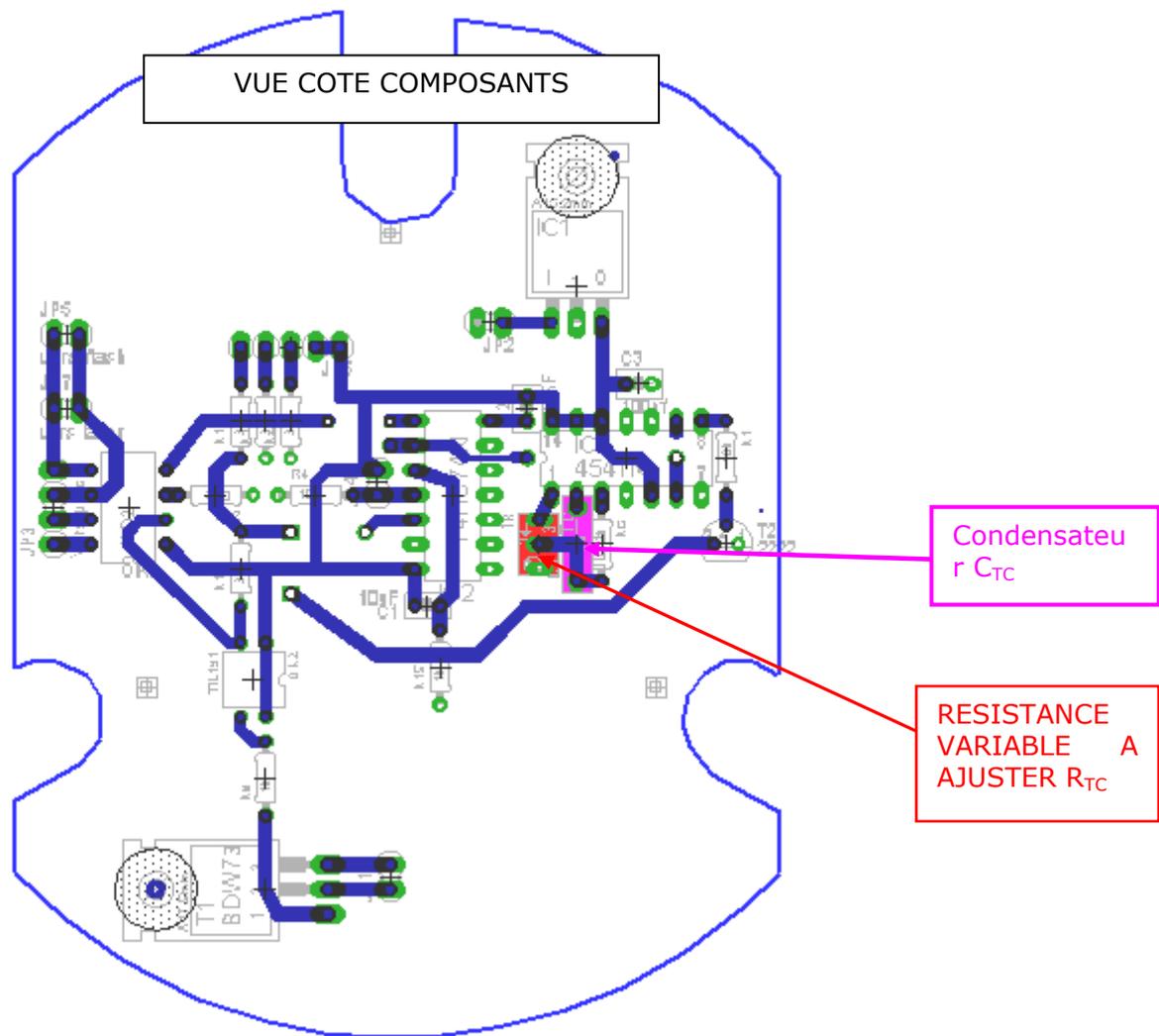
Donc le temps total est :

$$T = 65536 \times \tau$$

Nous avons par conséquent choisi un condensateur de  $C_{TC}$  de 100nF et une résistance variable (25 tours)  $R_{TC}$  de 1k $\Omega$  le temps maximum de déclenchement est :

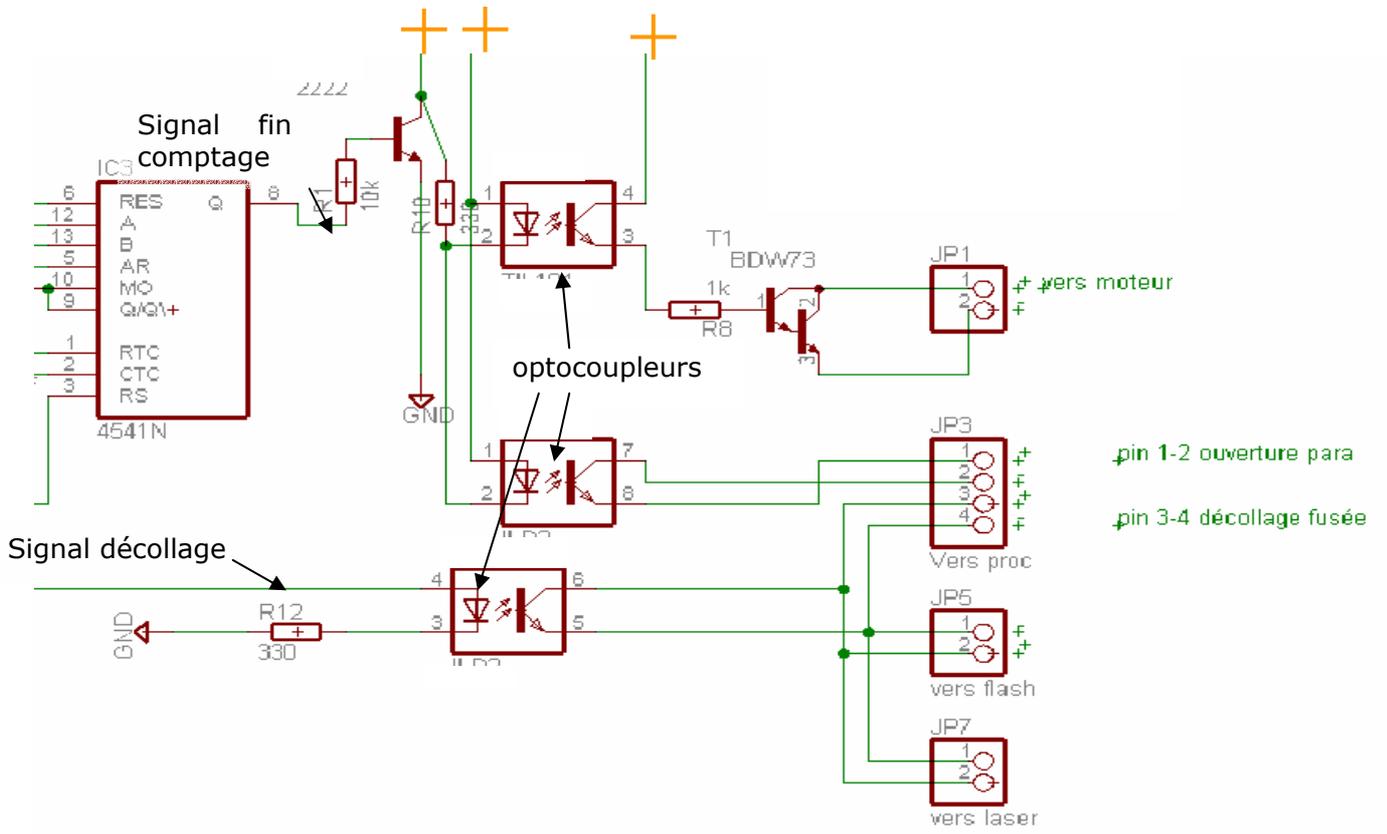
$$T = 65536 \times 2,3 \times (1 \times 10^3) \times (100 \times 10^{-9}) \approx 17s$$

Le Réglage du temps se fait en ajustant le potentiomètre de la résistance variable  $R_{TC}$ . Lorsque le comptage est terminé, la sortie Q passe au niveau Ha

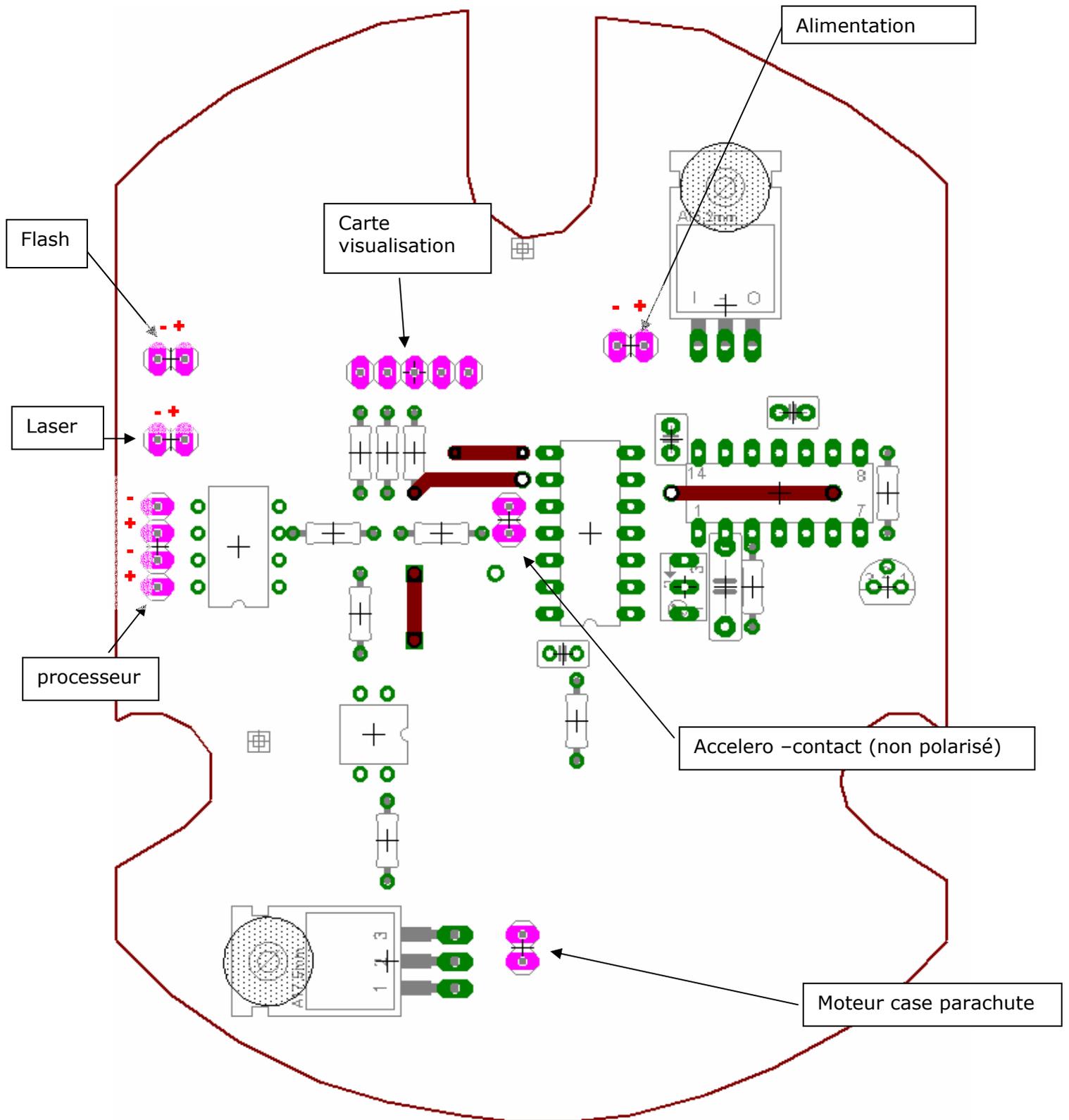


## 5. Transmission du signal

Pour assurer qu'il n'y ait aucune interférence entre les signaux de commandes et les signaux commandés, les optocoupleurs sont beaucoup utilisés. Ils permettent de séparer électriquement les signaux entre les différentes parties de la fusée, ce qui est imposé par le cahier des charges. L'information de décollage de la fusée est transmise au laser, au flash, et au microcontrôleur. L'information d'ouverture de la case parachute est elle transmise au moteur de la case parachute ainsi qu'au microcontrôleur. Le composant 4541 de référence CD4541BC (la dénomination exacte variant suivant les constructeurs) ne débitant pas suffisamment de courant, on a été obligé de commander les optocoupleurs de fin de comptage en utilisant un transistor le 2222 (la aussi la référence varie suivant les constructeurs). Le moteur de la case parachute peut réquisitionner une importante quantité d'électricité. Pour cela nous avons ajouté un transistor de puissance (BDW93C) qui ferme le circuit du moteur et assurera une intensité importante

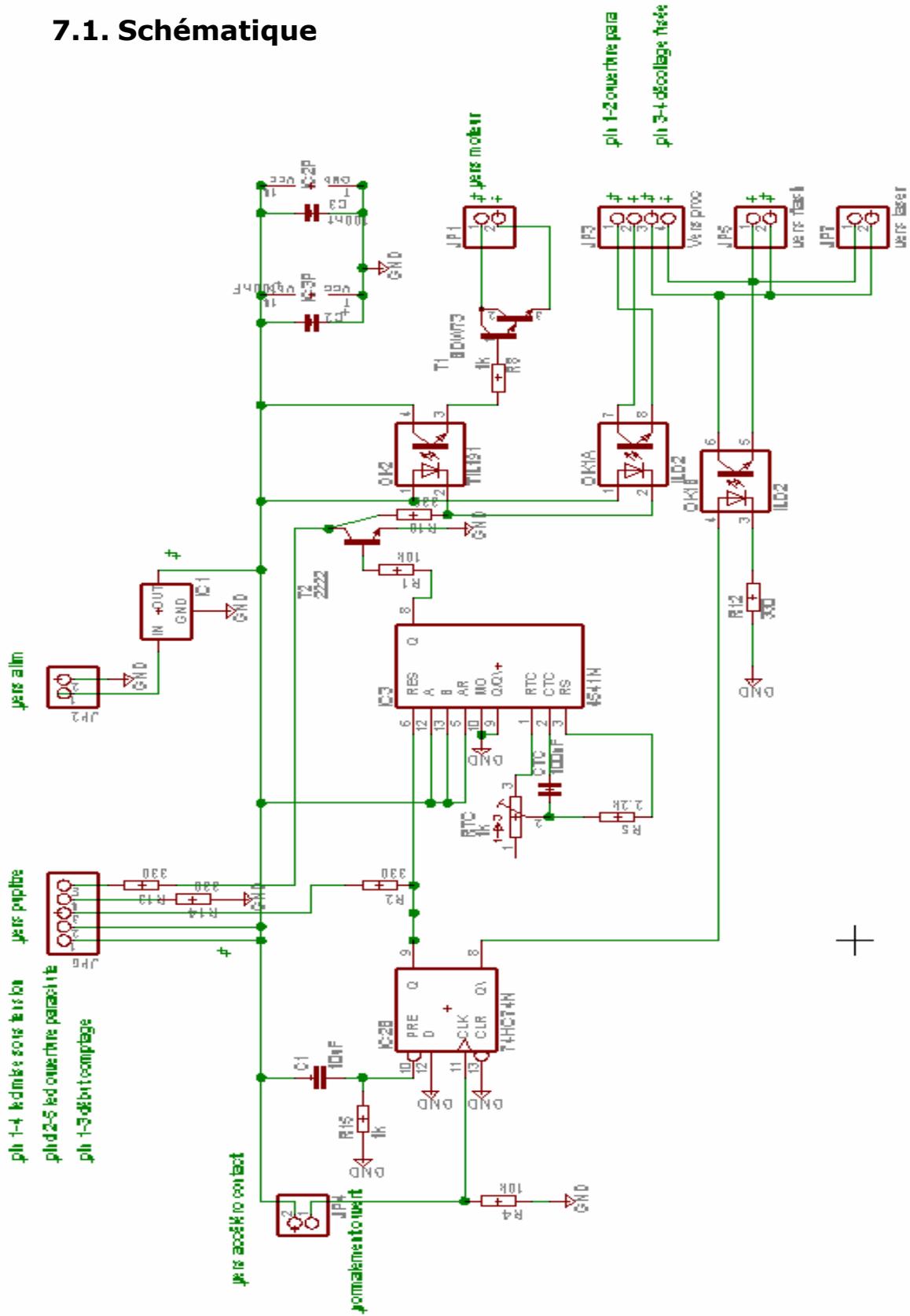


## 6. Branchement des connecteurs

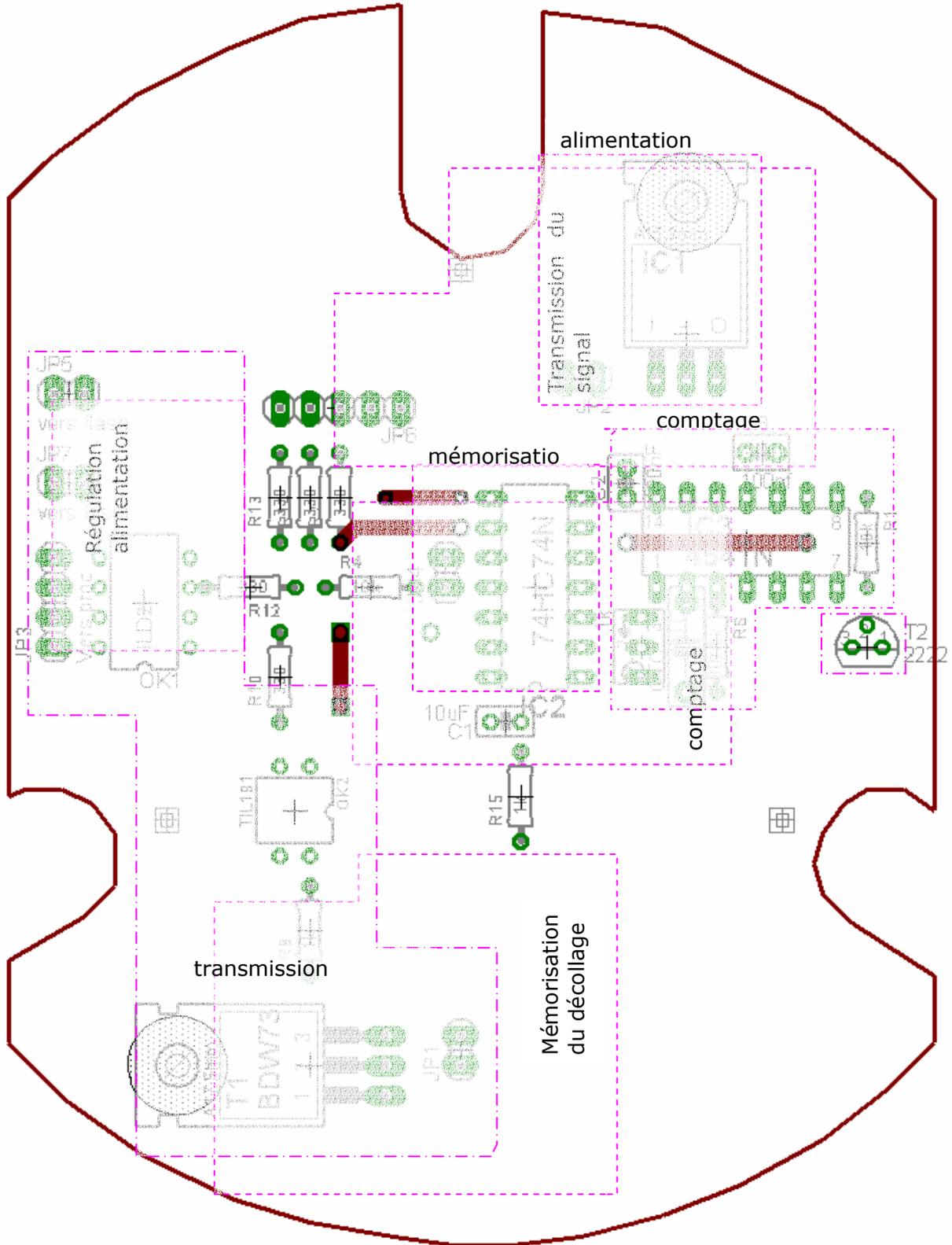


## 7. schémas électroniques

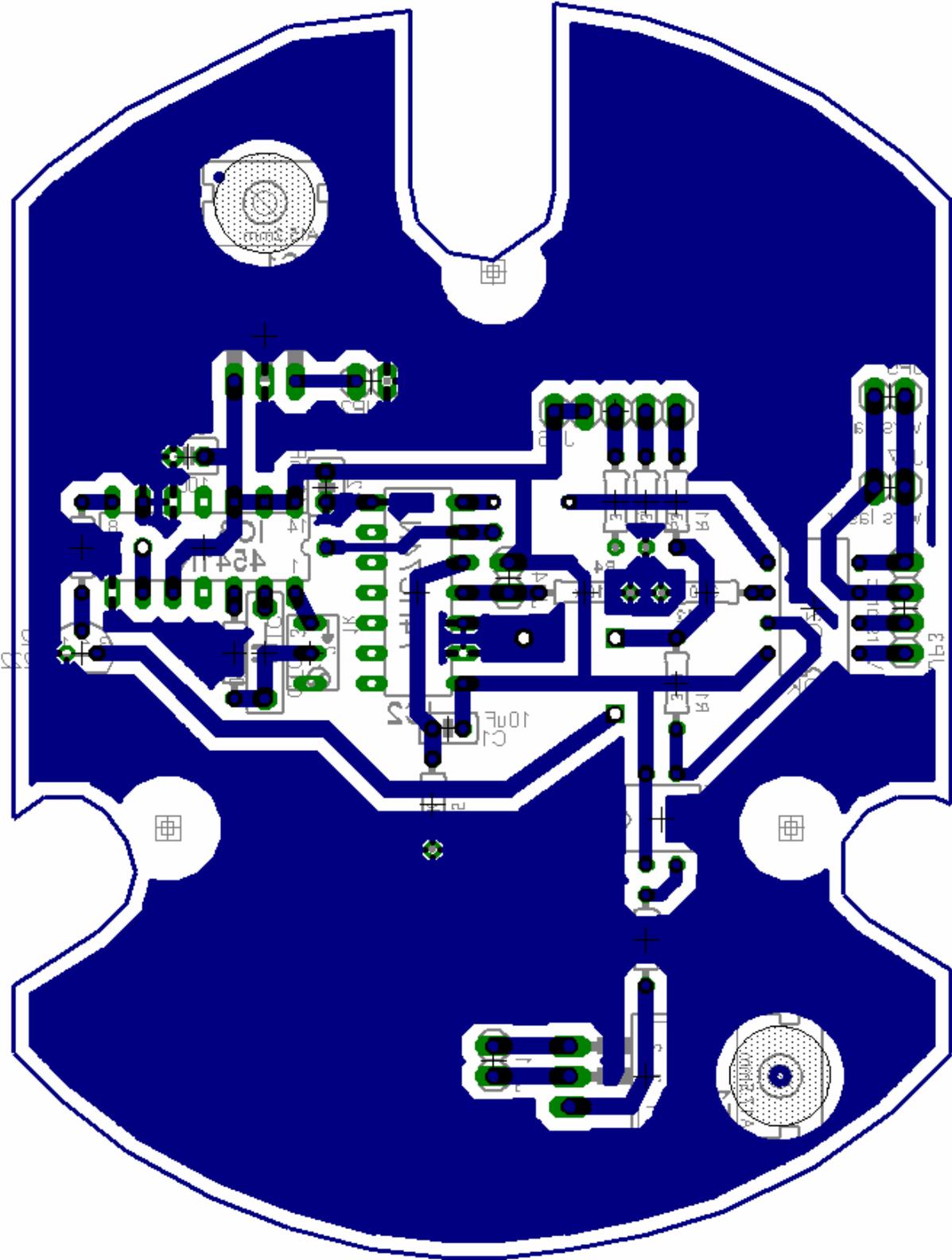
### 7.1. Schématique



## 7.2. Circuit imprimé vu de dessus



**7.3. Circuit imprimé vu de dessous**



## **8. Liste des datasheets en annexe**

La version électronique de ce rapport inclue les datasheets en fin de rapport mais pas la version papier. Par contre, les datasheets sous forme électronique « .pdf » sont sur le CD intitulé DOC ELA 2002.

- **Bascule** : DM74LS74A.pdf
- **Transistor** : BDW93C.pdf
- **Timer** : CD4541BC.pdf
- **Transistor** : 2222.pdf
- **Régulateur** : 7805.pdf



<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Pierre Fayet

[Fayetpierre@aol.com](mailto:Fayetpierre@aol.com)

**Projet : ELA**

28 juin 2002

Version 1.1

## ***Modulation FSK***

La modulation FSK fait partie des techniques courantes que les clubs doivent savoir maîtriser couramment sans avoir systématiquement besoin d'y consacrer une étude spécifique. Le but de cette note est donc double : rendre compte du travail effectué par le CLES-FACIL en 2001-2002 sur le sujet (stage télémesure des 2 et 3 Février 2002) et servir de base à une mise en œuvre antérieure que l'on souhaite plus aisée, voire immédiate.

# **1. Description fonctionnelle**

## **1.1. Principe de la modulation FSK**

Les mesures effectuées à bord de la fusée sont traitées sous la forme d'un code binaire. (cf. Doc : CARTE MEMOIRE – MICROCONTROLEUR).  
Or un émetteur ne peut envoyer des informations que sous forme analogique.

Il faut donc convertir le code binaire en question en signaux analogiques : c'est le rôle du modulateur FSK. Le principe est simple :

Pour un « zéro » numérique on génère une fréquence précise,

Pour un « un » numérique correspond une deuxième fréquence.

→ Il est alors possible de transmettre n'importe quelle donnée de mesure à travers un émetteur analogique.

Tableau 1 : Fréquences employées pour la modulation FSK :

Vitesse de transmission	Fréquence "un"	Fréquence "zéro"
1200 bits/sec	2200 Hz	1200 Hz
4800 bits/sec	15000 Hz	9000 Hz

Ces fréquences doivent être précises à 1% près.

L'émetteur utilisé pour la campagne 2002 (et pour la dernière année) est le Toucan, (utilisé en mode bande large), fourni par l'ANSTJ et dont on peut consulter les caractéristiques dans la notice technique : *émetteur TOUCAN*. (mars 1993).

Son successeur, le Kiwi Millenium présente, en mode analogique (modulation externe), des caractéristiques similaires, mais ses dimensions sont légèrement supérieures.

## **1.2. Cahier des charges**

Il faut donc concevoir une carte modulateur FSK ayant les propriétés suivantes :

- La carte devra être de dimensions semblables à celles de l'émetteur, de façon à pouvoir être intégrée sous celui - ci,

Il faudra veiller à ce que les notions élémentaires des Compatibilité Electromagnétique (CEM) soient respectées,

- La carte et ses composants devront résister aux fortes contraintes mécaniques survenant dans la fusée en particulier lors du décollage.
- Tension d'alimentation : 12 Volts,
- Tension Crête/crête de sortie : de 2.5 à 5  $V_{c.c.}$  selon les besoins de l'utilisateur.

Les fréquences générées par cette carte devront être conformes aux spécifications ANSTJ.

En second lieu, il s'agit de créer un système permettant l'adaptation en impédance des antennes avec l'émetteur et de vérifier expérimentalement si l'adaptation est suffisante.

## **1.3. Emission FSK**

L'émission se fait par deux antennes quart d'onde (d'impédance 36 ohms) situées à la base de la case parachute de la fusée.

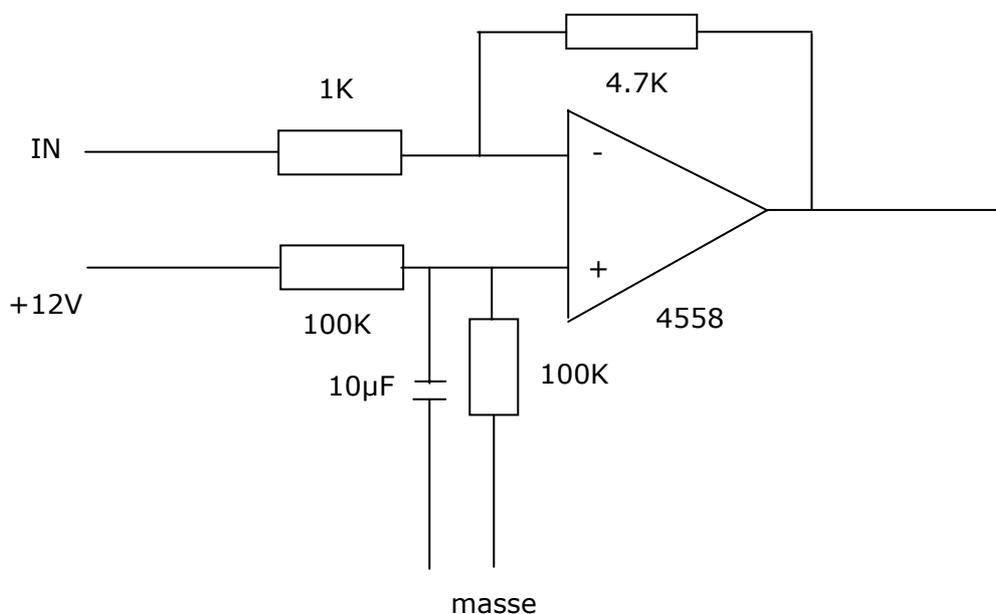
Un splitter du commerce 1 entrée → 2 sorties 50 Ohms est utilisé pour coupler et adapter ces deux antennes à l'émetteur.

## 2. Réalisation

### 2.1. Emission

- A propos de l'émetteur : Le Toucan assure des performances optimales sous une tension d'alimentation de 12V et une tension sinusoïdale de 5V crête/crête en entrée. En général le XR 2206 ne délivre pas une tension supérieure à 2 à 3V crête /Crête avec une composante continue d'environ 7.5V (d'après nos mesures) que l'on supprimera par l'intermédiaire d'un condensateur de 100nF-MKT.

On peut si l'on souhaite avoir une tension de sortie plus grande ajouter un ampli op en sortie de montage. Après avoir essayé quelques ampli ops (mono-tension d'alimentation) les plus courants : LM358N et quelques autres, mon choix s'est porté sur un ampli op moins connu mais de bonne qualité, utilisé en audio dans nombre d'appareils : le 4558D. Les performances obtenues sont assez bonnes: il est en effet possible d'obtenir 6.5V Crête/crête sans déformation du signal avec le montage proposé plus loin. En fait, il n'est pas nécessaire de moduler l'émetteur à fond, sachant que la portée de l'émetteur est alors suffisante pour une fusée à faible altitude. Le montage avec l'ampli op 4558 peut donc être supprimé sans encombre. De plus, le spectre émis par le Toucan a tendance à se déformer si une trop grande puissance lui est demandée. Il est par contre recommandé si l'on utilise ce circuit de choisir un réglage de gain permettant d'obtenir un bon compromis entre l'amplitude du signal et la qualité d'émission désirée. On retiendra le schéma suivant:



- A propos des antennes :

## 2.2. Importance de l'adaptation d'impédance

L'émetteur Toucan travaille à une fréquence de 137.95 MHz. On peut alors calculer la longueur d'une antenne quart d'onde à cette fréquence.

La longueur d'onde correspondante serait:

$$\lambda = c/f = 2.21 \text{ m} \quad \text{et} \quad \text{donc } \lambda/4 = 55 \text{ cm.}$$

c : célérité de la lumière =  $3.10^8$  m/s

Ce calcul n'est pas rigoureusement exact car au – delà de 30 MHz, il faut tenir compte du diamètre d des antennes.

Pour cela, on détermine le rapport demi longueur d'onde / diamètre.

$$K = \lambda/(2d)$$

Remarques: la notation K utilisée ici ne doit pas induire en erreur: Il ne s'agit en aucun cas d'une longueur d'onde. Ce coefficient k est compris le plus souvent entre 0.92 et 0.98.

La longueur effective de l'antenne sera donc un peu plus courte que la longueur théorique. On l'obtient évidemment en multipliant la longueur théorique de l'antenne par K.

L'émetteur se comporte comme un générateur de courant. S'il débite sur une charge qui est sa charge nominale, on a une impédance adaptée et une émission optimale. Si cette charge est supérieure, on des pertes de puissance émise, par contre l'appareil ne risque pas d'être dégradé. Si cette charge est trop faible, il y a danger pour l'émetteur, puisque celui – ci va débiter un courant supérieur à son courant nominal.

Il faut donc adapter au mieux l'ensemble antennes/émetteur de façon à protéger l'émetteur mais également de façon à ce que les pertes soient minimisées. Pour cela, il est fondamental de raisonner à partir de la longueur d'une antenne. En effet l'impédance de l'antenne est déterminée par sa longueur. Trois choses sont à retenir:

Une antenne à la résonance se comporte comme une charge purement résistive.

Si l'antenne est trop courte pour sa fréquence de travail, elle sera capacitive et son impédance sera de la forme:

$$Z = R - jC\omega$$

Si l'antenne est trop longue pour sa fréquence de travail, elle sera inductive et son impédance sera de la forme:

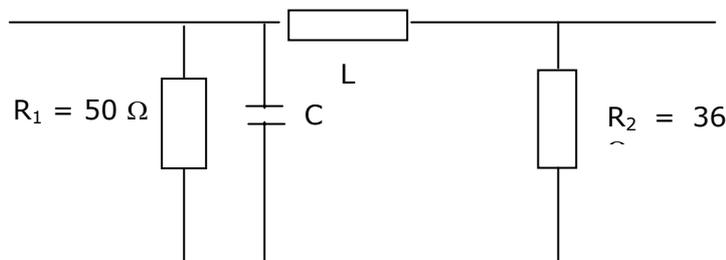
$$Z = R + jL\omega$$

Les antennes utilisées dans notre projet sont deux antennes souples quart d'onde, de marque Grauta, de longueur 175 mm, accordées pour la fréquence 144 MHz. (il s'agit probablement d'antennes bobinées puisqu'elles se révèlent bien plus courtes que ce que le calcul théorique prévoyait...) Le Toucan émet sur une fréquence 137.95 MHz : Ces

antennes sont donc à peu près dans la bonne plage de fréquences. Celles-ci sont reliées entre elles par l'intermédiaire d'un splitter deux voies 50 ohms, disponible chez Electronique Diffusion. Il s'agit d'un splitter passif, utilisable aussi bien en émission qu'en réception.

Il est également possible d'adapter et de coupler ces antennes par l'intermédiaire d'un transformateur HF. Cette solution n'a pas été retenue pour plusieurs raisons. En effet, il s'agissait de trouver une carcasse de transformateur adaptée à un usage en haute fréquence, de plus la fréquence utilisée commence à être relativement critique pour l'utilisation d'un transformateur en haute fréquence. Enfin, l'achat dans le commerce d'un splitter a surtout évité à l'auteur de ces lignes le bobinage – à la main – d'un transformateur dont au bout du compte les performances n'auraient pas été optimales.

L'impédance nominale d'une antenne quart d'onde est de 36 Ohms. Afin de pouvoir adapter chaque antenne à la sortie du splitter, on conçoit l'adaptateur LC suivant :



Calculs de L et C:

On définit tout d'abord le facteur de surtension du circuit:

$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_1 - R_2}{R_2}}$$

Et alors:

$$L = R_2 / \omega \times 2Q \quad \text{et} \quad C = 2Q / (R_1 \omega)$$

Ce qui donne dans le cadre de notre exemple:

$$L = 92.46\text{nH} \text{ et } C = 51.36\text{pF}.$$

On trouve dans le commerce 100nH et 56pF.

On verra plus loin que les essais ont montré que l'utilisation de ce dispositif n'était pas utile.

### 2.3. R.O.S: Rapport d'ondes stationnaires

C'est un paramètre de grande importance qui va être abordé ici, puisqu'il va permettre par la suite lors des essais de déterminer si oui ou non l'adaptation en

impédance de l'ensemble émetteur / antennes a été correctement réalisée. Certains parlent également de T.O.S. (taux d'ondes stationnaires), appellation qui n'est plus en vigueur et qu'il est préférable d'oublier tant les confusions à ce sujet sont nombreuses. L'appareil permettant de mesurer le ROS est appelé ROSmètre. En quoi cela consiste-t-il?

Lors de l'émission, on envoie vers l'antenne une onde électromagnétique qui représente une certaine quantité d'énergie. Cette énergie, quand l'antenne est adaptée est entièrement émise. Par contre si l'antenne n'est pas adaptée en impédance, (c'est à dire si elle est trop longue ou trop courte), on aura un phénomène de réflexion à l'intérieur de l'antenne et donc de retour d'ondes vers l'émetteur. On a alors naissance d'ondes dites stationnaires. On déduit que plus le ROS est élevé, plus le rendement global de l'ensemble émetteur + antennes sera faible. Pour des valeurs très élevées du ROS, on a un risque de surchauffe, voire de destruction de l'émetteur, puisque l'émetteur reçoit l'énergie qu'il vient d'émettre.

$$\text{ROS} = Z_{\text{max}} / Z_{\text{min}}$$

où  $Z_{\text{max}}$  et  $Z_{\text{min}}$  représentent les valeurs des impédance de sortie de l'émetteur et de l'antenne. Comme le ROS est toujours supérieur ou égal à 1, on effectue le calcul en plaçant l'impédance la plus élevée au numérateur.

Coefficient de réflexion  $\rho$  et ROS:

$$\rho = (\text{ROS} - 1) / (\text{ROS} + 1)$$

$$\text{ROS} = (1 + \rho) / (1 - \rho)$$

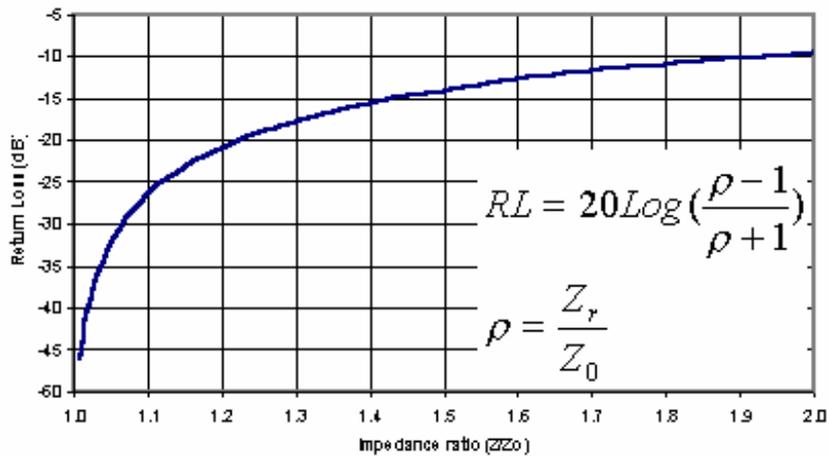
En fin de compte, la définition la plus simple à comprendre du ROS, la plus physique, est celle exprimée à partir de puissances:

$$\text{ROS} = (1 + \sqrt{(P_r / P_d)}) / (1 - \sqrt{(P_r / P_d)})$$

Avec  $P_d$  : Puissance directe et  $P_r$  :Puissance réfléchiée.

La désadaptation d'impédance peut également être exprimée par le Return Loss: perte par retour ( en dB).

### Voltage Standing Wave Ratio



**Et pour finir un tableau succinct de valeurs courantes données à titre indicatif :**

ROS	RL en dB	$\rho$	P absorbée par charge en %	P réfléchie en %
1		0	100	0
1,1	26,4	0,05	99,8	0,2
1,2	20,8	0,09	99,2	0,8
1,3	17,7	0,13	98,3	1,7
1,4	15,6	0,17	97,2	2,8
1,5	14	0,2	96	4
1,6	12,7	0,23	94,7	5,3
1,7	11,7	0,26	93,3	6,7
1,8	10,9	0,29	91,8	8,2
1,9	10,2	0,31	90,4	9,6
2	9,5	0,33	88,9	11,1
2,5	7,4	0,43	81,6	18,4
3	6	0,5	75	25
3,5	5,5	0,56	69,1	30,9
4	4,4	0,6	64	36
5	3,5	0,67	55,6	44,4
6	2,9	0,71	49	51
7	2,5	0,75	43,7	56,2
8	2,2	0,78	39,5	60,5

## 2.4. Notions de compatibilité électromagnétique (CEM) et choix des composants

Après ces considérations physiques sur les antennes, revenons sur des considérations d'électronique, concernant la réalisation du modulateur.

Le modulateur FSK fait appel à un composant où les fonctions nécessaires sont intégrées : le XR 2206. Ce dernier s'alimente sous une tension de 12V, qui est également la tension d'alimentation de l'émetteur : De fait une seule ligne d'alimentation est nécessaire pour assurer le fonctionnement de l'ensemble. L'alimentation est assurée par une autre carte dans la fusée. Il s'agit d'une alimentation à découpage.

## 2.5. Importance du choix des composants

Il est important de veiller à la qualité des composants utilisés pour le montage et ce, pour des raisons évidentes :

Fiabilité : Ne pas embarquer de composants récupérés, avec de trop grandes tolérances... Penser également – autant que possible – aux contraintes mécaniques lors du décollage de la fusée : privilégier donc des composants avec un large empattement, avec des pattes solides, ne pas faire de « cablage en l'air » etc....

Tolérances : la plupart des composants courants ont des tolérances acceptables pour notre application: 1à5% pour une résistance 1/4W, 20% pour de nombreux condensateurs. Il faudra penser également à la stabilité en température de ces composants, la température à bord de la fusée pouvant être assez élevée.

Choix des résistances variables : opter systématiquement pour des modèles de précision (réglage par vis genre spectrol 64X ou 64 Y) : On a vu en effet que les fréquences générées par le modulateur doivent être précises à un pour cent. Les vis des résistances variables devront être bloquées par un vernis.

CEM : On a vu que l'ensemble modulateur/émetteur avait l'avantage de ne nécessiter qu'une seule alimentation. C'est également un défaut : la ligne d'alimentation est polluée par des signaux hautes fréquences générés par l'émetteur, c'est pourquoi il faut prendre quelques précautions :

Placer l'ensemble modulateur/emetteur loin des autres circuits de la fusée.

Utiliser une alimentation spécifique, (pour ne pas perturber les mesures), en torsadant les fils d'alimentation qui en HF (haute fréquence) se comportent comme des inductances et en les faisant passer le long du châssis métallique de la fusée, qui est relié à la masse. On insèrera en série sur la ligne d'alimentation une self de choc qui sera implantée à proximité de l'emetteur.

Sur le plan de la conception des circuits proprement dite (valable également pour d'autres circuits que ceux du modulateur), quelques notions simples sont à retenir.

## 2.6. Importance des masses

Les traditionnelles masses en étoile utilisées en BF n'assurent pas le même potentiel en tout point du circuit en HF, ce qui entraîne la circulation de courants parasites. En HF on préfère utiliser des plans de masse.

La plaque époxy d'un circuit imprimé se comporte en hautes fréquences comme un condensateur. L'idéal est d'utiliser des circuits double face, avec une face réservée exclusivement à la masse. Ce plan de masse doit être relié au châssis de la fusée en plusieurs points : ne pas hésiter à faire plusieurs soudures à même le châssis. Dans le cas d'un circuit imprimé simple face, on doit s'arranger pour que les pistes réservées à la masse soient les plus larges possibles et en bord de carte pour pouvoir les souder au châssis.

Eviter également si possible les pistes trop proches les unes des autres qui deviennent des capacités parasites....

Enfin, il faut éviter le câblage en l'air : on a autant d'antennes que de fils...

## **2.7. Découplage HF. Importance du choix des condensateurs**

On trouve dans le commerce des condensateurs de toutes sortes. Ceux-ci, suivant leur type sont destinés à des applications bien particulières.

Filtrages d'alim, basses fréquences (BF) : de 1 à plusieurs milliers de  $\mu\text{F}$ . La plupart du temps on utilise des condensateurs de type Chimique. Ceux-ci ont le défaut de présenter des tolérances larges et une forte dérive de leur valeur en fonction de la température. Ce sont également des condensateurs qui vieillissent très mal et finissent par fuir. Il n'est pas rare qu'ils provoquent des court-circuits lorsqu'ils sont placés entre l'alimentation et la masse. On trouve dans le commerce des condensateurs MKT ou MKS (polystyrène) 1 et 2.2 $\mu\text{F}$  maximum, qui peuvent être utilisés comme condensateurs de découplage en BF et qui se révèlent bien plus fiables.

Condensateurs de découplage HF : Utiliser exclusivement des modèles type céramique (1 à 10nF), qui sont les seuls à pouvoir assurer une protection optimale en HF. Eviter les condensateurs tantale qui sont excellents en BF mais inutiles en HF.

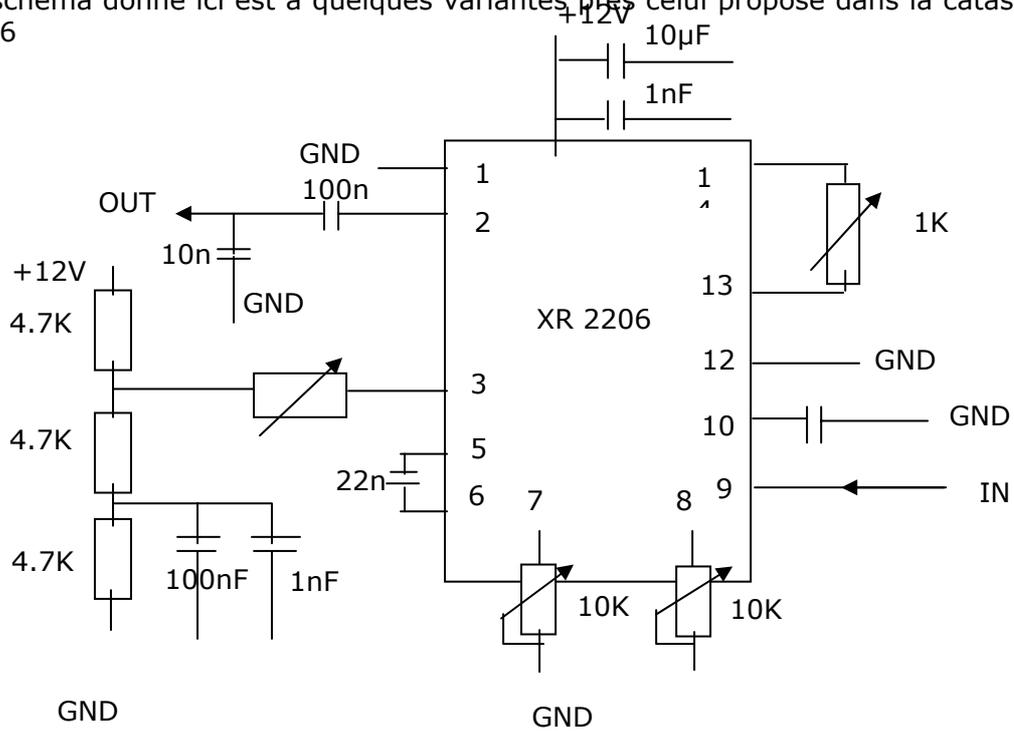
On notera pour terminer que ces condensateurs doivent être placés le plus près possible des composants à immuniser.

### 3. Schémas, routage et essais de l'ensemble

#### 3.1. Schémas et routage

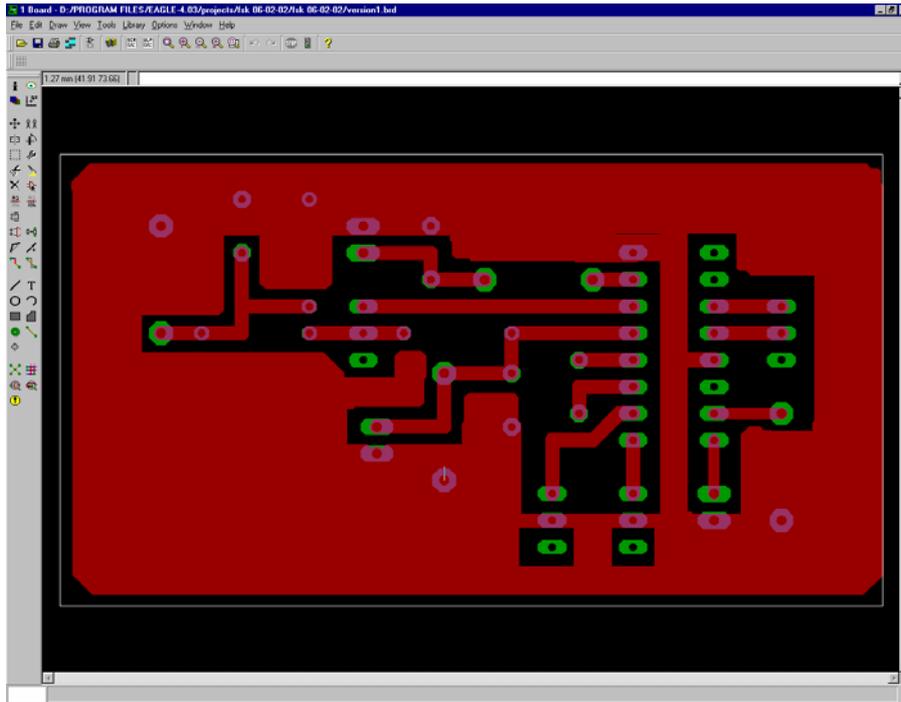
##### 3.1.1. Le schématique

Le schéma donné ici est à quelques variantes près celui proposé dans la datasheet du XR 2206



##### 3.1.2. Le routage a été effectué sous Eagle 4.03

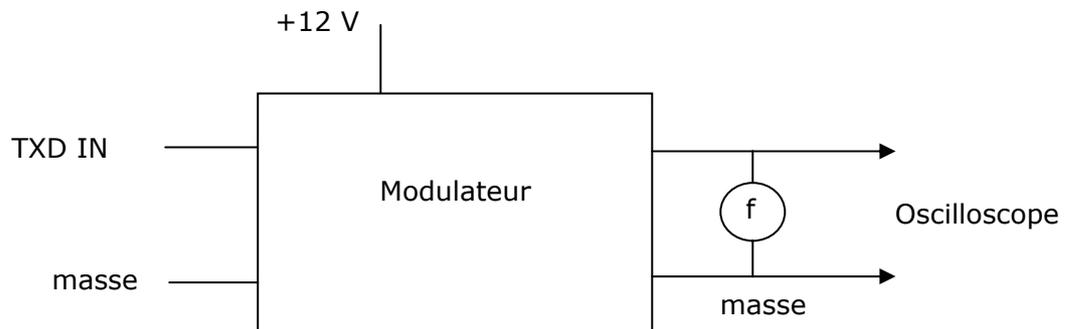
On donne ici la version de la carte sans ampli. Vue de dessous :



L'autre face du circuit est exclusivement réservée au plan de masse. Aucun composant n'y est implanté.

### 3.2. Essais et réglages du modulateur

On met en place le dispositif d'essai suivant:



Si on laisse l'entrée TXD in ouverte, on a un "un" logique, ce qui permet d'ajuster la fréquence correspondante. Dans un premier temps régler l'ordre de grandeur de la fréquence (sans nécessairement effectuer de réglage précis) et surtout régler l'amplitude

du signal en actionnant le potentiomètre de gain (de façon à obtenir environ 3V crête/crête) et régler la forme de l'onde obtenue en tournant le potentiomètre "symétrie", jusqu'à obtenir une onde parfaitement sinusoïdale. On peut alors terminer l'ajustement précis de la fréquence à l'aide du fréquencemètre.

Ensuite, court-circuiter l'entrée TXD avec la masse. On a alors un "zéro" logique. Ajuster la fréquence correspondante, modifier si besoin les réglages de gain et de symétrie.

### **3.3. Essais de l'ensemble et mesure du ROS**

L'ensemble = émetteur / splitter / adaptateurs d'impédances / antennes

On insère le ROSmètre en série entre la sortie de l'émetteur et l'entrée du splitter. Mesures effectuées:

On règle la tension d'alimentation de l'émetteur précisément sur 12 Volts. Le courant consommé par l'émetteur (mesuré dans le fil positif de l'alimentation) est de 230mA, ce qui se révèle être un peu élevé par rapport à ce que l'alimentation de la fusée peut fournir, et également par rapport aux caractéristiques initiales de l'émetteur (150mA). Par contre, certains émetteurs Toucan de l'ANSTJ (Planète Sciences) se révèlent un peu moins gourmands en énergie.

Le TOSmètre donne les indications suivantes:

Puissance émise: 250mW, ce qui est tout à fait dans la fourchette donnée par les caractéristiques techniques du Toucan.

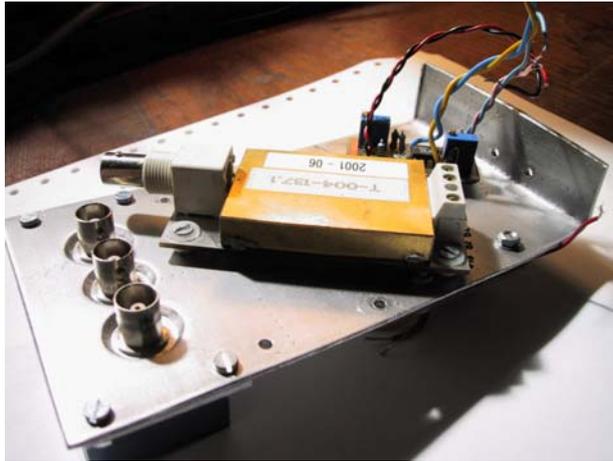
SWR (ou ROS)= 1.4 soit 5% environ. Le tableau des valeurs courantes indique donc que le Return Loss est compris entre 12.7 et 15.6 dB, ce qui n'est pas si mal.

Le second essai consiste à supprimer les adaptateurs LC placés aux sorties du splitter. Une nouvelle mesure du ROS dans les mêmes conditions montre que ce dernier augmente légèrement, en restant néanmoins acceptable. Cela provient du fait que le rapport d'impédances 50/36 n'est pas si grand que cela (= 1.389)...

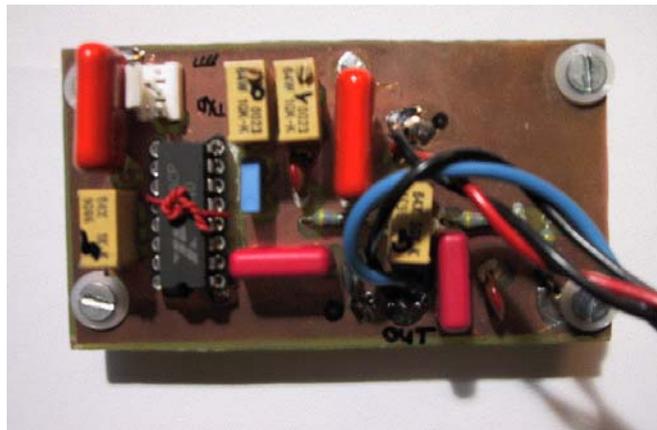
On choisira de ne pas utiliser les adaptateurs LC pour des raisons de facilité de montage des antennes. En effet, il aurait été assez délicat de créer un circuit imprimé supportant les composants nécessaires (l'époxy n'a pas de bonnes propriétés mécaniques en hautes fréquences), et un câblage "en l'air" directement à la base des antennes est très peu fiable et ne résisterait pas au décollage.

## **4. Photos. Localisation des commandes**

### **4.1. Emetteur et splitter**



## 4.2. Commandes du modulateur



Cette photographie permet de localiser les principales commandes du modulateur. De gauche à droite : le potentiomètre « S » correspond au réglage de la symétrie du signal, les potentiomètres « 0 » et « 1 » permettent le réglage des fréquences de modulation. Le dernier potentiomètre (sous les fils !) permet d'ajuster le gain global du montage.

## 5. Conclusion

L'expérience du CLES - FACIL dans ce domaine devra permettre à l'avenir une mise en œuvre simple et rapide de l'ensemble modulateur/emetteur/antennes.

L'augmentation du débit pourra être expérimentée en utilisant deux modulateurs travaillant sur quatre fréquences distinctes, un autre type d'antenne pourra être expérimenté.

A plus long terme, on pourra envisager l'expérimentation de transmission (analogique) d'images, sons...

## **6. Bibliographie**

- Les antennes, D. Benssoussan, Ed. Dunod (1980).
- Manuel pratique de CEM, Michel Mardiguan, Ed. Prâna Recherche et développement (Octobre 1992).
- Les antennes, Robert Brault, Ed. ETSF. (Octobre 1993)

Documents au format PDF disponibles sur le site ANSTJ.org :

- Emetteur Toucan, Mars 1993.
- Télémessure numérique, Mars 1993.
- Principe du codage par multiplexage en fréquence, Octobre 1999.
- Emetteur KIWI MILLENIUM, Mars 2002,

Datasheets de composants:

XR 2206,  
MC 4558,

Documents personnels (extraits de Powerpoint) distribués lors du stage Telemessure de Fevrier 2002 :

- modulateur FSK,
- télémessure numerique, présentation générale d'une chaîne de mesure,
- Les antennes,
- Notions de CEM, mise en oeuvre des circuits électroniques.

Site Internet à visiter: <http://perso.wanadoo.fr/f6crp/elec/index.htm>

## **7. Liste des datasheets en annexe**

La version électronique de ce rapport inclue les datasheets en fin de rapport mais pas la version papier. Par contre, les datasheets sous forme électronique « .pdf » sont sur le CD intitulé DOC ELA 2002.

Composants :

- **Amplificateur** : MC4558.pdf
- **Modulateur** : xr-2206.pdf

Notices techniques :

- **Emetteur TOUCAN** : emetteur.pdf
- **Emetteur KIWI-Millennium (KIMI)** : note\_kiwi\_millennium.pdf
- **Télémessure en générale** : telemessure\_numerique.pdf



**CLES-FACIL**



<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Bogdan CHEREJI

[bogdam-c1@hotmail.com](mailto:bogdam-c1@hotmail.com)

**Projet : ELA**

21 avril 2002

Version 1.0

***Air temperature and velocity measure  
system (VO)***

## **1. Introduction**

My purpose in this project is to realize a system for measuring the speed of air and, if it is possible, its temperature. The practical activity was done in the CLES-FACIL club or in my room in the hall.

Some introductory data :

For measuring air velocity mainly those types of measure system are used : Using a wind-generator (a wind turbine connected to a generator). The rotational speed, and, so, the output voltage is dependent to the wind speed.

Using Pitot tube and pressure electrical transducer. Due to the specific construction of the Pitot tube, the output pressure is directly dependent of the air speed and, using an pressure traductor, you are able to find a law for speed-output voltage dependence.

Using the cooling effect of the air. Because this sound more interesting, I chose this option.

Theoretically, we know that for a specific object, the heat disipated in air is a function both on temperature difference and air speed. The function is, unfortunately, very unliniar and so it is very hard to obtain a liniar dependence output voltage – speed in a large scale of air speeds.

More detailed, mainly there are used two ways for constructing that :

Constant current : The basic idea is to measure temperature of an temperature-dependent resistor, which is heated by a constant current. Due to the fact that the heat is (approximately) dependent only to the current, you are able to determine the wind speed knowing the heat transfered, or the current, and the air temperature. This method has significant drawback in the given application, because of the high scale of speeds : at very high speed, the temperature difference could be very small and very hard to determine. In order to compensate this, you might think to exceed the current, but, if the air speed, and, thus, the heat exchange dropps suddenly, the temperature – dependent element could be destroyed by the overtemperature.

Constant temperature : The idea is to maintain a constant difference between air temperature and the temperature – dependent dissipative element. This method also has big drawback in using high speeds, because the electrical energy needed to maintain a constant temperature difference could be very high.

Other method is to use a combination of those methodes : for example to use a constant temperature difference for low speed and to use constant current for the high values of the speed. Because o the insufficient time, I was not able to implement this method.

## **2. Choosing the temperature – dependent element**

Because the properties of that element determines most of the system behaviour, this is a very delicate problem. Here are some criterion for a proper choice of the element :

Very high mecanical resistance : Due to the fact that this element will be mounted in the top of the rocket, some important mechanical strees could appear.

A high variation between electrical resistance and temperature. This is an important condition because it is essential to be able to measure its exact temperature.

An internal power dissipation as high as it can be and a very low thermal resistance between active area, defined as the area where the heating effect appears, and the environment

A good thermal dynamic behaviour : the thermal time constant as low as it can be, which means a good caloric capacity / thermal resistance rate.

From an electrical point of view, it is equal if the resistance or something else varies.

So, here are some examples of temperature – dependent elements :

- A wire of nicheline or other metal whose resistivity varies with temperature.
- A silicon rectifier diode, which has an approximate  $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$  voltage-temperature gradient.
- A thermistor, which is a special type of resistor, its resistance depends significantly of temperature, some negative temperature coefficient and some positive coefficient.
- A special device designed for that purpose.

By the way, there are special transducers for my purpose, but are very expensive (a few hundreds to few thousands dollars), very fragile and have also a limited air speed input. Commercial transducers use a very thin metal film disposed on a surface as temperature – dependent elements. Due to delicate construction, the imposed environment conditions are very drastic. Most of them use constant temperature difference as working principle.

Let us analyze the other types of temperature – dependent element . A nicheline wire has a very good thermal dynamic behaviour, a zero thermal resistance between the active area and the environment and, so, the power dissipation is limited only by the melting temperature of the wire. Unfortunately, the weak dependence between temperature and electrical resistance and the fragility is a very serious drawback. A silicon rectifier diode has a poor thermal dynamics, due to the high thermal resistance, and a low maximal power dissipation. Anyway, it is not as fragile as a thin metal wire. Finally, the thermistor has a very good resistance – temperature dependence, a medium power dissipation and also a high mechanical resistance.

Even if a positive thermal coefficient could be virtually more advantageous for the application, I chose a negative thermal coefficient, because in the late years positive thermal coefficient thermistors –CTP- are getting to be rare, almost extinct. The negative coefficient thermistor –NTC- is going in the same direction, but are still available in some stores.

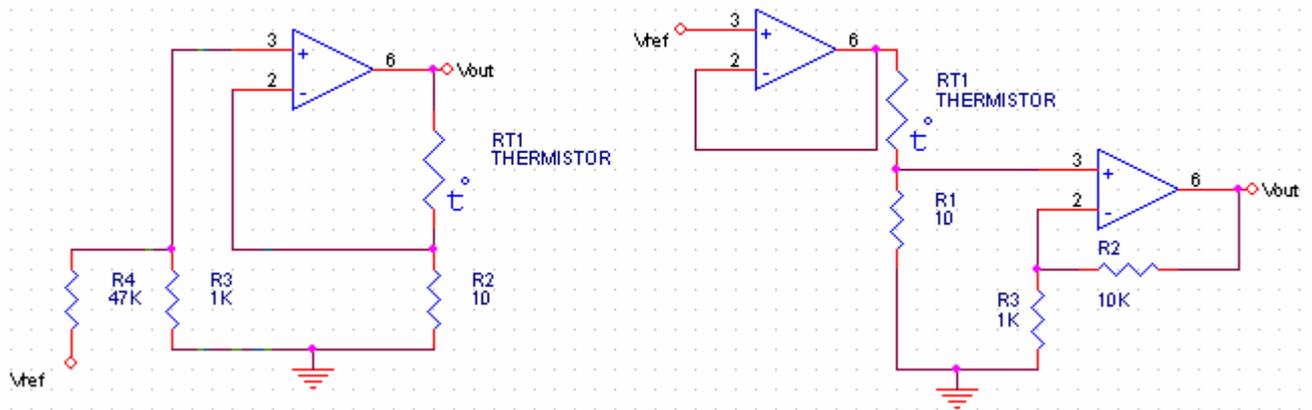
### **3. two methods for measure**

As described in the introductory chapter, there are two methods for measure : constant current and constant temperature. Because the constant current has the displayed drawbacks and also requires a very significant non-linear compensations, even if the resistance – temperature relation is a linear one. If the relation is a unlinear one, we are in very-very big trouble.

So, the only logical choice is the constant temperature - difference method, using a NTC. In order to maintain an imposed temperature, it is clear that the circuit must impose a given resistance, and the only way an electronic circuit could vary the temperature is by varying the dissipated power. In order to be able to measure the resistance, there are some specific techniques. Here are the most important, with relevance for the application :

Constant voltage. By applying constant voltage on a resistor, you are able to determine the value of electrical resistance, knowing the exact current. Constant current. The resistance is equal to voltage / constant current.

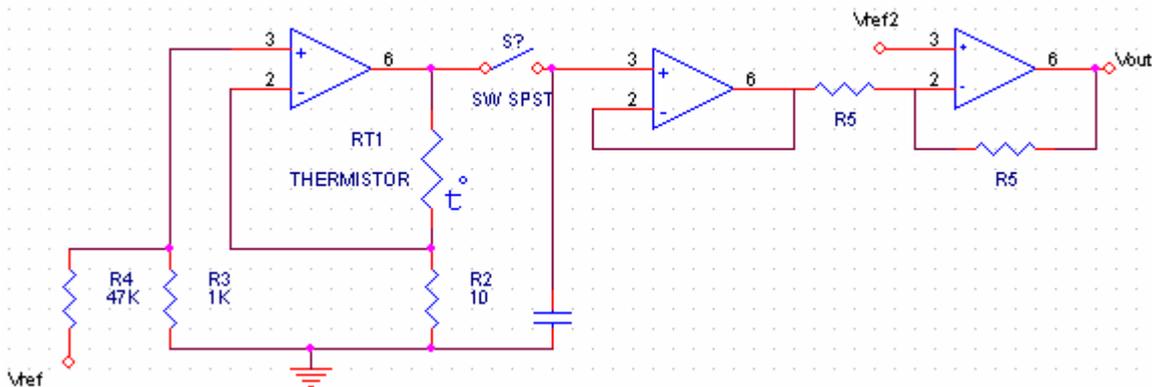
Here are some schematics with circuits to determine the resistance, using the two



exposed ways.

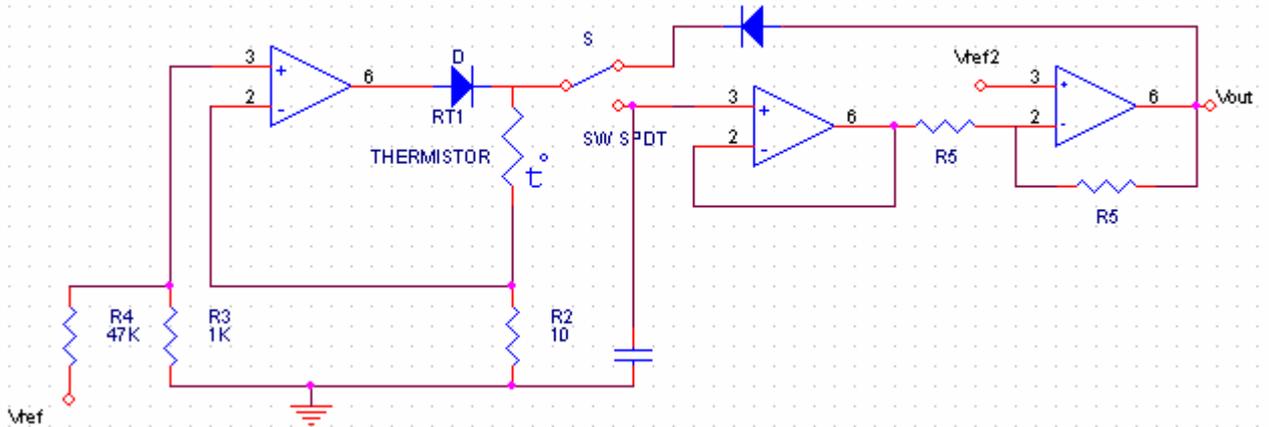
It is obvious that, in order to obtain a direct relation resistance – voltage, the first schematics has been chosen, meaning that the constant current method will be used to perform the reading of resistance. If the current is constant, the voltage is directly dependent of the resistance.

On the other hand, you must apply the error voltage (or current) in order to induce the heating. So, concurrent, you have to measure the temperature and perform an action to modify the measured temperature. Because it could be very difficult to do this at the same time, a trick will be used : from a period of time, some part of it will be dedicated to measure the temperature and some to regulate it. In order to this, we need to sample the voltage dropout on the thermistor at exact time when only the measure current goes thru it. Another circuit must retain the value and another must amplify that difference between the imposed value and the practical value of voltage dropout. This circuit should



look like this :

In stead, a very simplified version can be used. The buffer voltage follower and the error-voltage amplifier can be simplified to only one OA. At this time, the circuit for compensating temperature should be complete.

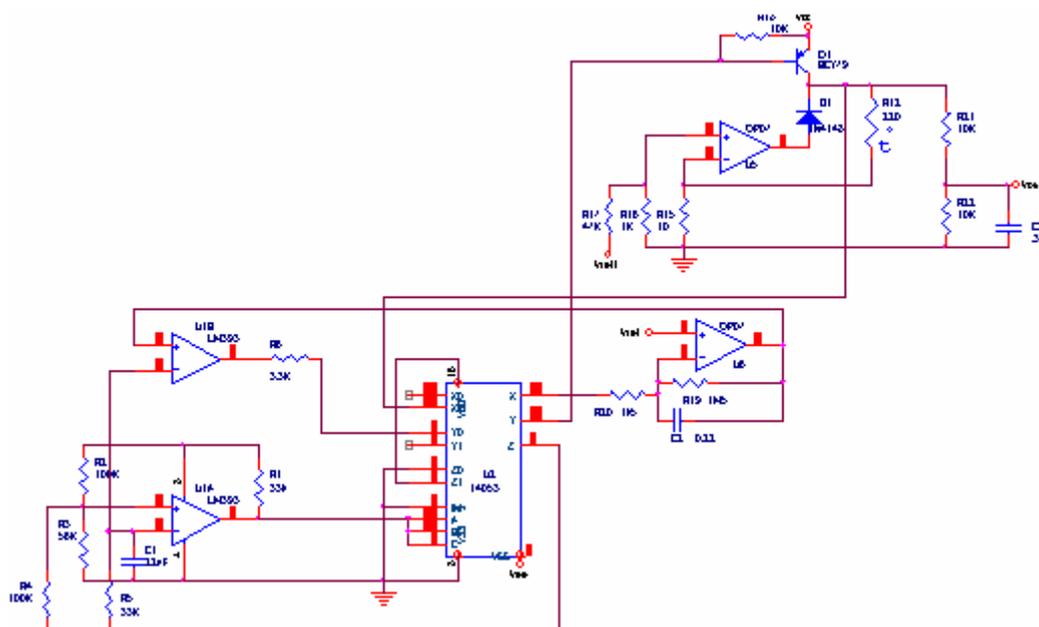


The role of the switch S is to make sure that the phase already mentioned do not mix. When the position like in the figure, the error voltage is heating the NTC. When the switch is in the other position, it is providing sample voltage to the error amplifier. Those two diodes are protecting the OA-s.

At this point, we have obtained a schematics for controlling the temperature. The imposed temperature is controlled via Vref2, and the heat necessary to keep the thermistor at the right temperature is proportional to the voltage at output Vout.

#### 4. the drawback dans the solution

But, the schematics has a drawback : for near-zero speed, the efficiency is very low. By the way, because of it's application, the design must take into account the power consumption. If you use a much higher swching frequency, which coresponds to a period negligable compared to the termical time constant o the thermistor,it can be used the



next trick : a PWM heating supply. Here are the schematics :

As the figure show, the schematics is composed of the next modules:

Module Measure current supply. An very precise current generator is realized using U3, an OP07 and his additional components. Due to specific configuration chosen, and the very low input currents for OP07, the current which goes thru RT1 is the same as the current that goes thru R7 parallel R8. Because the gain of U3 is very high, we can approximate that the voltages in the inverting input and the noninverting input of the U3 are equal. So, the voltage dropout on R9 is equal to the voltage dropout on R8. This gives the final relation between the output voltage U1 and RT1, considering  $V_{ref+}$  as stable. The role of the R8 is to adjust the voltage gain, in the case that the resistance of thermistors at the same temperature are not equal.

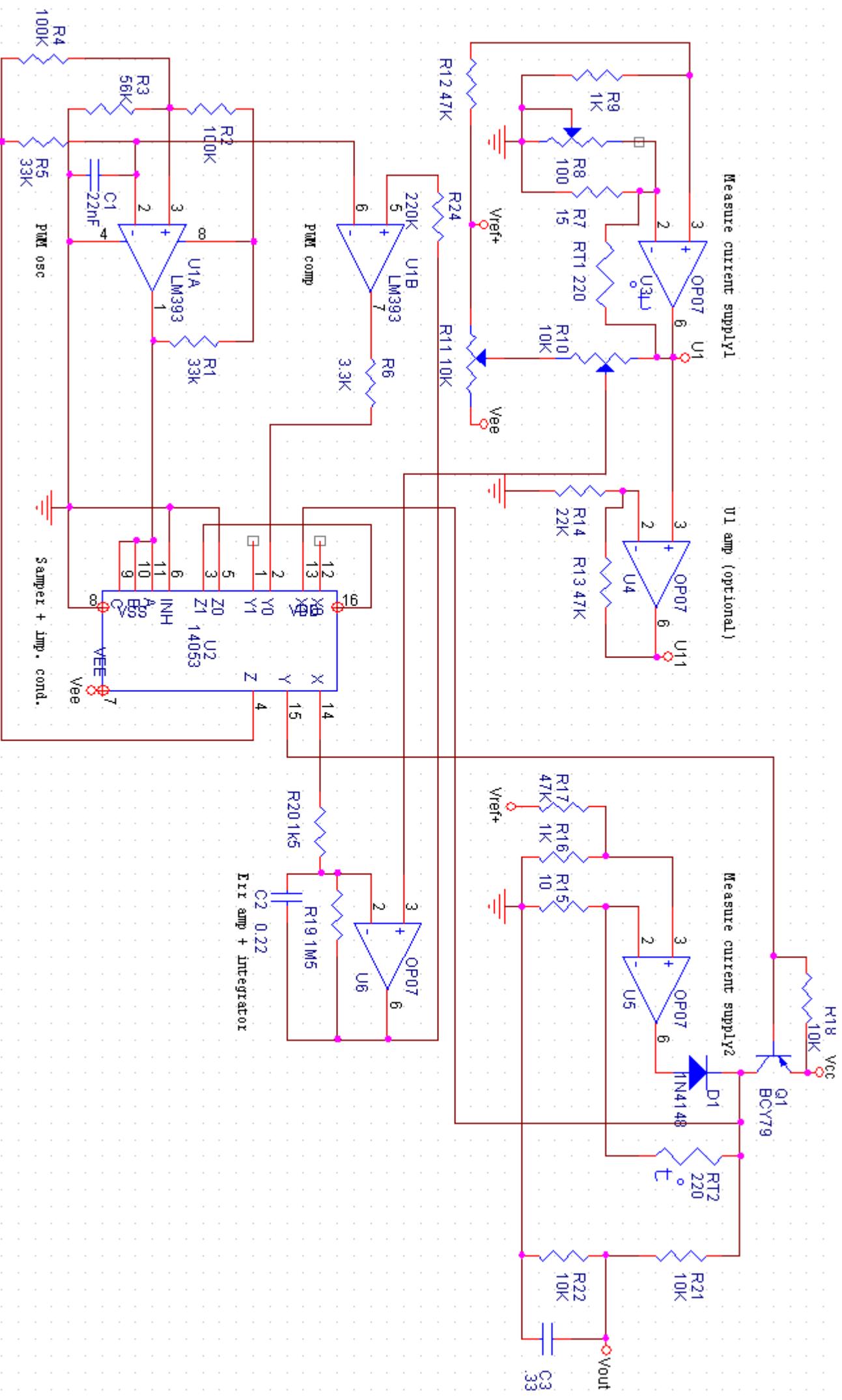
The next module is the U1 amplifier, which is a very simple one, his only purpose is to amplify the U1 voltage to a proper level, suitable for a better accuracy of acquisition, which impose a voltage between 0 to 5 Volts for all analog outputs. His gain is fixed by the ratio  $(R13 + R14) / R14$ . For a fixed R14 of 22K, the resulting value of R13 is 47K, for a fixed gain of approx 3X.

The PWM oscillator module is composed by U1A, half of the double general purpose comparator LM393. It also is a very common schematic. Specific for the schematics is the fact that it uses Z commutator of the U2, MC14503, as buffer. By using this, the oscillator gets a plus of accuracy, because the output levels of the comparator have direct influence on the working points of the oscillator. With the given values, the oscillator has a duty cycle of approximately 30%. Maintaining a constant working points is not essential for the chosen schematics, but it is better to work with known things. Using the indicated component values, the theoretically obtained working points of the oscillators are very close to the practical obtained ones: frequency of approx. 1.1KHz, duty cycle of 30%,  $U_{Cmin}=2.66V$  (practically 2.75V), and  $U_{Cmax}=5.28V$ , that match exactly the practical obtained voltage.

The voltage obtained on the inverting input of the comparator U1A is applied on the inverting input of the comparator U1B. At the noninverting input, the error voltage is applied via R24. The purpose of R24 is to protect the noninverting input of U1B from negative voltages. It should be mentioned that no negative voltage is applied to any of the inputs, under normal conditions. If the amplified error voltage varies in the 2.5 to 5.5 volts, a full scale output duty cycle is obtained at the output of the U1B, from 0 to 100%. Between output duty cycle of the comparator and the applied input voltage, amplified error voltage, exist a pseudo-linear dependence. The small nonlinearities are caused by the fact that the voltage on C1 does not decrease in a linear fashion, but, because of the high gain chose for the error amplifier, this is not important.

The role of U2 is sampler and impulse conditioner. A part of it, X switch is used to sample the voltage dropout on thermistor RT2, when it is crossed only by the measure current. Another part of it blocks polarisation of Q1 when the circuit is in the sample mode and the last part is used for obtaining a good stability for the oscillator. The error amplifier is a simple but it is a very effective one. It is a good integrator, with the cutoff frequency of approximative 1.4KHz and also a good stable amplifier, with a gain of 1000X. Due to the fact that the switch on time of X-X1 is approx. 30%, the gain is only 300X. By doing some computations, we are now able to find the gain for the whole circuit. You can obtain an approximative 0 to 6 volts on the output (integrated) with a 2.5 to 5.5 volts on the U1B+ input and, knowing the gain of the error amp, we can estimate a total gain of about 500X.

The circuit for the polarisation of Q1 is elementary, and so is the output filter. You just need to know the exact cutoff freq for R22, R21 and C3 circuit. The circuit that is able to make some big problems is that that imposes the temperature difference and, at first look it is quite simple : two potentiometers R10 and R11. Perfect trimms cannot be done except for a relative small scale of temperatures, and only knowing exactly the temperature dependencies for both of the thermistors.





<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Bogdan CHEREJI

[bogdam-c1@hotmail.com](mailto:bogdam-c1@hotmail.com)

Traduction : Olivier SANNIER

[Olivier.sannier@insa-lyon.fr](mailto:Olivier.sannier@insa-lyon.fr)

**Projet : ELA**

21 avril 2002

Version 1.0

***Air temperature and velocity measure  
system (VF)***

# Système de mesure de la vitesse et de la température de l'air

## **1. Introduction**

Mon but dans ce projet est de réaliser un système pour mesurer la vitesse de l'air et, si possible, sa température. La partie pratique a été effectuée au club CLES-FACIL ou dans ma chambre.

Quelques données pour introduire :

Pour mesurer la vitesse de l'air, ces trois systèmes sont majoritairement utilisés :

Utiliser un générateur à vent (une turbine à vent connectée à un générateur). La vitesse de rotation et donc la tension de sortie dépendent de la vitesse du vent

Utiliser un tube de Pitot et un convertisseur pression-tension. A cause de la conception du tube de Pitot, la pression de sortie dépend directement de la vitesse du vent et en utilisant un capteur de pression on peut trouver une loi de conversion tension vers vitesse

Utiliser l'effet de refroidissement de l'air. Parce que ça a l'air plus intéressant, c'est l'option que j'ai choisie.

D'un point de vue théorique, nous savons que pour un objet spécifique, la chaleur dissipée dans l'air est fonction de la différence de température et de la vitesse de l'air. Cette fonction, malheureusement n'est pas du tout linéaire et donc, il est très difficile d'obtenir un voltage dépendant de manière linéaire de la vitesse dans une large gamme de vitesse de l'air.

Dans le détail, il y a deux principales méthodes pour mettre ce principe en oeuvre :

Courant constant : l'idée de base est de mesurer la température d'une résistance dépendante de la température (CTN ou CTP) qui est chauffée par un courant constant. Comme la température dépend (à peu près) du courant fourni, on peut déterminer la vitesse de l'air en connaissant la chaleur transférée, ou le courant, et la température de l'air. Cette méthode a un énorme inconvénient pour notre application, à cause de l'amplitude de la gamme de vitesse : A très haute vitesse, la différence de température pourrait être très petite et très difficile à déterminer. Pour corriger cela, on pourrait penser à augmenter le courant fourni mais si la vitesse de l'air et donc l'échange de chaleur chute brusquement l'élément dépendant de la température pourrait être détruit par un échauffement excessif.

Température constante : l'idée est de maintenir une différence constante entre la température de l'air et l'élément dissipant la température Cette méthode a aussi un inconvénient majeur dans les hautes vitesses car l'énergie nécessaire au maintien de la température constante pourrait être très élevée.

Une autre méthode serait d'utiliser une combinaison des deux méthodes précédentes : par exemple, utiliser la méthode différence de température constante pour les petites vitesses et le courant constant pour les grandes vitesses. Par manque de temps, je n'ai pas pu mettre cette méthode en oeuvre.

## **2. Choix de l'élément dépendant de la température**

Comme les propriétés de cet élément déterminant l'essentiel du comportement du système, son choix ne peut pas se faire à la légère. Voici quelques critères pour le choix du bon élément :

Haute résistance mécanique : Puisque cet élément sera monté dans le cône de la fusée, d'importantes contraintes mécaniques pourraient apparaître.

Une grande variation de la résistance électrique en fonction de la température . C'est un point important car il est essentiel de mesurer sa température exacte.

Une dissipation interne aussi élevée que possible et une résistance thermique aussi faible que possible dans la zone active, zone définie comme étant la zone entre l'environnement et l'emplacement où l'effet d'échauffement apparaît.

Un bon comportement thermique dans le temps : la constante de temps thermique doit être aussi petite que possible ce qui signifie un bon rapport capacité calorifique/résistance thermique

D'un point de vue électrique peu importe que ce soit la résistance ou quelque chose d'autre qui varie.

Voici donc quelques exemples d'éléments qui varient en température :

Un fil de nicheline ou d'un autre métal dont la résistivité varie avec la température

Une diode au silicium qui a un gradient d'environ  $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ .

Un thermistor, un type spécial de résistance, dont la résistance dépend significativement de la température, certaines avec un coefficient négatif d'autre avec un coefficient positif

Un composant spécialement créé pour ça.

Sur le plan pratique, il existe des convertisseurs prévus pour ce type d'utilisation, mais ils sont très cher (de quelques centaines à quelques milliers d'euros), très fragiles et limités en terme de vitesse de l'air en entrée.

Ces convertisseurs commerciaux utilisent un film de métal très fin appliqué sur une surface plane en tant qu'élément variant en température. A cause de cette construction fragile, les conditions d'utilisation sont très drastiques. La plupart utilisent le principe de différence de température constante.

Analysons maintenant les autres types d'élément dépendant de la température. Un fil de nicheline a un très bon comportement thermique, une résistance thermique nulle entre la zone active et l'environnement et, donc, la dissipation de puissance est seulement limitée par la température de rupture du fil. Malheureusement, la faible dépendance entre la température et la résistance électrique et la fragilité sont de sérieux inconvénients.

Une diode au silicium a une dynamique thermique ridicule, à cause de la résistance thermique, et une dissipation maximale faible mais est bien plus résistante que le fil de métal.

Enfin, le thermistor a une bonne relation résistance-température, une dissipation moyenne et aussi une grande résistance mécanique.

Même si un coefficient de température positif serait sûrement plus avantageux pour notre application, j'ai choisi un coefficient de température négative, car ces dernières années les thermistors à coefficient de température positif (CTP) sont de plus en plus rares, presque introuvables. Les thermistors à coefficient de température négative (CTN) suivent la même évolution mais sont toujours disponibles.

### **3. Deux méthodes de mesure**

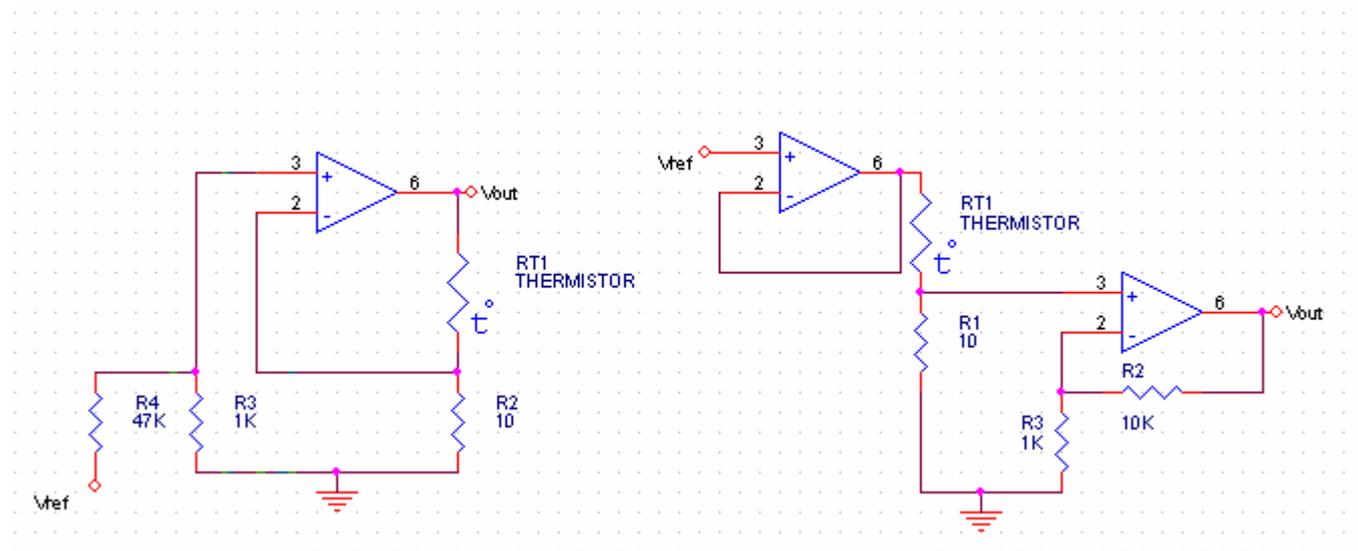
Comme décrit dans l'introduction, il y a deux méthodes de mesure : courant constant ou température constante. La méthode à courant constant a déjà les inconvénients cités et nécessite aussi une compensation non linéaire non négligeable, même si la relation température-résistance est linéaire. Si ce n'est pas le cas, on est face à un très très gros problème.

Donc le seul choix logique est la méthode de température constante par différence, en utilisant une CTN. Pour maintenir la température imposée, il est clair que le circuit doit imposer une résistance donnée, ce qui fait que la seule façon de faire varier la température, c'est de faire varier la puissance dissipée. Pour pouvoir mesurer la résistance, il existe des techniques spécifiques. Voici les plus importantes ainsi que leur intérêt pour notre application :

Tension constante. En appliquant une tension constante à une résistance, on peut mesurer la valeur de la résistance électrique, en connaissant exactement le courant qui la traverse

Courant constant. La résistance est égale à la tension divisée par le courant constant.

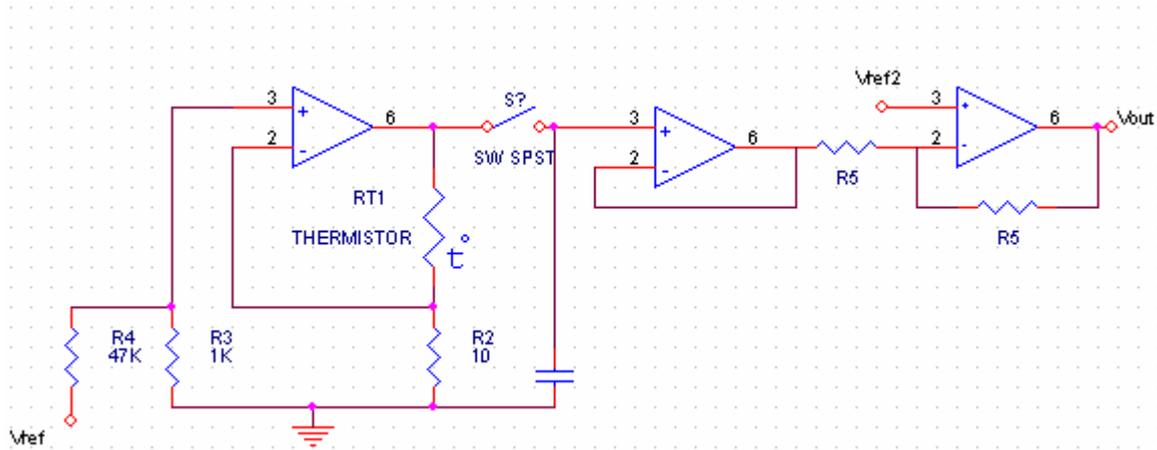
Voici quelques schémas de circuits utilisables pour mesurer la résistance en employant les deux méthodes exposées.



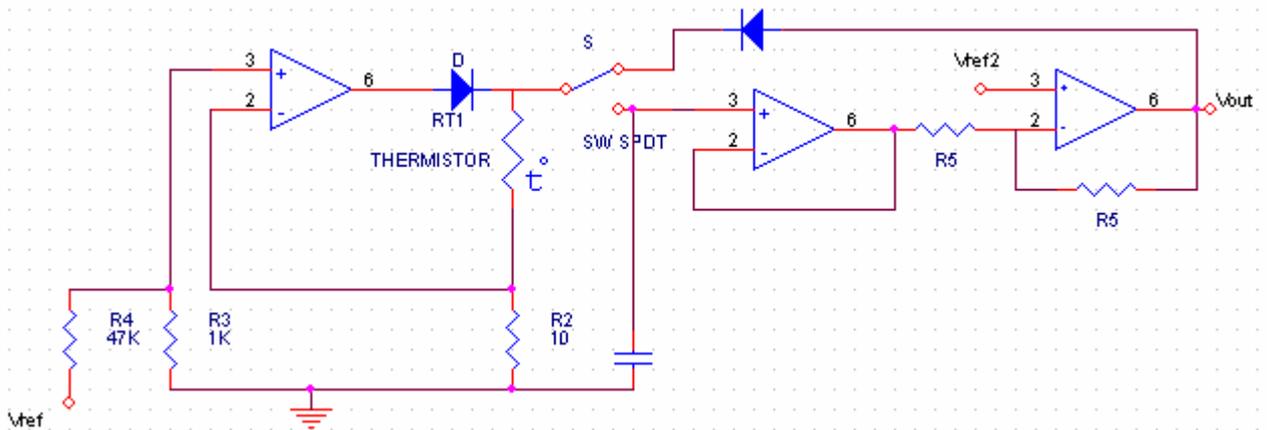
Il est clair que, pour obtenir une relation directe entre la résistance et la tension, le premier schéma a été choisi, ce qui signifie que la méthode de courant constant sera utilisée pour lire la valeur de la résistance. Si le courant est constant, le voltage dépend directement de la résistance.

D'un autre côté, il faut appliquer la tension (ou le courant) d'erreur pour induire l'échauffement. Donc, simultanément, il faut mesurer la température et effectuer une action pour modifier la température mesurée. Comme il semble très difficile de faire les deux en même temps, une astuce sera utilisée : Pendant une période donnée le circuit sera dédié à la mesure et pendant une autre période, il sera utilisé pour la réguler.

Pour cela, il faut échantillonner la baisse de tension aux bornes du thermistor au moment exact où seul le courant de mesure le traverse. Un autre circuit doit alors retenir la valeur de cette tension et un autre doit amplifier la différence entre la valeur lue et la valeur imposée. Le circuit devrait alors ressembler à ça :



En fait, une version simplifiée peut être utilisée. Le tampon de suivi de tension et l'amplificateur d'erreur peuvent être regroupés sur un seul AOP. A ce moment là, le circuit de compensation de température devrait être complet.

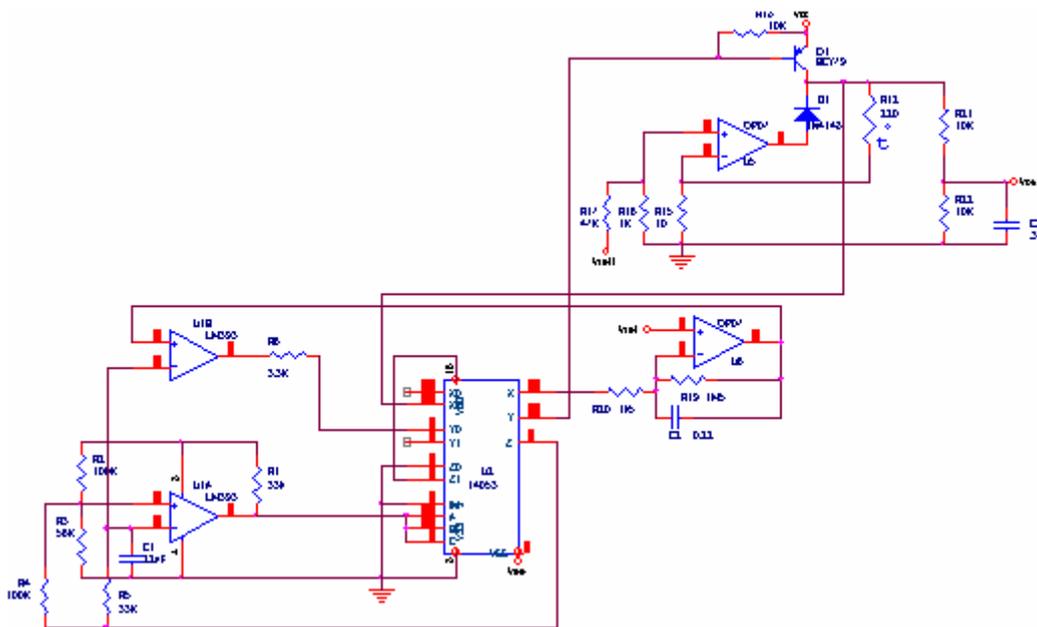


Le rôle de l'inverseur S est de s'assurer que les phases expliquées plus haut ne se mélangent pas. Quand il est dans la position de la figure, la tension d'erreur chauffe la CTN. Quand il est dans l'autre position, il fournit le voltage d'échantillonnage à l'amplificateur d'erreur. Les deux diodes sont là pour protéger les AOPs.

A ce point du raisonnement, nous avons le montage pour contrôler la température. La température imposée est contrôlée par  $V_{ref2}$  et la chaleur nécessaire pour garder la CTN à la bonne température est proportionnelle à la tension qui sort sur  $V_{out}$ .

#### **4. Inconvenient et solution**

Mais ce montage a un inconvenient : pour des vitesses presque nulles, l'efficacité est presque nulle. De plus, à cause de l'application, la conception doit prendre en compte la consommation de courant. Si on utilise une fréquence de coupure plus grande, ce qui correspond à une période négligeable par rapport à la constante de temps thermique de la CTN, on peut utiliser l'astuce suivante : un générateur de chaleur à modulation de largeur d'impulsion (PWM). Voici le schéma :



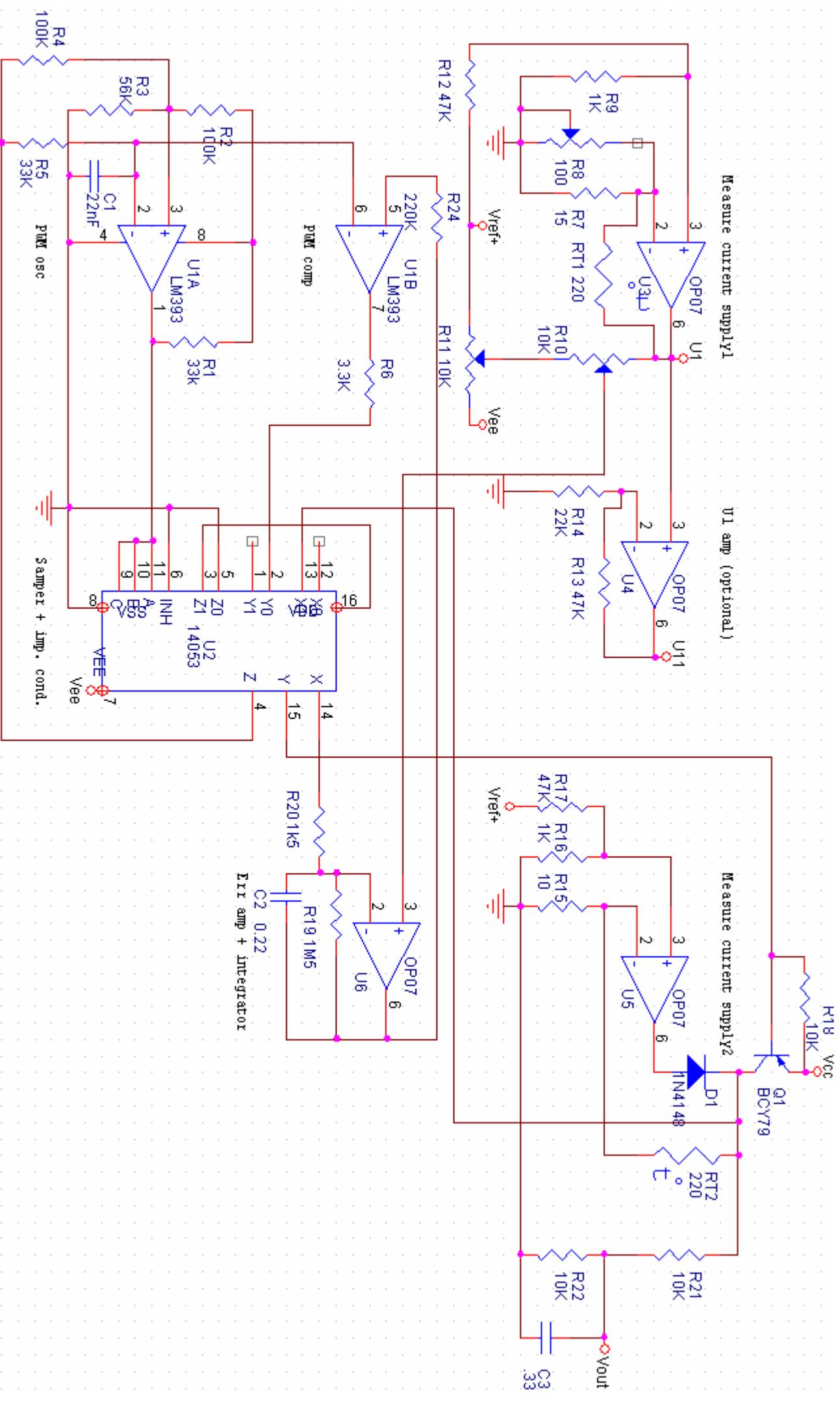
Comme la figure le montre, le montage est composé des modules suivants :

- Un module de génération de courant de mesure. Un générateur de courant très précis est réalisé avec U3, un OP07 et ses composants associés. À cause de la configuration particulière choisie, et des courants d'entrée très faibles pour l'OP07, le courant qui passe dans RT1 est le même qui passe dans R7 en parallèle avec R8. Comme le gain de U3 est très élevé, on peut estimer que les tensions dans les entrées inverseuse et non inverseuse de U3 sont égales. Donc la tension aux bornes de R9 est égale à la tension aux bornes de R8. Ce qui donne la relation finale entre la tension de sortie et RT1, en considérant Vref+ stable. Le rôle de R8 est d'ajuster le gain en tension, dans le cas où les deux CTN n'aurait pas la même résistance à la même température
- Un module d'amplification autour d'U1 qui est un montage très simple dont le seul but est d'amplifier la tension appliquée à un niveau adéquat, adapté à la meilleure précision d'acquisition, ce qui impose une tension entre 0 et 5V pour toutes les entrées analogiques. Son gain est fixé par le rapport  $(R13 + R14) / R14$ . Pour une valeur donnée de 22K pour R14, la valeur résultante de R13 est de 47k, pour un gain fixe d'environ 3x.
- L'oscillateur PWM est composé de U1A une moitié de double comparateur LM393. Il utilise lui aussi un schéma classique. Un détail spécifique est le fait qu'il utilise le commutateur Z de U2, un MC14503, en tant que buffer. En faisant cela, l'oscillateur gagne en précision, car les niveaux de sortie du comparateur ont une influence directe sur les points de fonctionnement de l'oscillateur. Avec les valeurs données, l'oscillateur a un cycle de travail d'environ 30%. Maintenir des points de travail constants n'est pas essentiel pour le montage choisi, mais il est plus simple de travailler avec des choses connues. En utilisant les valeurs indiquées sur les composants, les points de travail théoriques de l'oscillateur sont très proches de ceux obtenus en pratique : fréquence d'environ 1.1 kHz, cycle de travail de 30%,  $U_{Cmin} = 2.66V$  (2.75V en pratique) et  $U_{Cmax} = 5.28V$  (exactement le voltage trouvé en pratique)
- La tension obtenue sur l'entrée inverseuse du comparateur U1A est appliquée à l'entrée inverseuse du comparateur U1B. Sur l'entrée non inverseuse, la tension d'erreur est appliquée à travers R24. Le rôle de R24 est de protéger l'entrée non inverseuse de U1B des tensions négatives. Il faut mentionner qu'aucune tension négative n'est appliquée sur aucune des entrées, dans des conditions normales. Si la tension d'erreur amplifiée varie entre 2.5 et 5.5V, un cycle de travail couvrant

toute l'échelle possible est obtenu sur la sortie de U1B, de 0 à 100%. Entre le cycle de travail et la tension d'erreur amplifiée il existe une relation pseudo linéaire. Les petites non-linéarités sont induites par le fait que la tension aux bornes de C1 ne diminue pas de manière linéaire, mais, à cause du grand gain choisi pour l'amplificateur d'erreur, ce n'est pas important.

- Le rôle de U2 est d'échantillonner et conditionner les impulsions. Une partie, le commutateur X, est utilisée pour échantillonner la tension aux bornes de RT2, seulement quand elle est traversée par le courant de mesure. Une autre partie de U2 assure la saturation de Q1 quand le circuit est en cours de d'échantillonnage. La dernière partie est utilisée pour obtenir une bonne stabilité de l'oscillateur.
- L'amplificateur d'erreur est très efficace. C'est un bon intégrateur, avec une fréquence de coupure approximative de 1.4kHz et un amplificateur stable, avec un gain de 1000. Comme le cycle de travail de X-X1 est d'environ 30%, le gain réel est d'environ 300. en faisant quelques calculs, on peut alors trouver le gain total pour le circuit. On peut obtenir approximativement entre 0 et 6V sur la sortie (intégrée) avec de 2.5 à 5.5V sur l'entrée non inverseuse de U1B, et, en connaissant le gain de l'amplificateur d'erreur, on peut estimer le gain total à environ 500
- De même que le circuit de polarisation de Q1 est simple, le filtre de sortie l'est aussi. Il faut juste connaître précisément la fréquence de coupure pour le circuit R22, R21, C3.

Le circuit qui peut poser de gros problèmes est celui qui impose la différence de température et pour cela, il faut d'abord regarder du côté de R10 et R11. De bons déclenchements ne peuvent être faits que pour de petites échelles de température, en connaissant exactement la relation en température des deux CTN.



I-



<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Olivier Bompis

[olivier.bompis@insa-lyon.fr](mailto:olivier.bompis@insa-lyon.fr)

**Projet : ELA**

21 avril 2002  
Version 1.0

## ***Alimentations à Découpage***

**Attention :** Ces alimentations n'ont pas été embarquées dans la fusée pour deux raisons : elles étaient sous-dimensionnées par rapport à notre consommation (facteur 10) et la qualité des tensions qu'elles débitaient étaient très limitée (beaucoup de bruit).

La solution spatiale (qui a volée) a été de remplacer les alimentations à découpage par des régulateurs et d'ajouter des piles pour augmenter l'autonomie. Cette solution pas très propre du tout est pourtant la seule qu'ils nous étaient possible de faire au pied levé pendant une nuit de festival qui fut très très longue. (le sauveur qui installa les régulateur se nomme Pierre Fayer : [fayetpierre@aol.com](mailto:fayetpierre@aol.com), il a également poussé la réflexion plus avant sur les alimentations à découpage. Cette réflexion sera en partie rapportée dans le compte rendu d'expérience du CLES-FACIL pour son projet FUSEX 2003)

## **1. Introduction**

En vue d'alimenter les différentes cartes électroniques de la fusée de manière continue et sans chute de courant pendant une certaine durée d'utilisation, nous utilisons un système d'alimentation à découpage basé sur des composants Linear Technology©.

Nos alimentations sont séparées en deux cartes électroniques :

- Une carte est réservée à l'alimentation de l'émetteur en +12V, isolé pour des raisons de parasites sur les lignes, et à l'alimentation du microcontrôleur embarqué en +5V.
- Une deuxième carte se charge d'alimenter les cartes d'expériences embarquées en +12V ainsi que des amplificateurs opérationnels en +12V/-12V.

En se basant sur le système d'alimentation à découpage nous garantissons une meilleure longévité à nos batteries et une qualité d'approvisionnement en courant correcte (les cartes incluent des systèmes anti-parasite montés en sortie de ligne avec la présence d'une self de choc type VK-200 en entrée de l'émetteur).

Nous allons dans la suite décrire les circuits réalisés pour les cartes d'alimentations embarquées.

## **2. Descriptions des circuits :**

**Carte d'alimentation n°1 (+5V/+12V) : Emetteur / µContrôleur : (schéma logique sur la page suivante).**

Cette carte est divisée en deux sous-montages :

- Le premier est un montage simple destiné à abaisser simplement la tension en entrée à +5V, il ne comporte pas de système de « hachage de tension » spécifique ni de système anti-parasite qui ne se justifie pas ici. L'utilisation d'un régulateur type 78M05 nous permet donc d'obtenir une tension de sortie de +5V avec un courant d'au plus 500mA, idéal pour l'alimentation d'une carte µcontrôleur.
- Le deuxième circuit se charge de fournir une tension de sortie de +12V avec un courant max. de 1A pour alimenter l'émetteur. Ce circuit est construit autour d'un C.I. type LT1172 qui va réguler la tension d'entrée à l'aide d'un montage amplificateur (constitué d'une résistance 1K et d'une capacité 1 µF en série sur la sortie VC, d'une résistance variable de 50Ko en série avec une résistance de 1.2Ko sur FB). La résistance variable placée en pont diviseur sur la prise de tension du LT1172 (FeedBack) va ainsi nous permettre de modifier à notre guise la tension régulée en sortie (selon une plage allant de +22V à +9V) à partir d'une tension d'alimentation de +9V.

Le système de « hachage » de la tension, caractéristique principale de ce genre de montage, va être constitué d'une self de 50µH placé entre l'entrée VIN et VSW du circuit. L'association du CI avec cette self de découplage va permettre d'obtenir en sortie une tension « hachée ».

Une diode de puissance type MBR330 nous évite les retours de courants lors de l'arrêt du montage (aspect inductif de la self). Enfin un système anti-parasite (filtre passe-bande) constitué d'une self de filtrage de 10 µH et d'une capacité de 100 µF nous permet de filtrer les fréquences moyennes, (ce filtre étant insuffisant pour filtrer les hautes

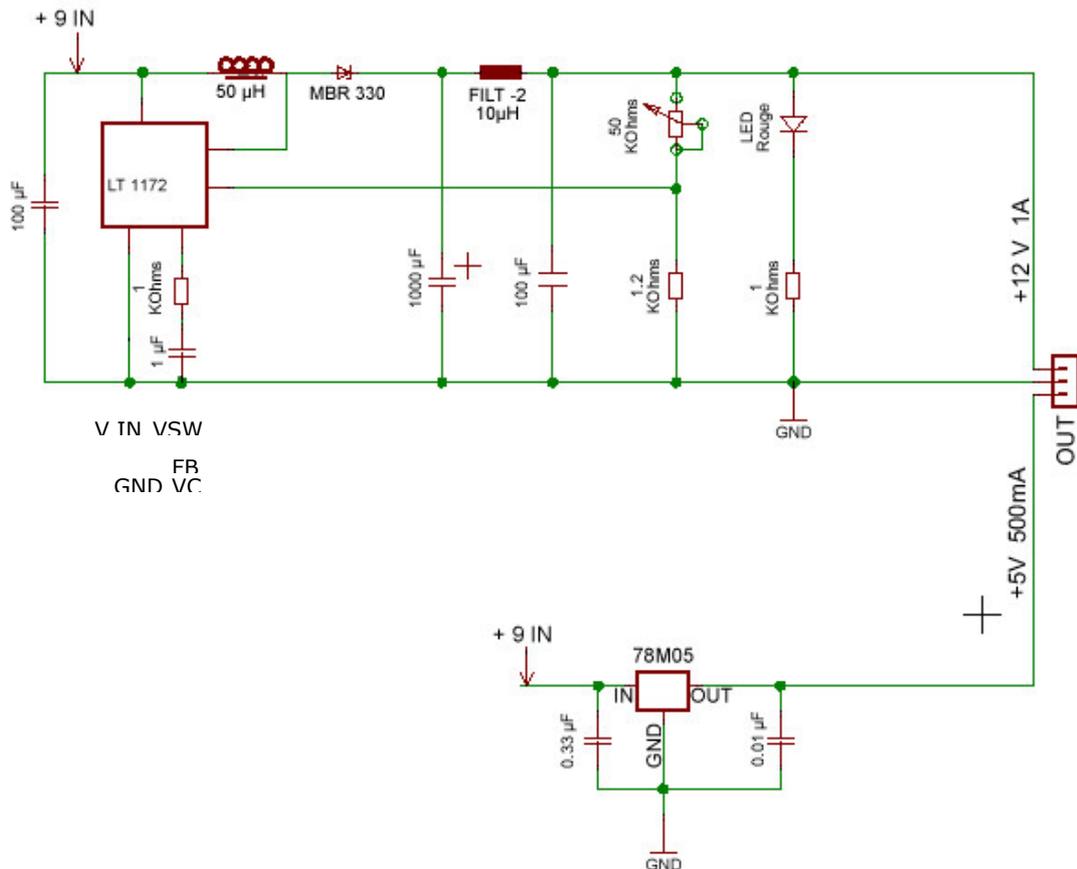
fréquences de l'émetteur, nous ajoutons une self de choc VK-200 en entrée de l'alimentation de l'émetteur).

Une visualisation du fonctionnement de la carte est prévue par la présence d'une LED rouge qui sera à terme présente sur la carte de visualisation de la fusée.

### Schéma de la carte d'alimentation n°1 (+5V/+12V) :

ELA

ALIMENTATION DECOUPAGE +5V +12V



### Carte d'alimentation n°2 (+12V/-12V) : Capteurs / Ampli-OP : (schéma logique sur la page suivante).

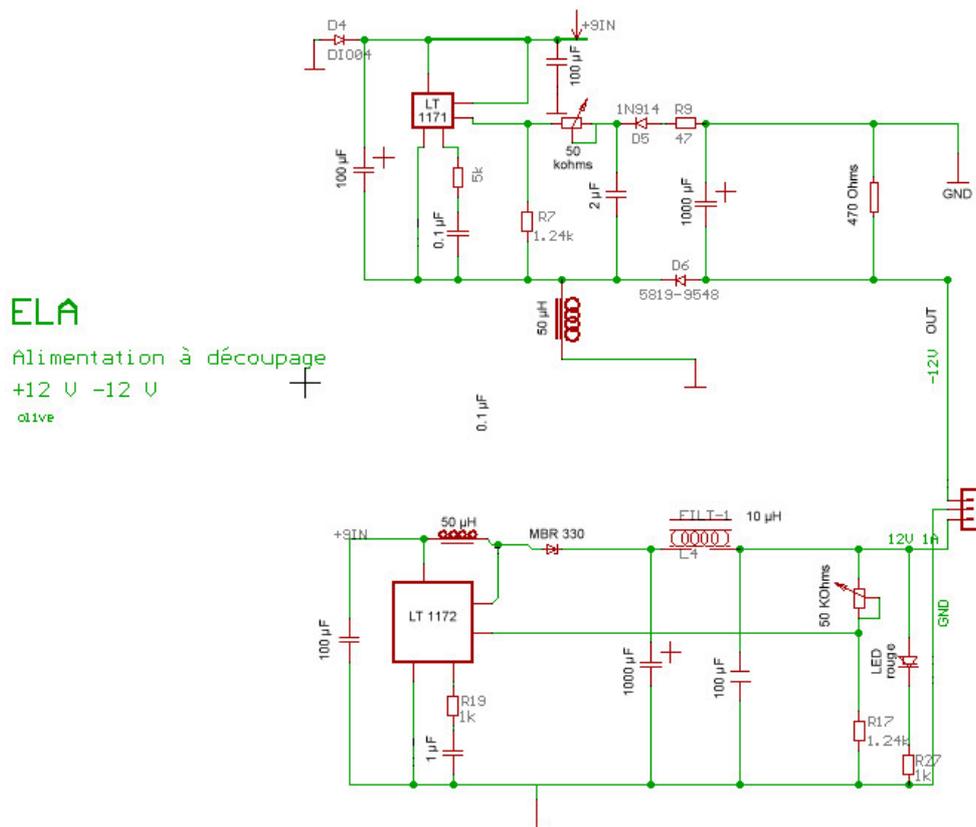
La carte est divisée en deux montages correspondants aux deux sorties de l'alimentation :

- Un premier circuit est chargé de fournir une tension régulée en +12V à partir d'une tension d'alimentation de +9V. Il est exactement à l'identique du montage précédent correspondant à l'alimentation de l'émetteur sur la carte Alimentation N°1 (basé sur un CI LT1172).
- Le deuxième montage se charge de fournir une tension négative en -12V destiné à l'alimentation conjointe des amplificateurs opérationnels. Il se compose d'un composant principal basé sur la technologie LT (LT1171) monté en amplificateur / inverseur de tension.

Le principe reste sensiblement le même par rapport au montage en +12V (résistance variable sur le Feedback pour obtenir des plages de tension en sortie, ...) avec quelques différences toutefois : La self de découplage -12V (50µH) est montée sur le circuit de

masse afin de pulser négativement le courant avec l'association d'un jeu de diodes (1N914 et 5819-9548), de plus une diode type 1N914 relie l'entrée VIN à la masse de même pour la capacité de 100µF en entrée de ligne. Cette dernière « particularité » est destinée à éviter des problèmes de mise en route du circuit dû à l'utilisation d'une tension d'entrée (+9V) correspondant à un seuil limite imposé par le constructeur. Enfin, nous n'avons pas mis de système anti-parasites car sa présence ne semblait pas être justifiée et par soucis techniques de réalisation.

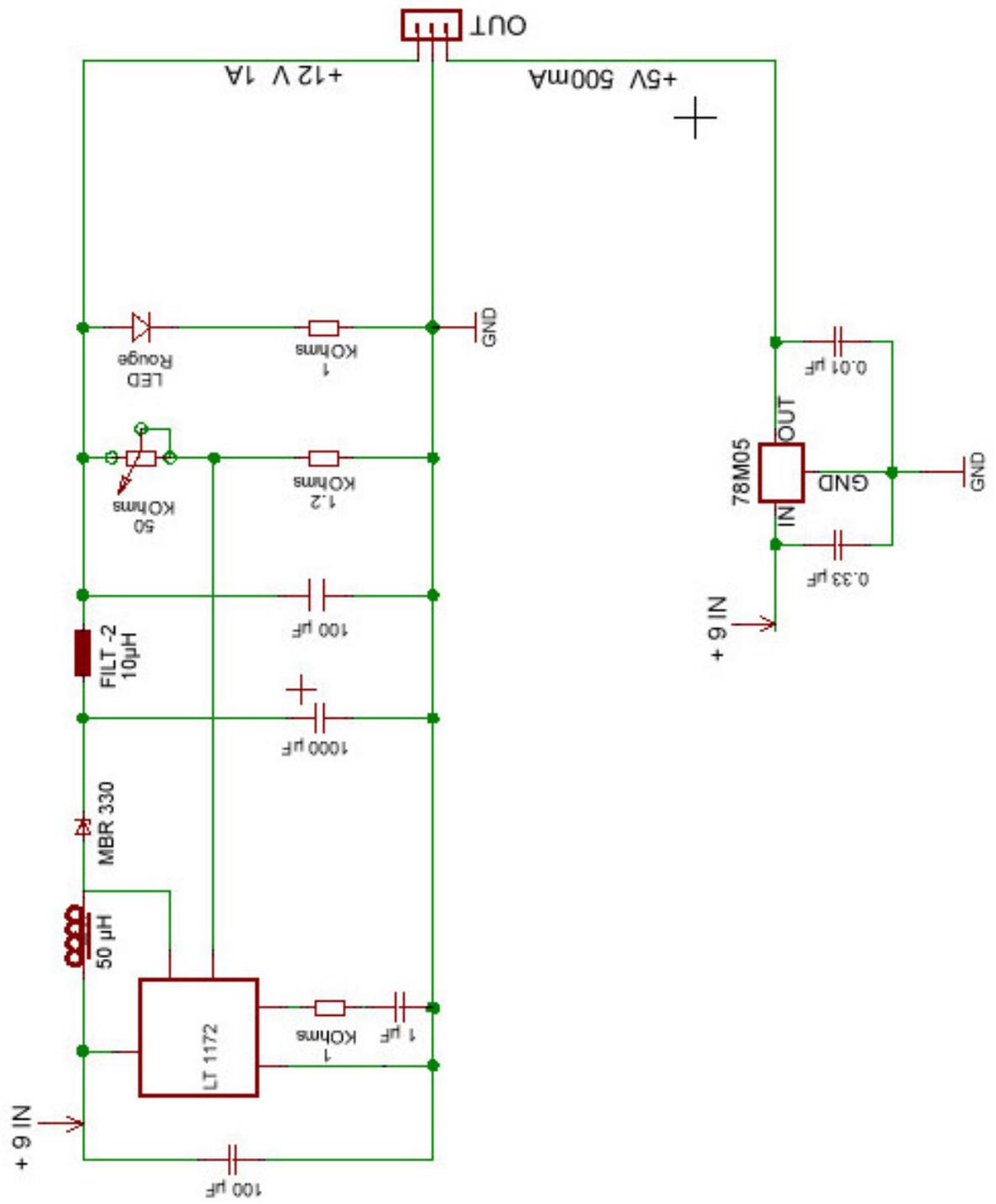
### Schéma de fonctionnement de la carte d'alimentation n°2 (+12V/-12V) :

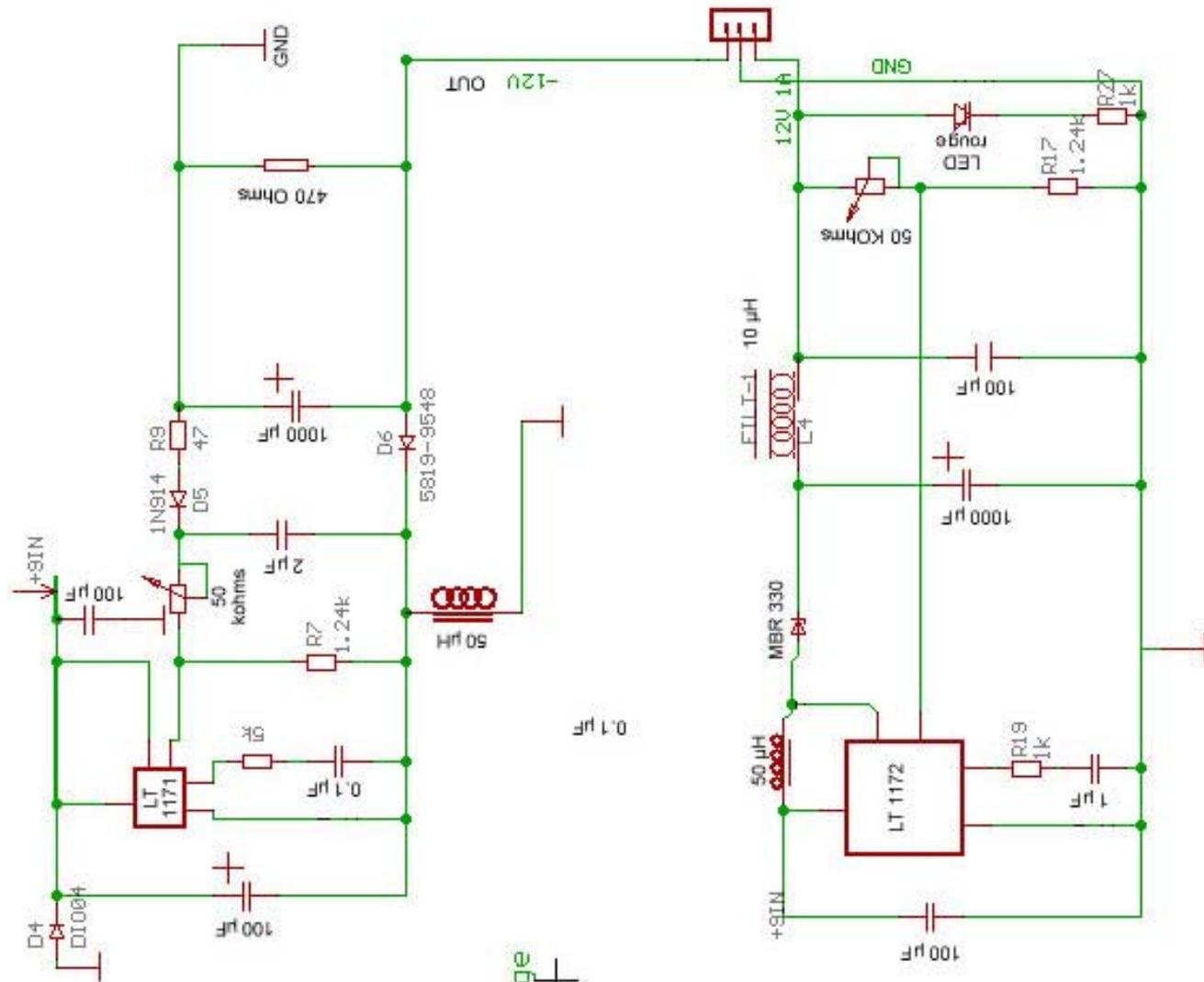


### 3. Schémas logiques des cartes alimentations

# ELA

ALIMENTATION DECOUPAGE +5V +12V





# ELA

Alimentation à découpage  
 +12 V -12 V  
 alive



<http://www.insa-lyon.fr/Associations/ClesFacil/>

Nicolas Chaléroux

[Nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr](mailto:Nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr)

Pierre-Loïc Ropars

[Pierre-loic.ropars@insa-lyon.fr](mailto:Pierre-loic.ropars@insa-lyon.fr)

Ovidiu Dobre

[dobrevidiu@hotmail.com](mailto:dobrevidiu@hotmail.com)

**Projet : ELA**

20 juillet 2002

Version 4.3

***Carte mémoire & Microcontrôleur***

# 1. Description fonctionnelle

La fusée comporte différents capteurs pour nous permettre d'observer ses déformations pendant le vol. Les données acquises par ces capteurs sont ensuite traitées par le microcontrôleur pour être stocké à bord et émises par modulation de fréquence (modulation FSK : Frequency Shift Keying). Cette double sauvegarde permettra d'avoir une certaine sécurité des données qui seront dans les deux cas dépouillées, comparées, analysées et interprétées.

## 1.1. Acquisition et traitement des données

Il est réalisé par un processeur Motorola 68HC11-F1 qui acquière numériquement toutes les données. Nous disposons de convertisseurs 8 bits, donc de 256 valeurs pour coder numériquement la valeur analogique.

Ceci peut présenter un problème :

En effet, nous avons un capteur de position (PSD : Position Sensor Detection) qui fait une surface de  $1\text{cm}^2$  ( $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ ), il détecte la position du LASER qui vient le frapper. Ceci afin de mesurer la flexion et la vibration de la fusée. Le capteur a une résolution de  $10\mu\text{m}$ , c'est-à-dire qu'il délivre 1000 valeurs différentes ( $1\text{cm} \div 10\mu\text{m}$ ) et nous n'avons que 256 valeurs pour acquérir.

*En estimant qu'on perd  $\frac{3}{4}$  (256 valeurs au lieu de 1000) des potentialités du capteur et comme celui-ci coût 772.71€, nous perdons 579.53€ (3800F) ! Ceci sur une simple erreur de CAN (Conversion Analogique Numérique).*

Nous avons donc essayé de résoudre le problème. Acheter un capteur moins précis ? Non, d'abord car cela n'existe pas apparemment et ensuite car nous ne pourrions plus détecter les vibrations. Donc il fallait mieux acquérir la valeur avec toujours le même microcontrôleur et donc le même convertisseur.

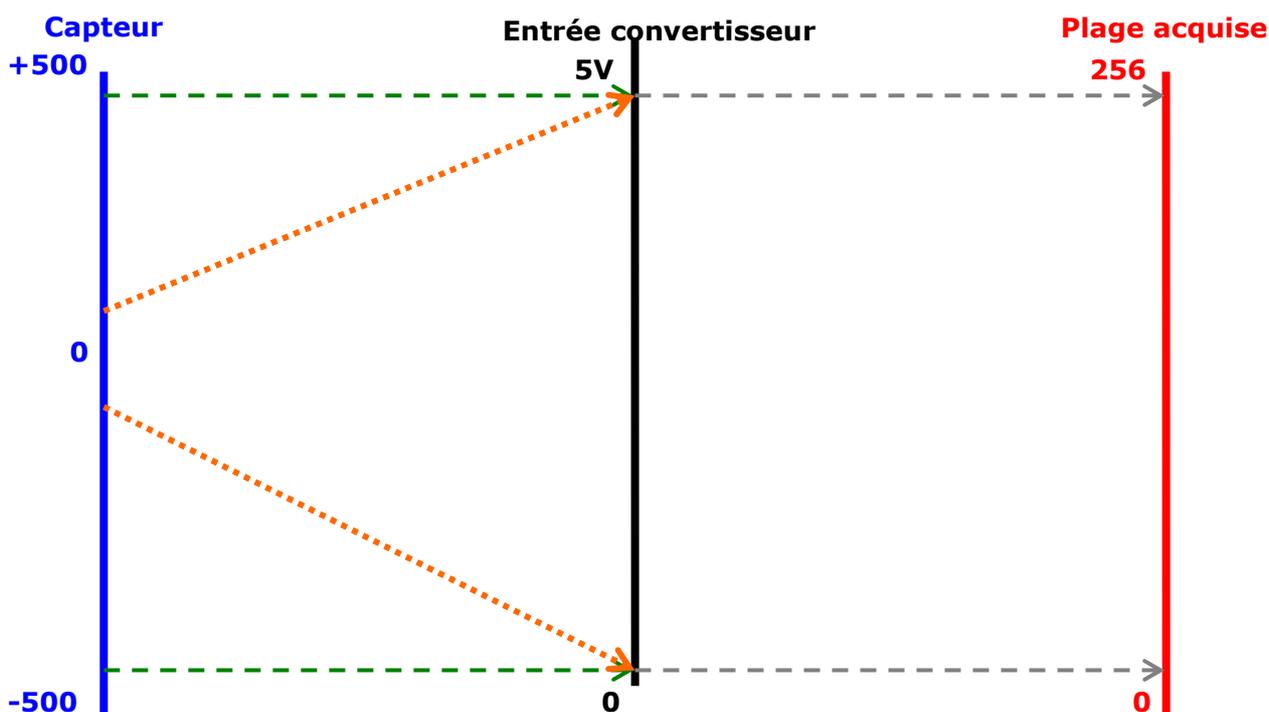


fig. 1 : recadrage de la fenêtre d'acquisition

On réalise deux CAN :

- La première pour acquérir la valeur avec la perte de précision comme décrit précédemment.
- Pour la seconde on multiplie la valeur des capteurs par 4, pour recadrer les petites variations dans la fenêtre d'acquisition (0-5V), ainsi les petits déplacements sont détectés avec le maximum de précision.

Pour les grandes valeurs l'erreur reste, mais l'erreur relative est bien plus faible et en plus le capteur est moins précis aux extrémités (50µm).

Le nombre de ports d'acquisition étant limité à 8, on utilise des multiplexeurs analogiques pour pouvoir acquérir 32 grandeurs. Le microcontrôleur commande par les ports PG0 et PG1 la sélection des voies en entrée des multiplexeurs.

Nous utilisons donc 4 multiplexeurs dits « 8 vers 2 » ce qui correspond à des « 4 vers 1 » et pour commander ces 8 entrées (deux par deux → 4 valeurs de commande nécessaires) nous utiliserons 2 bits pilotés par le microcontrôleur.

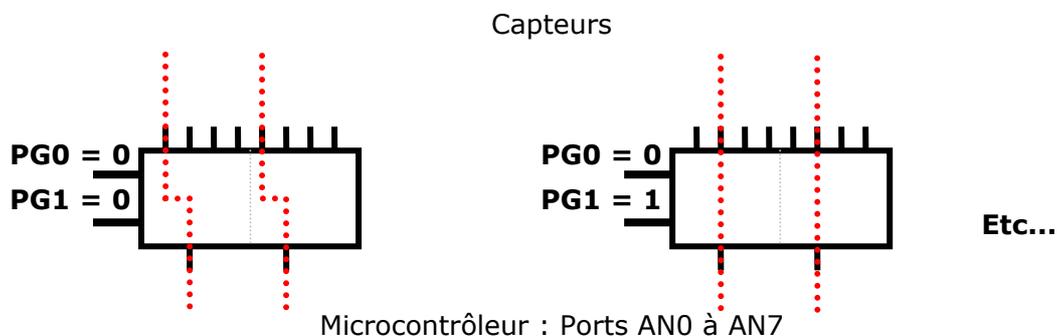


fig. 2 : schéma de principe de commande des multiplexeurs

**V**oir les explications sur le montage des multiplexeurs pour avoir les vraies valeurs de commande des multiplexeurs et l'implantation de ces derniers.

## 1.2. Mémorisation des données

On utilise une mémoire statique non-volatile (mémoire alimentée indépendamment). Le composant est un *DALLAS DS1250* dont voici les grandes caractéristiques :

- Capacité utile : 512 ko.
- Bits d'adresse : 21 bits.
- Bits d'adresse nécessaires : 19 bits.

On utilise les 16 ports d'adresse du microcontrôleur plus *PG2*, *PG3*, *PG4* (reliés respectivement aux ports *A16*, *A17*, *A18* de la mémoire) afin de pouvoir allouer les 512Ko.

Les ports d'adresse non utilisés sur la mémoire (*A19* et *A20*) sont connectés à la masse pour des raisons de stabilité du signal électrique. En effet nous avons finalement une mémoire de 2Mo que nous n'exploiterons pas entièrement. Cette mémoire a été obtenue en échantillon gratuit chez ONsemconductor mais coûte relativement chère, environ 100€.

- On utilise les 8 ports de données du microcontrôleur et de la mémoire.
- Le port CE/ (Control Enable) de la mémoire est relié à *PG7*.

- WE/ et OE/ sont relié à RW/ : on ne réalise que des écritures sur la mémoire, pas de lecture durant le vol.

### **1.3. Emission FSK**

L'émission se fait par le port série TxD et est traitée par une autre carte indépendante.

### **1.4. Signaux ouverture parachute et décollage**

Les ports PA0 et PA1 servent pour les données concernant la case parachute et la phase de décollage.

- PA0 : case parachute.
- PA1 : indication de phase de décollage.

## **2. Réalisation**

La carte ne pouvant être réalisé en un seul morceau pour des raisons de place dans la fusée, elle est décomposée en deux éléments :

- Carte mémoire
- Carte microcontrôleur et multiplexeurs

Les deux cartes se situent face à face et sont connectées par des câbles. Au milieu passe le faisceau du laser qui parcourt la fusée et pour évaluer la flexion et les vibrations.

Les câbles passent au milieu du LASER suite à une erreur d'intégration (les cartes ont été orientés dans la largeur au lieu de la longueur).

De plus, l'écartement des pattes de la mémoire étaient mauvais : la largeur de la puce a été prise au lieu de la largeur des pattes. Un adaptateur a été conçu comme solution provisoire pour pouvoir réaliser les premiers tests des programmes du microcontrôleur. D'autre part, le sens des broches ne permettaient pas de mettre les deux cartes face à face.

La carte mémoire a finalement été refaite et corrigée en modifiant l'écartement des pattes et de façon à ce que les cartes soient face à face.

## 2.1. Schéma logique

### 2.1.1. Carte microcontrôleur

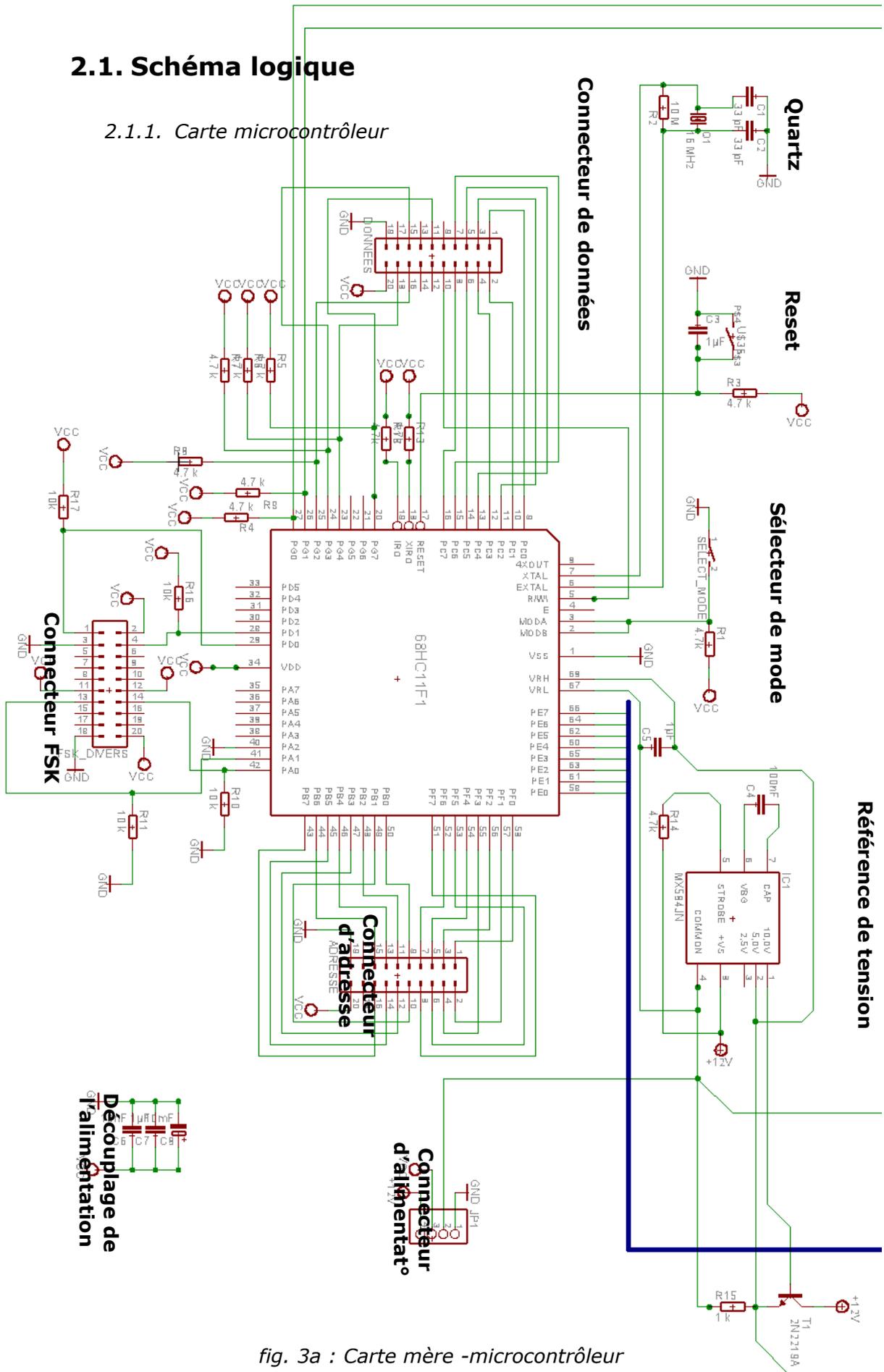


fig. 3a : Carte mère -microcontrôleur

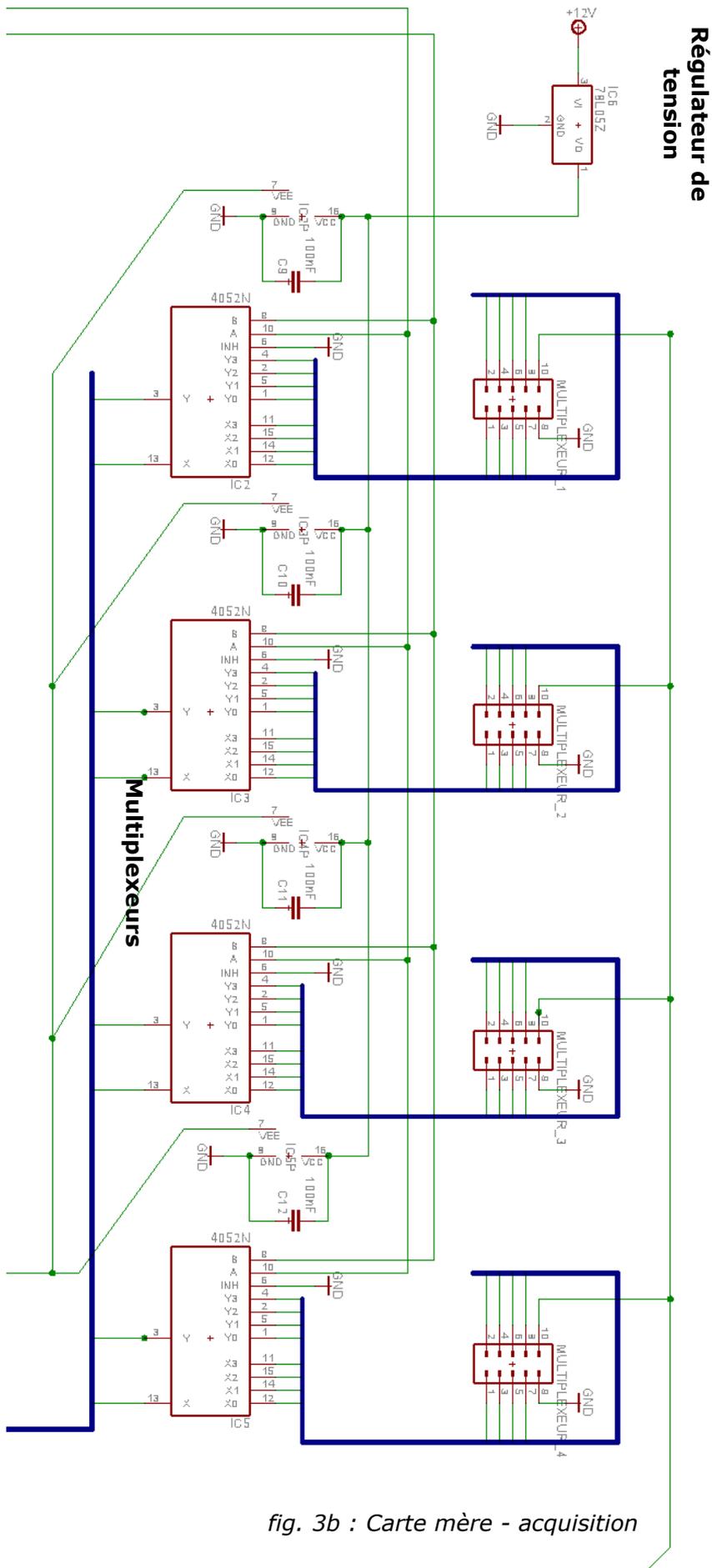
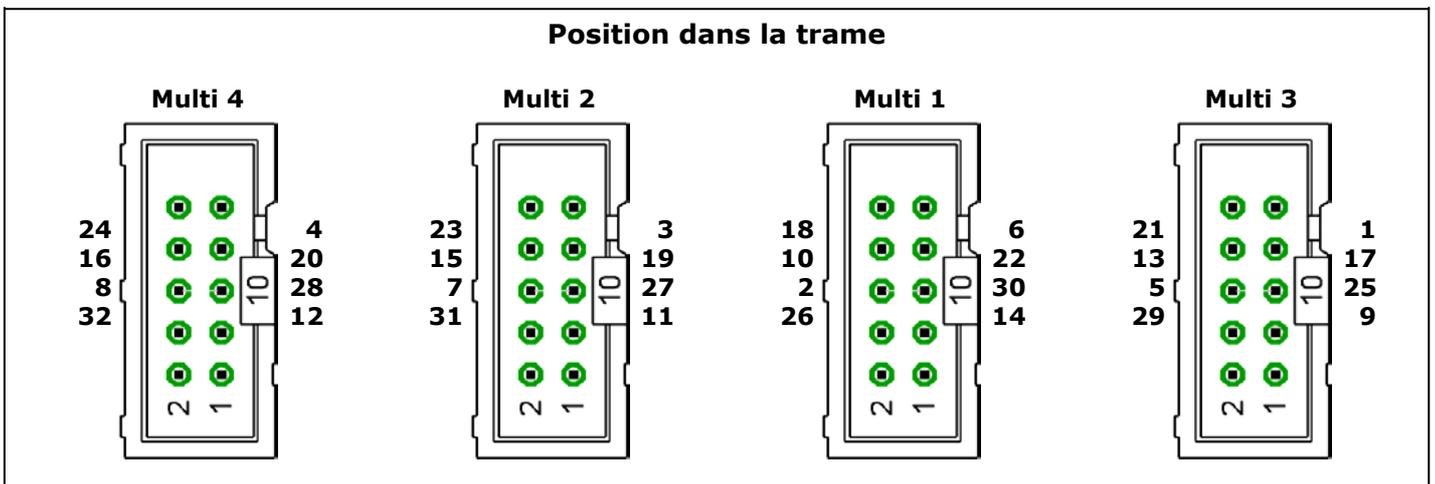
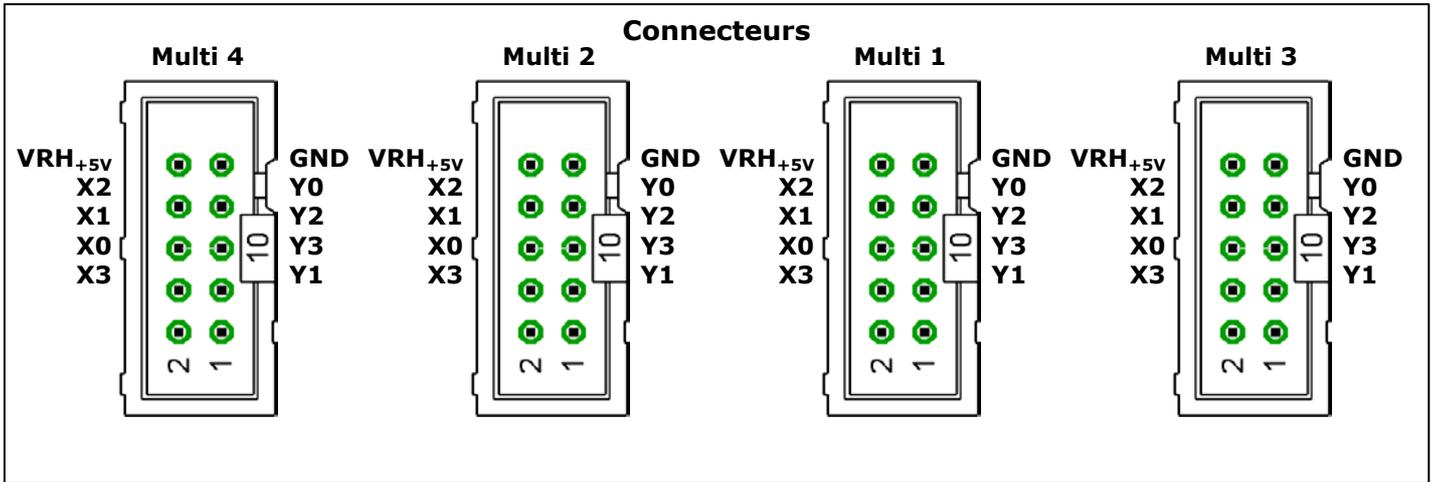


fig. 3b : Carte mère - acquisition

### 2.1.2. Connecteurs pour les capteurs



## 2.2. Multiplexeurs

**4052** Voir documentation constructeur en annexe

Les multiplexeurs analogiques sont pilotés par les ports PG0 et PG1 du microcontrôleur. Ces deux ports permettent de multiplexer 4 entrées vers une unique 1 sortie ce qui confère 32 lignes d'acquisition CAN à notre 68HC11F1 (8 CAN × 4).

Ils sont alimentés par CRH qui est une tension de +5V très précise afin de que le signal soit le moins perturbé possible au passage de ce composant.

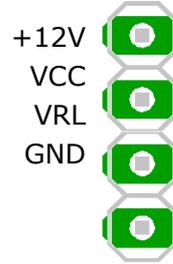
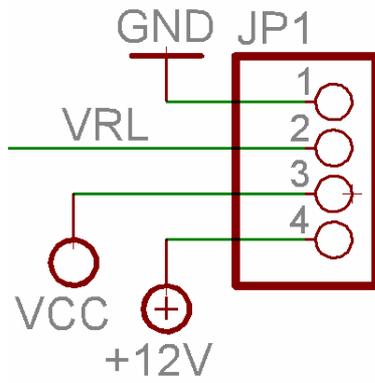
## 2.3. Régulateur de tension

**MX584JN de chez MAXIM** Voir documentation constructeur en annexe

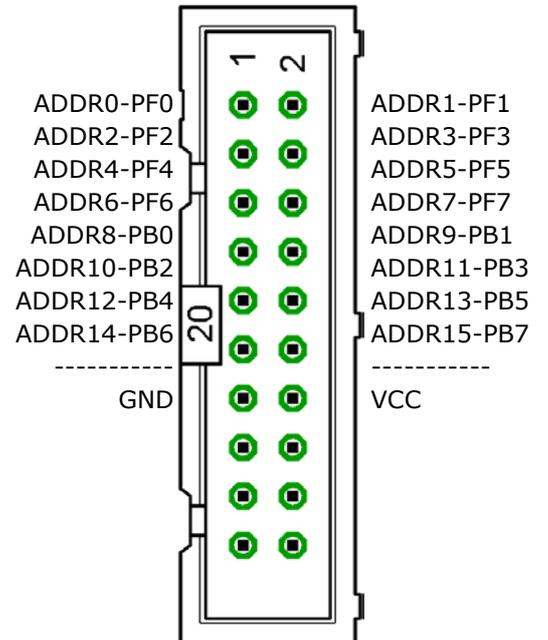
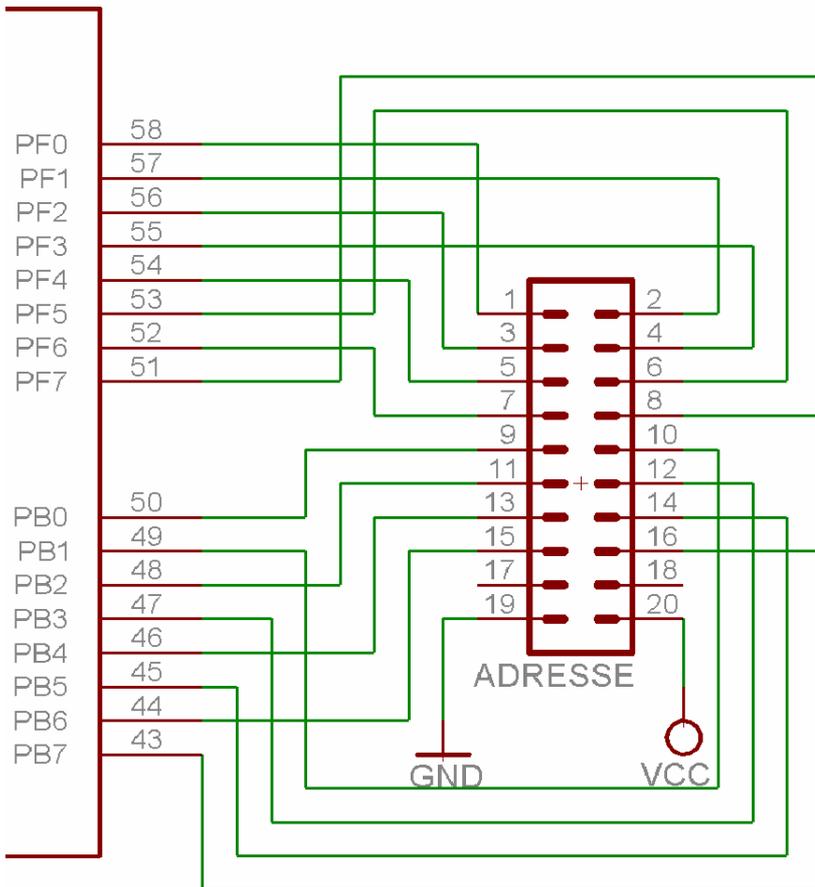
Ce composant est alimenté en +12V et est capable de délivrer du +2,5V ou du +5V ou bien encore du +10V très précisément. Par contre cette référence n'est pas très robuste dans le sens où on ne peut tirer qu'un faible courant dessus. Afin de palier à ce problème nous avons ajouté un transistor suivant le montage indiqué dans la documentation officielle du fournisseur. Il s'agit d'un 2219A.

## 2.4. Les connecteurs

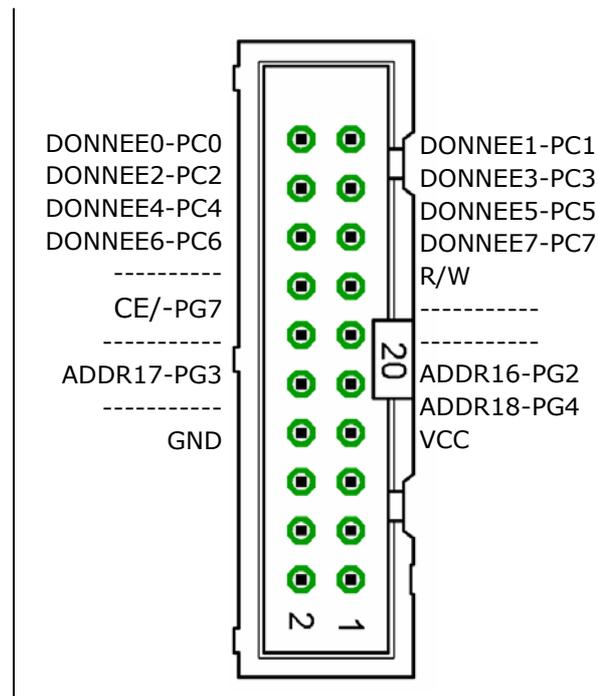
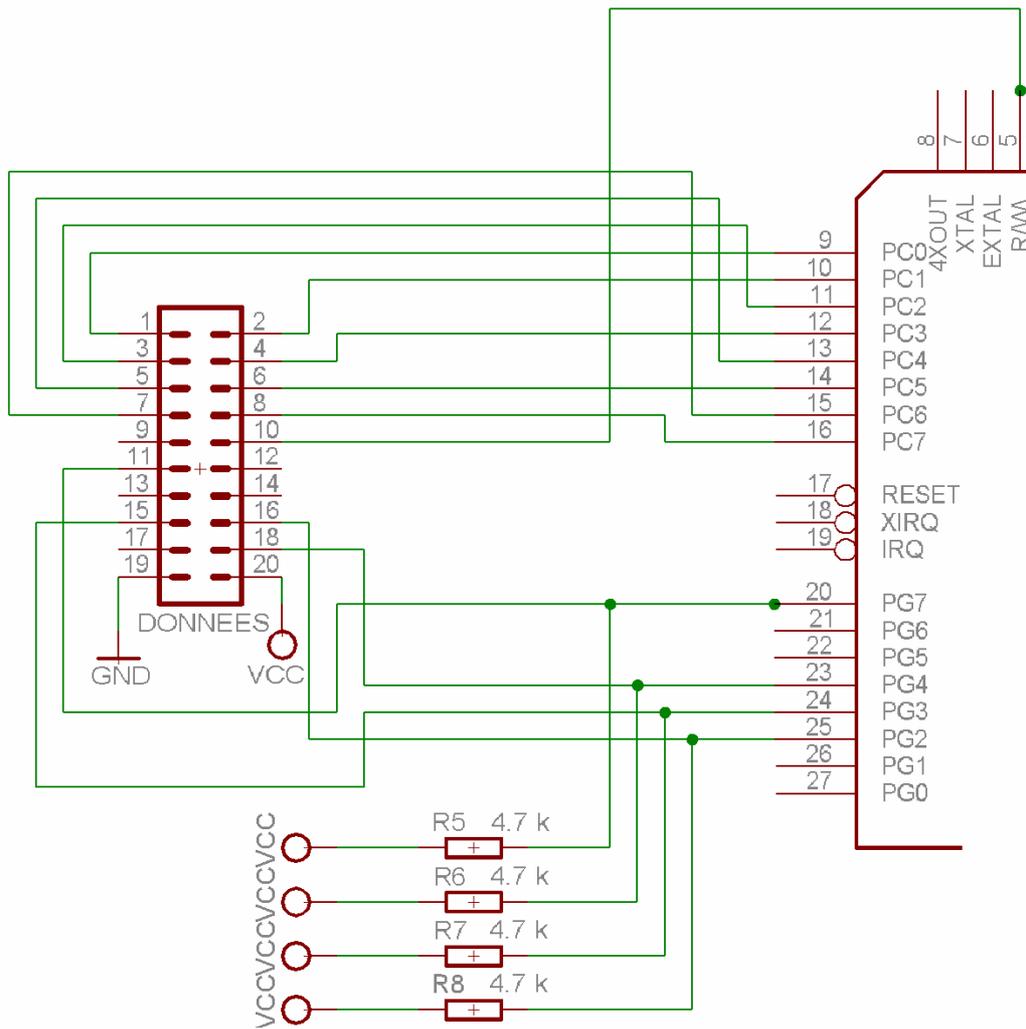
### 2.4.1. Connecteur d'alimentation



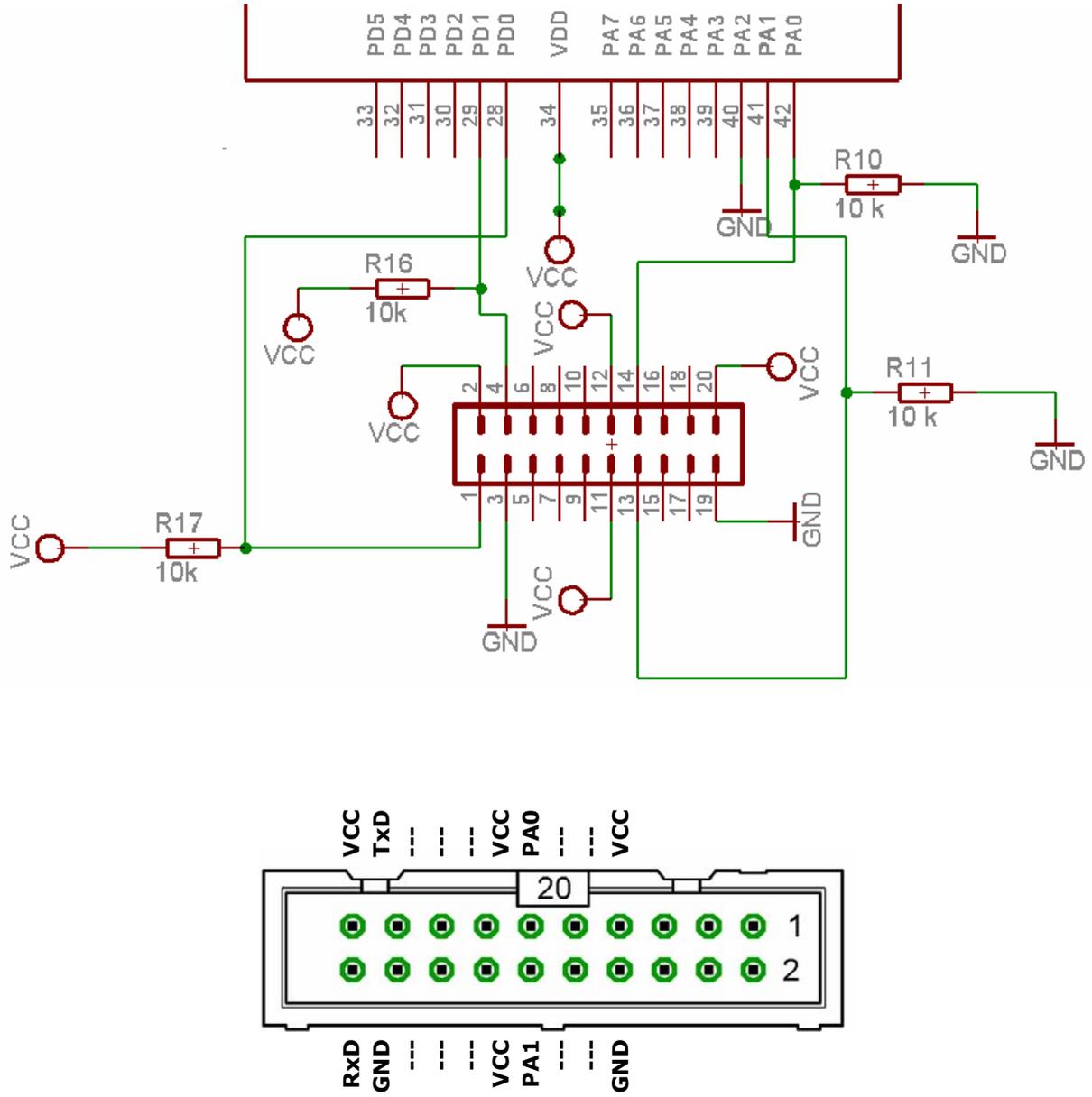
### 2.4.2. Connecteur d'adresse



### 2.4.3. Connecteur de données



### 2.4.4. Connecteur FSK



## 2.5. Carte mémoire

On utilise une mémoire statique non-volatile (mémoire alimentée indépendamment). Le composant est un *DALLAS DS1250* dont voici les grandes caractéristiques :

- Capacité utile : 512 ko.
- Bits d'adresse : 21 bits.
- Bits d'adresse nécessaires : 19 bits.

On utilise les 16 ports d'adresse du microcontrôleur plus *PG2*, *PG3*, *PG4* (reliés respectivement aux ports *A16*, *A17*, *A18* de la mémoire) afin de pouvoir allouer les 512Ko.

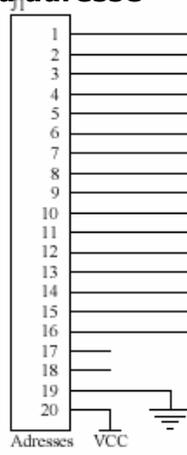
Les ports d'adresse non utilisés sur la mémoire (*A19* et *A20*) sont connectés à la masse pour des raisons de stabilité du signal électrique. En effet nous avons finalement une mémoire de 2Mo que nous n'exploiterons pas entièrement. Cette mémoire a été obtenue en échantillon gratuit chez ONsemconductor mais coûte relativement chère, environ 100€.

- On utilise les 8 ports de données du microcontrôleur et de la mémoire.
- Le port *CE/* (Control Enable) de la mémoire est relié à *PG7*.
- *WE/* et *OE/* sont reliés à *RW/* : on ne réalise que des écritures sur la mémoire, pas de lecture durant le vol.

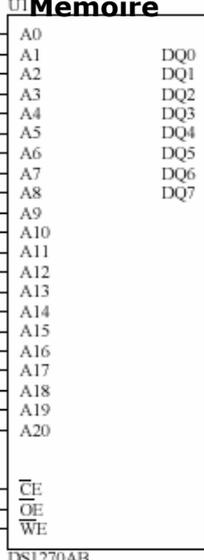
Par sécurité, on met toutes les entrées du *74LS04* à la masse. En effet, cela augmente la fiabilité des portes dans un environnement perturbé...

### 2.5.1. Shématique

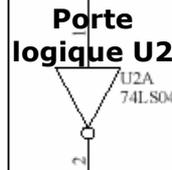
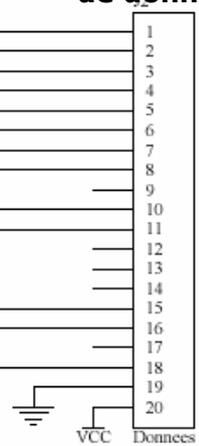
**Connecteurs d'adresse**



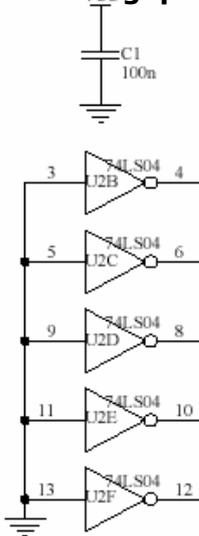
**U1 Mémoire**



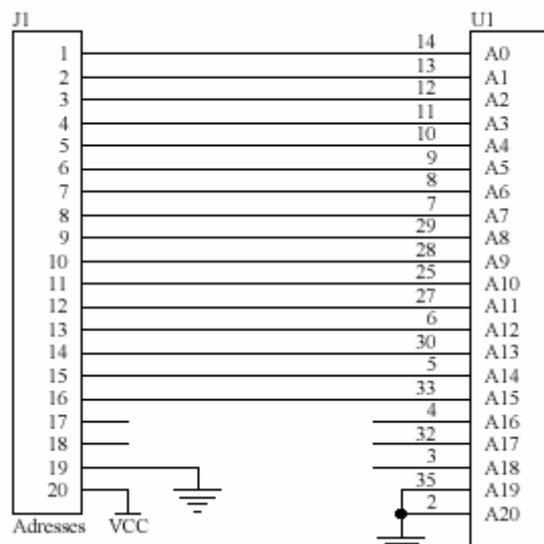
**Connecteurs de données**

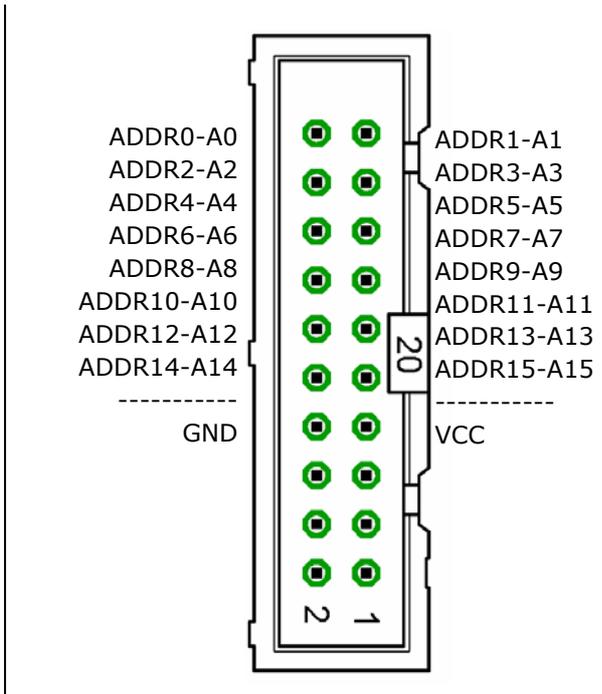


**Porte logique U2**

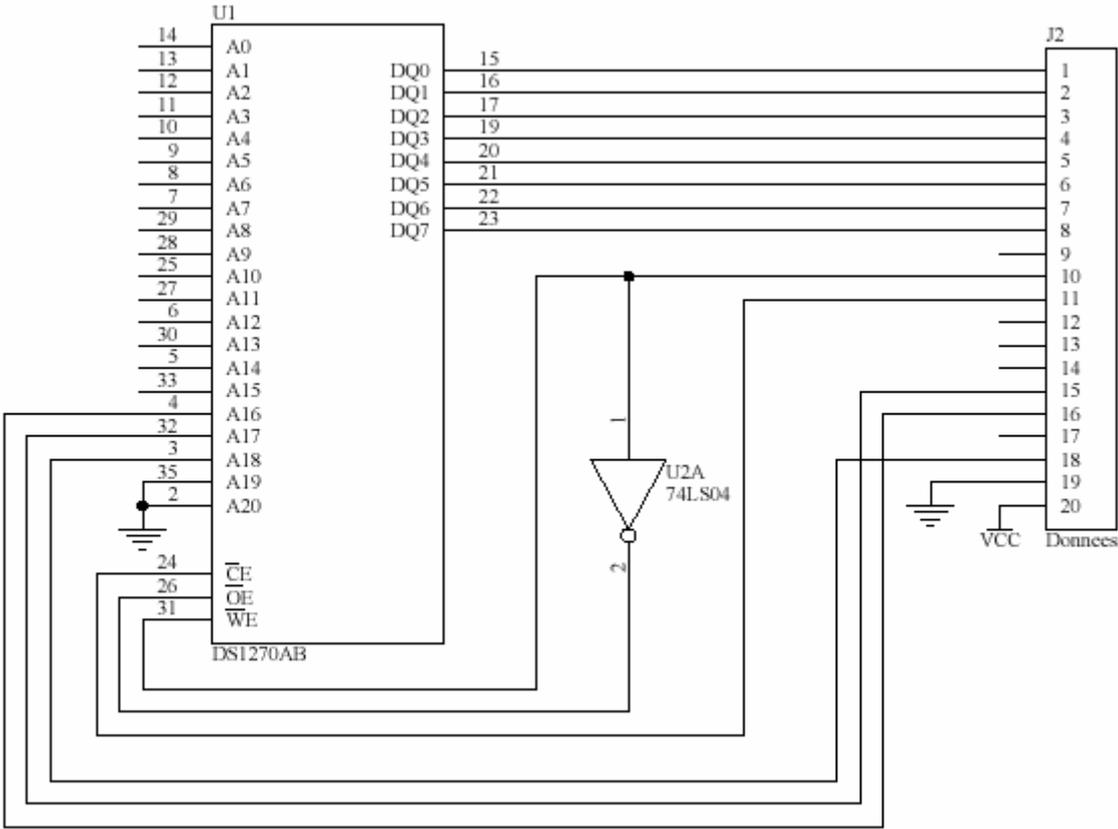


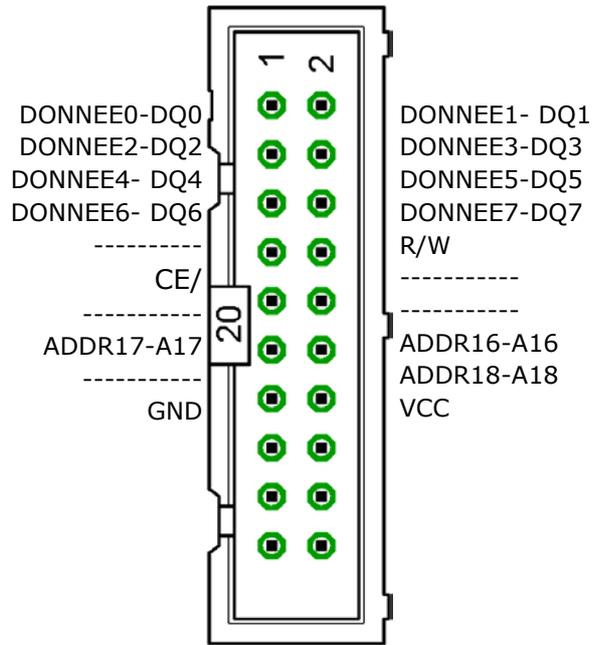
**2.5.2. Connecteur d'adresse**



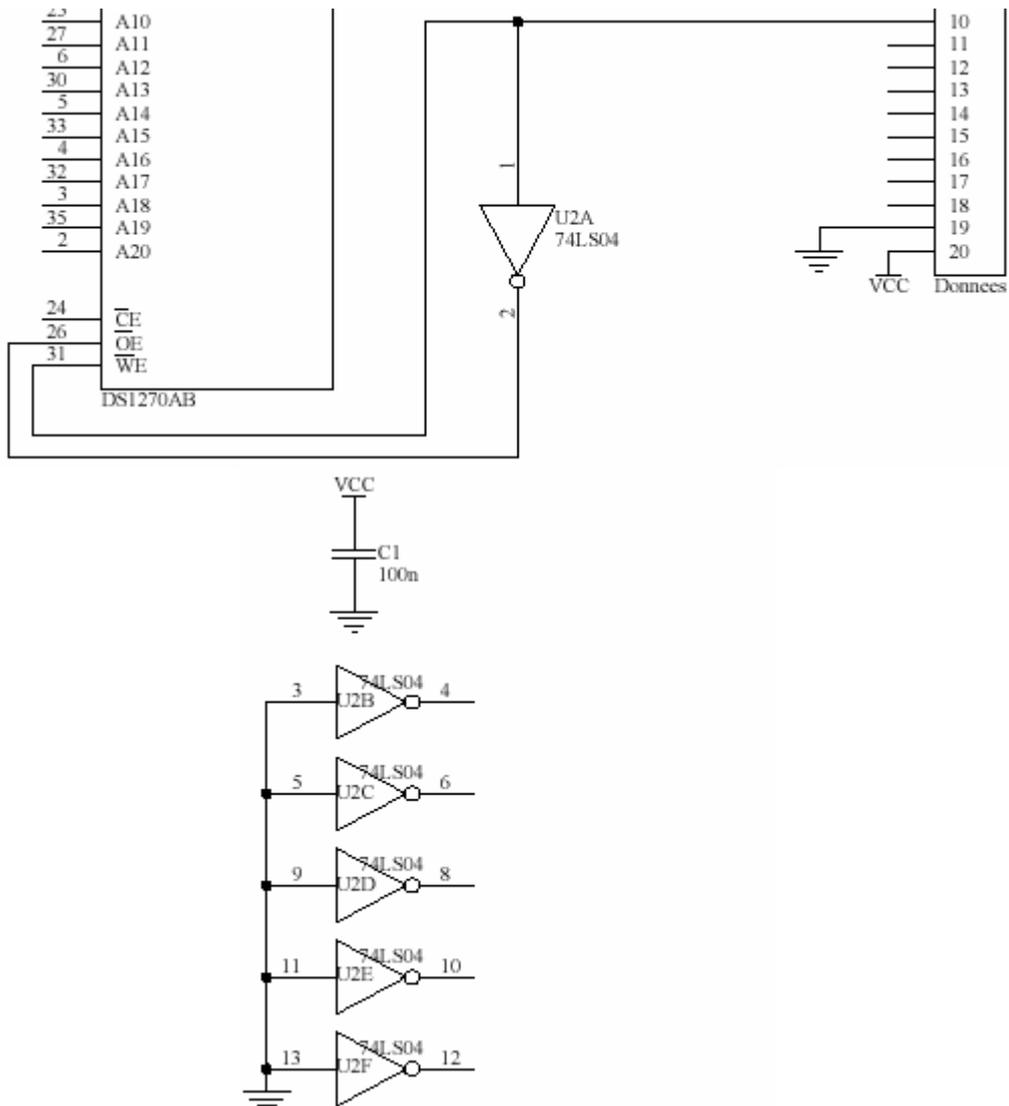


2.5.3. Connecteur de données





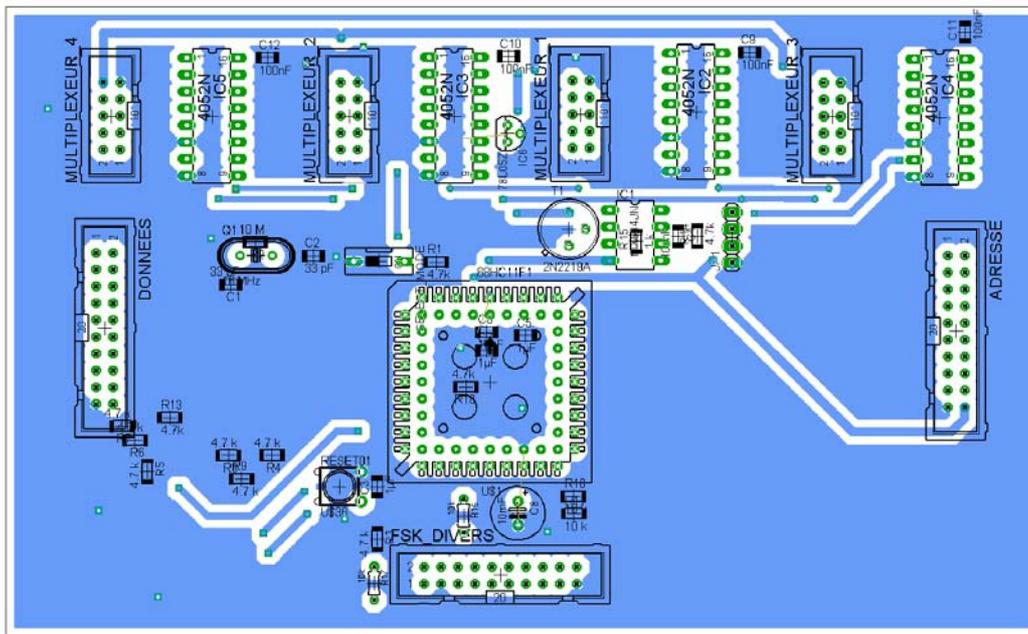
#### 2.5.4. Porte logique



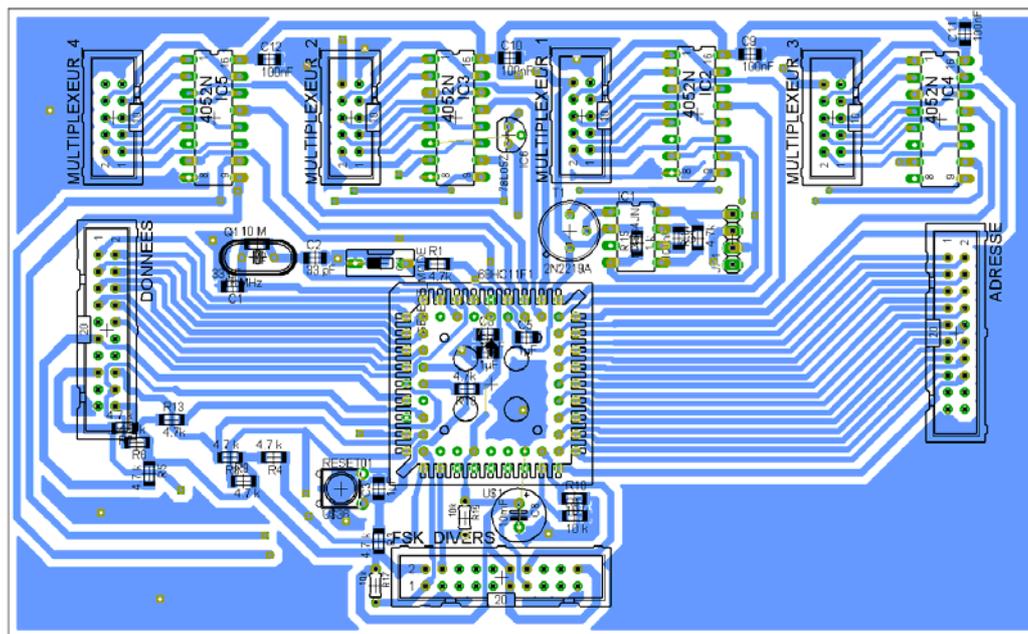
### 3. Routage

#### 3.1. Carte microcontrôleur

##### 3.1.1. Bottom

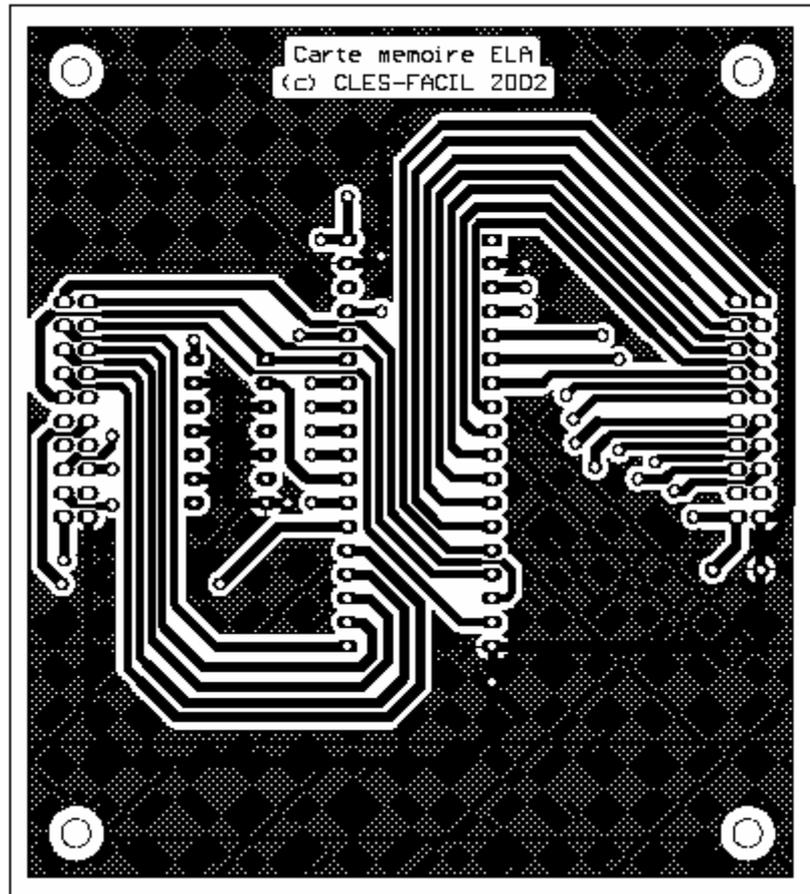


##### 3.1.2. top

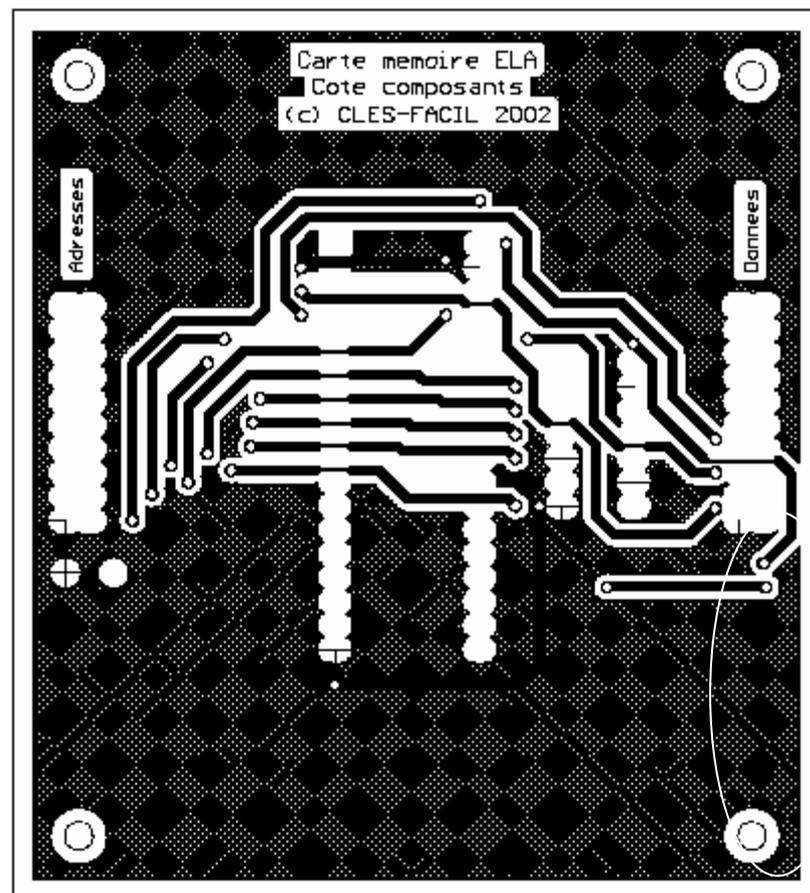


## 3.2. Carte mémoire

3.2.1. bottom

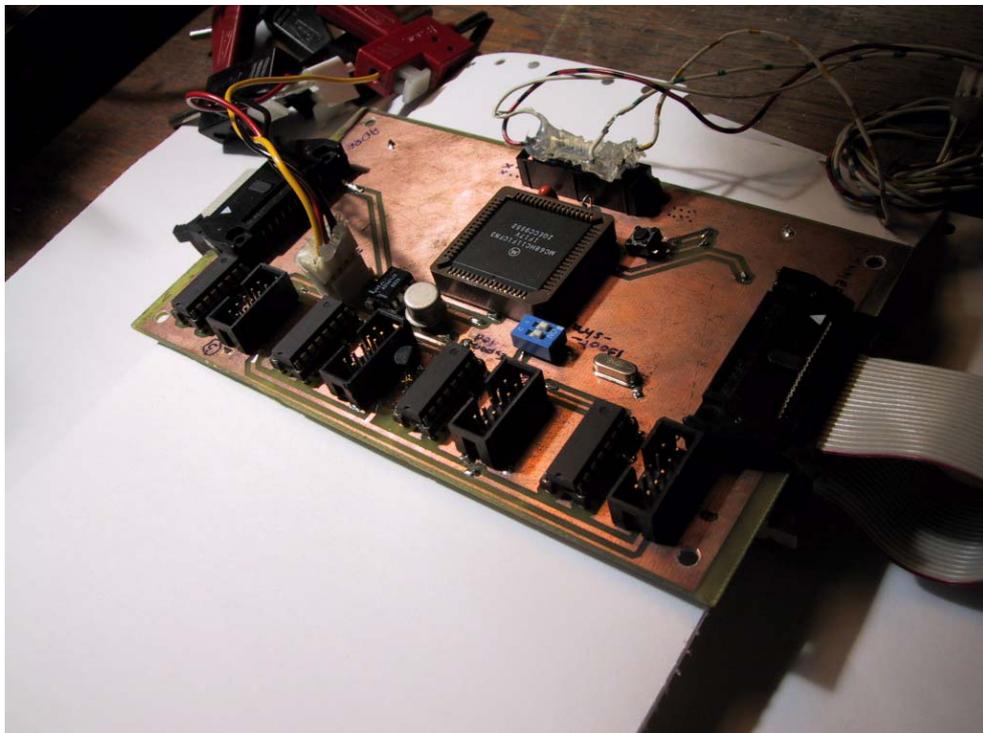
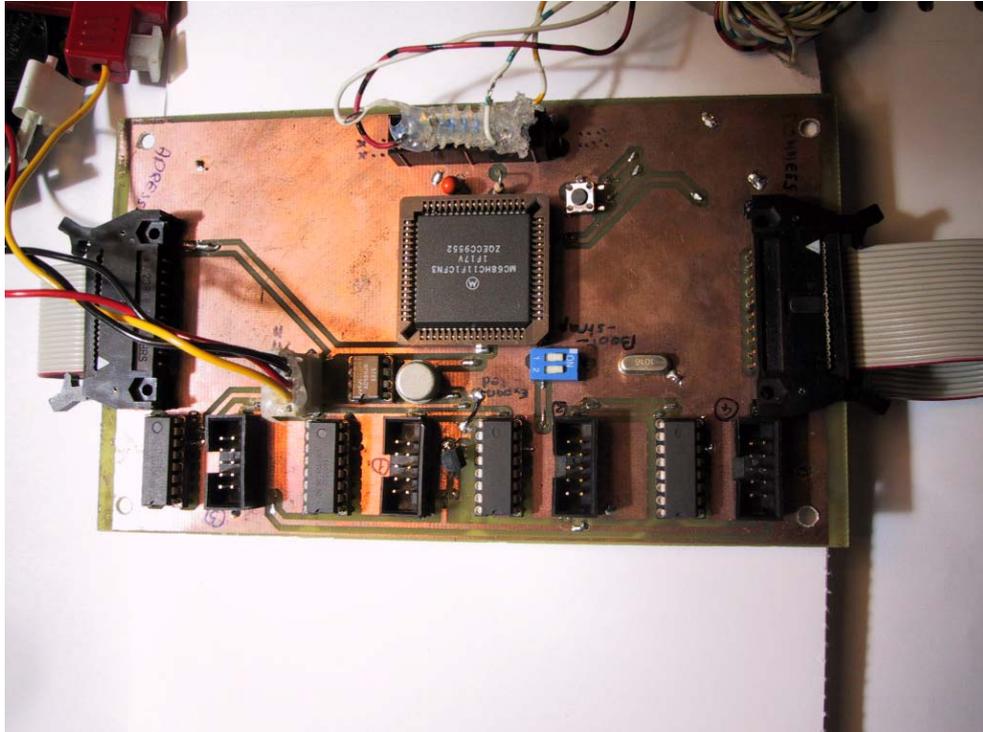


3.2.2. top

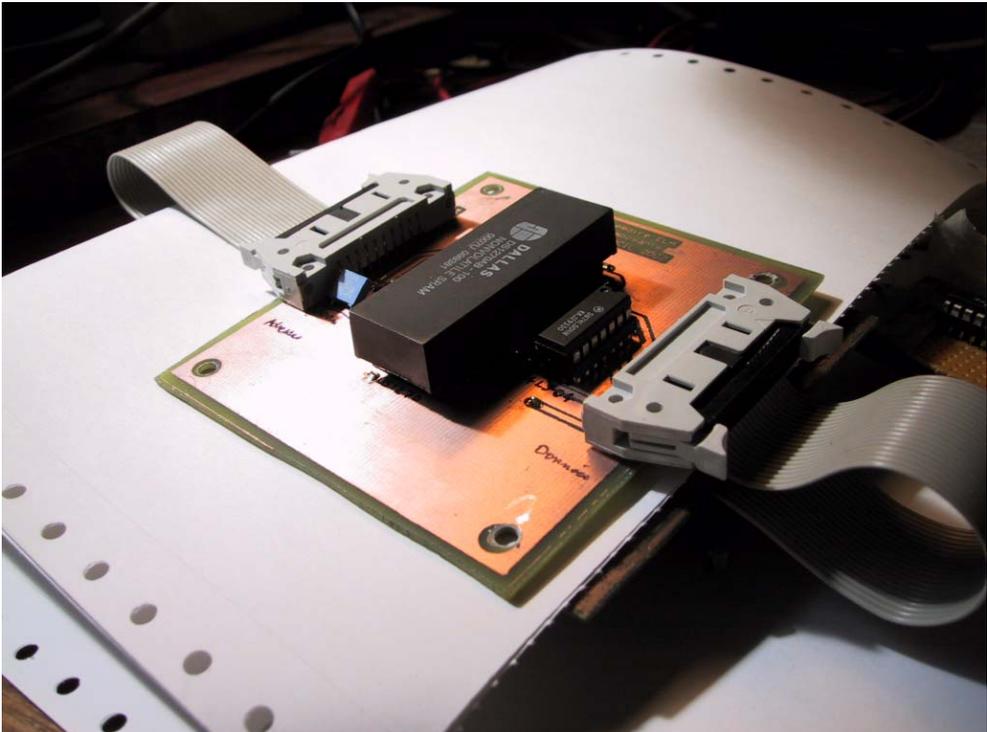
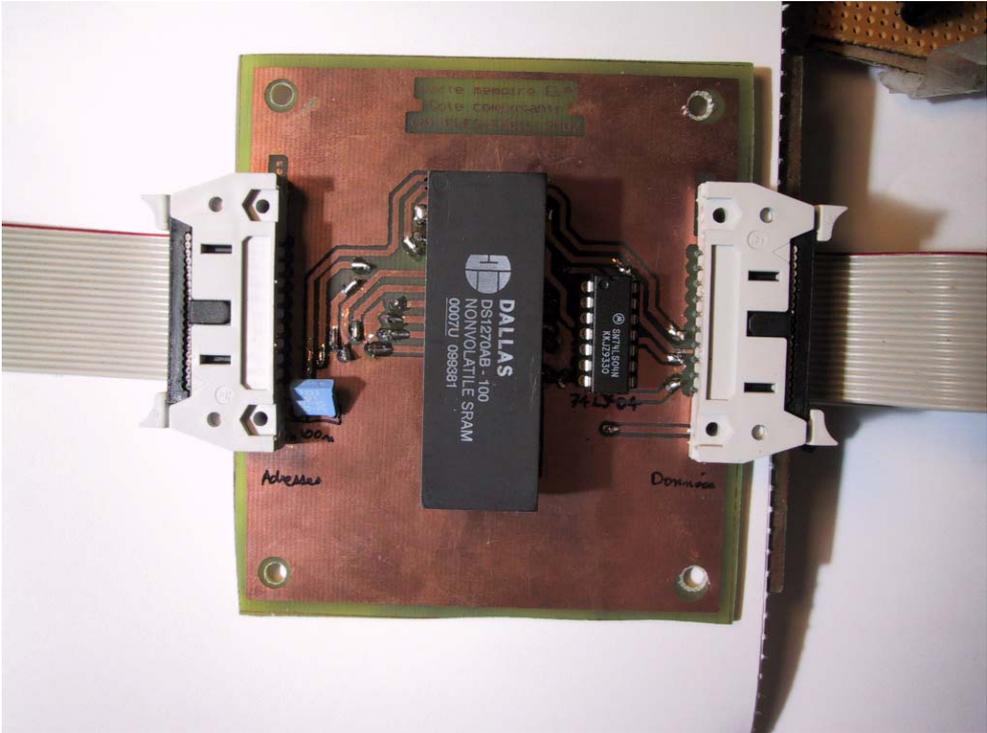


## 4. Photos

### 4.1. Carte microcontrôleur



## 4.2. Carte mémoire



## **5. Liste des datasheets en annexe**

La version électronique de ce rapport inclue les datasheets en fin de rapport mais pas la version papier. Par contre, les datasheets sous forme électronique « .pdf » sont sur le CD intitulé DOC ELA 2002.

Composants :

- **Multiplexeur** : MC14051B-D.pdf
- **Mémoire DALLAS** : DS1270mémoireSRAM.pdf
- **Boîtier de porte logique** : 74LS04.pdf
- **Régulateur de tension MAXIM** : AD584.pdf



<http://www.insa-lyon.fr/Associations/ClesFacil/>

Ludovic BERTRAND

[civodul@free.fr](mailto:civodul@free.fr)

**Projet : ELA**

20 juillet 2002

Version 1.0

## ***Jauges de contraintes***

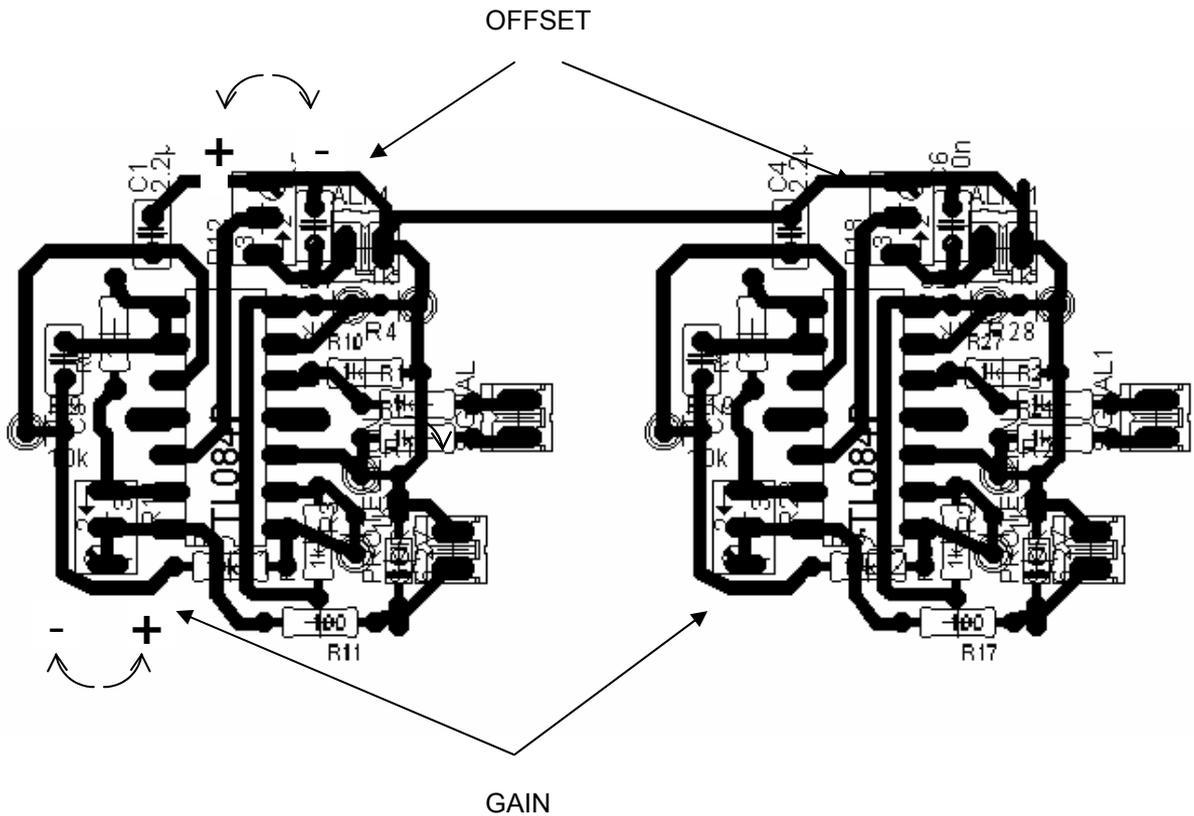
**ATTENTION :** *Cette partie n'a malheureusement pas été documentée comme il le fallait le seul document à notre disposition est la procédure d'étalonnage. Somme toute on peut dire que le système était composé d'une carte préampli et d'une carte Ampli-filtre-offset pour chacune des jauges de contraintes. Un des gros problème de ce montage est sa sensibilité au parasites (émetteur) de part son mauvais routage et le très grand nombre de fil que sa mise en œuvre nécessitait.*

*Vous trouverez à la suite de cette procédure ce que j'ai pu récupérer en terme de schématique et de routage.*



## 1.2. Ampli

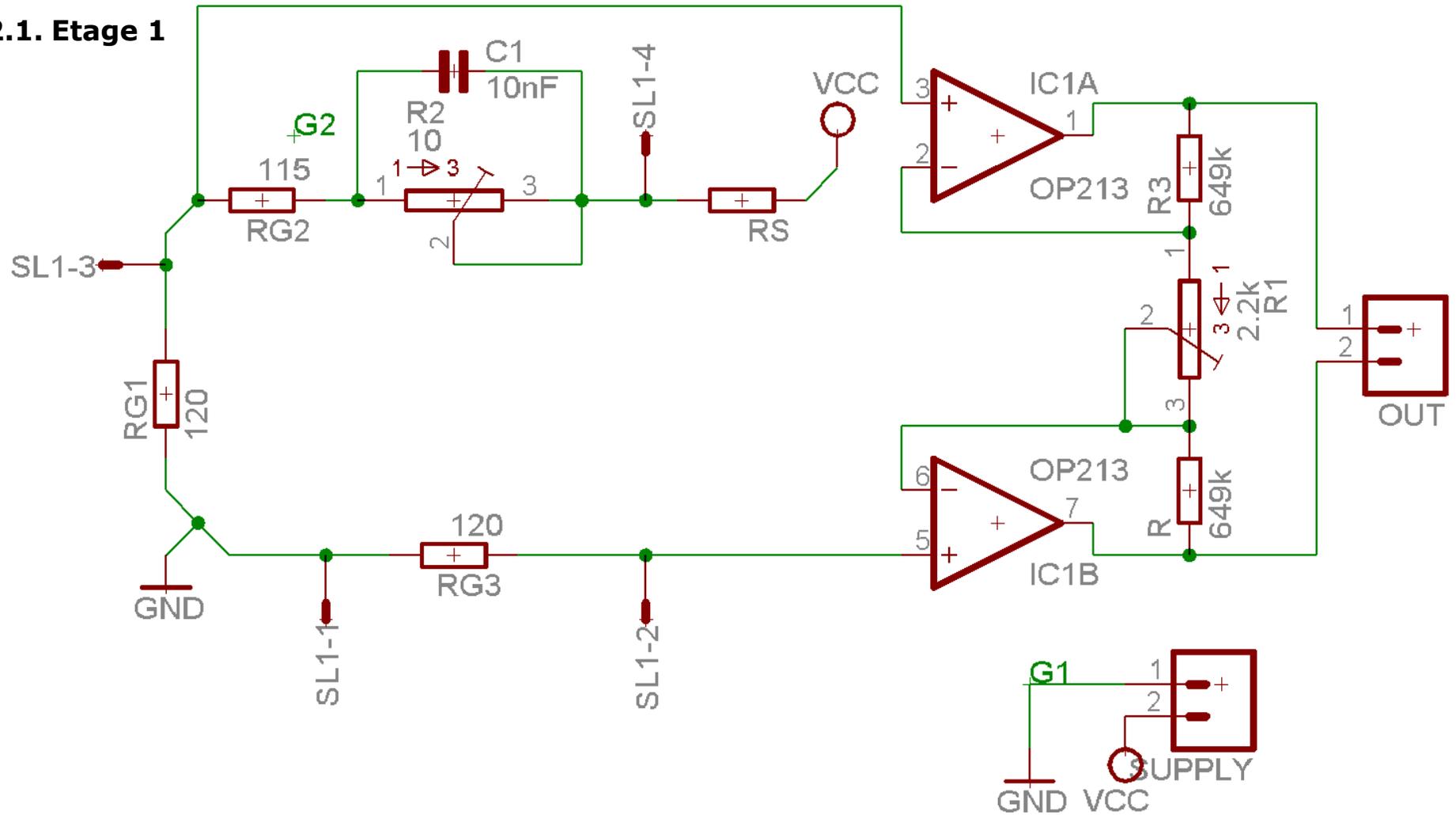
7. Court-circuiter les entrées de la carte ampli et raccorder le voltmètre à sa sortie.



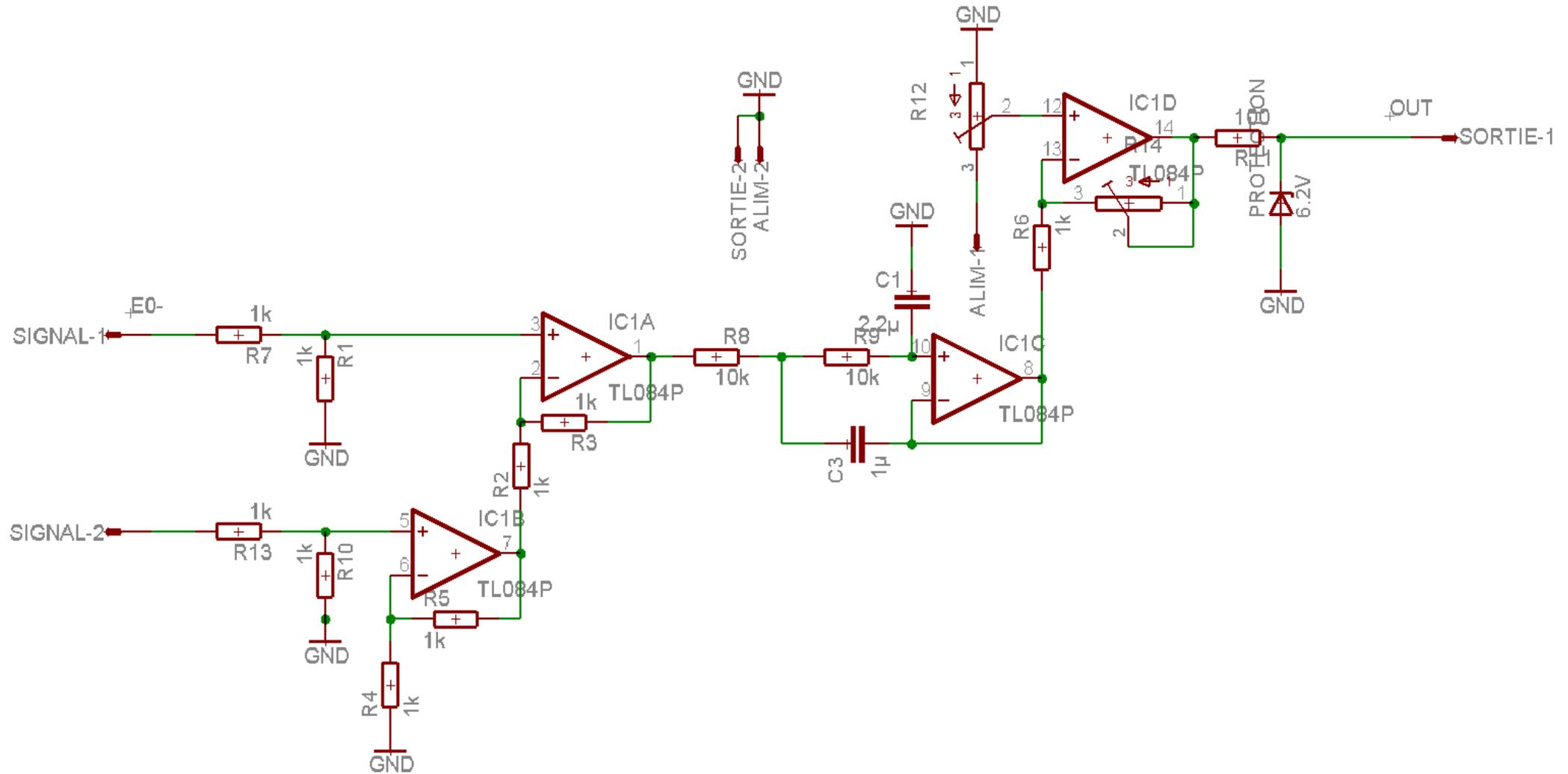
8. Tourner le potar **offset** jusqu'à afficher 2,5 V
9. Retirer le cc et raccorder l'entrée à la sortie du préampli (si ce n'était déjà fait).  
Vérifier le +2,5 V au repos.
10. Appliquer la force max et régler le **gain final** pour avoir  $V_s \leq +5$  V
11. Appliquer la force contraire et vérifier qu'on a  $V_s \geq 0$  V

## 2. Schématique

### 2.1. Etage 1

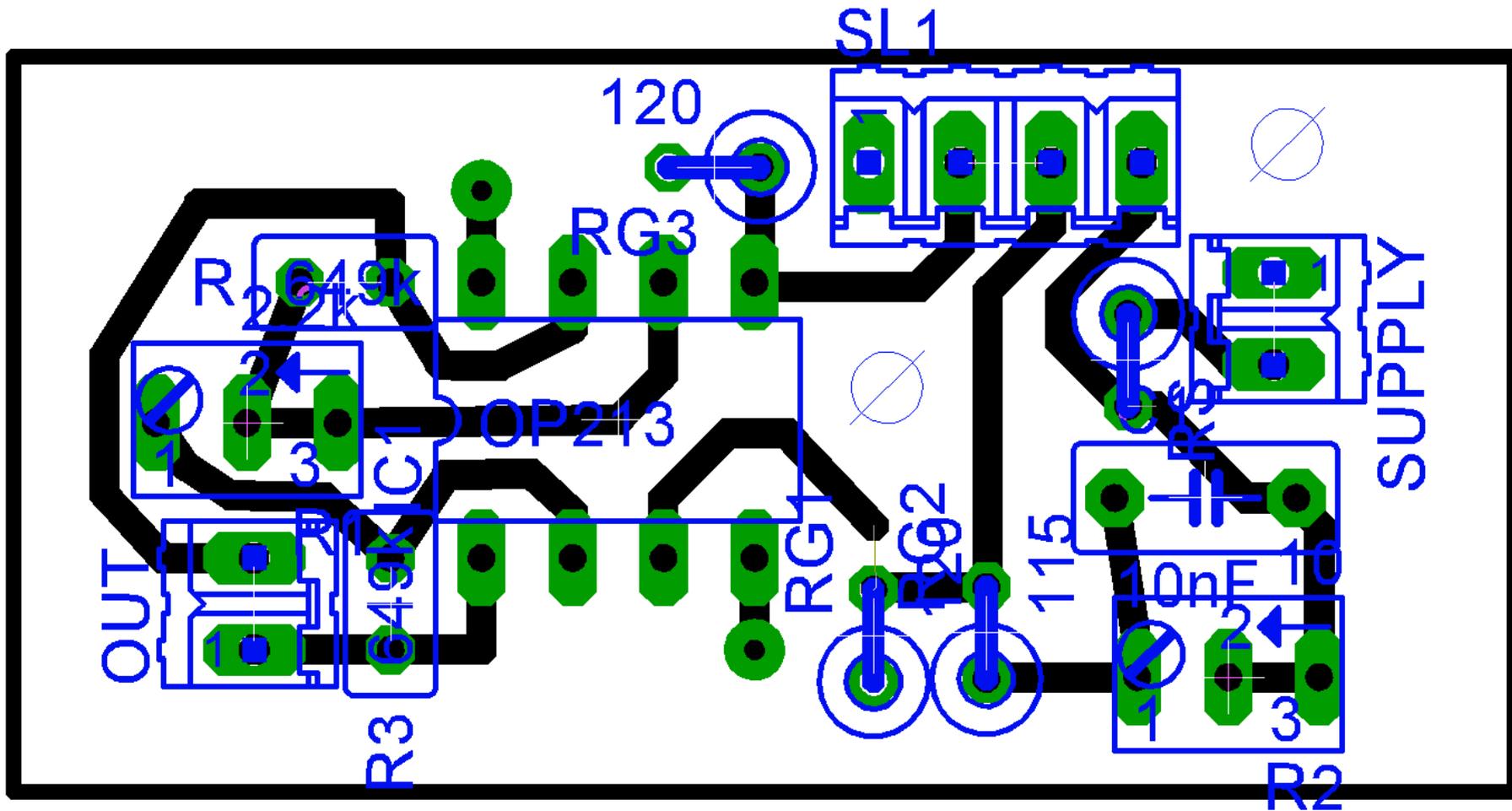


## 2.2. Etage 2



### 3. Routage

#### 3.1. Etage 1







<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Nicolas CHALEROUX

[Nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr](mailto:Nicolas.chaleroux@insa-lyon.fr)

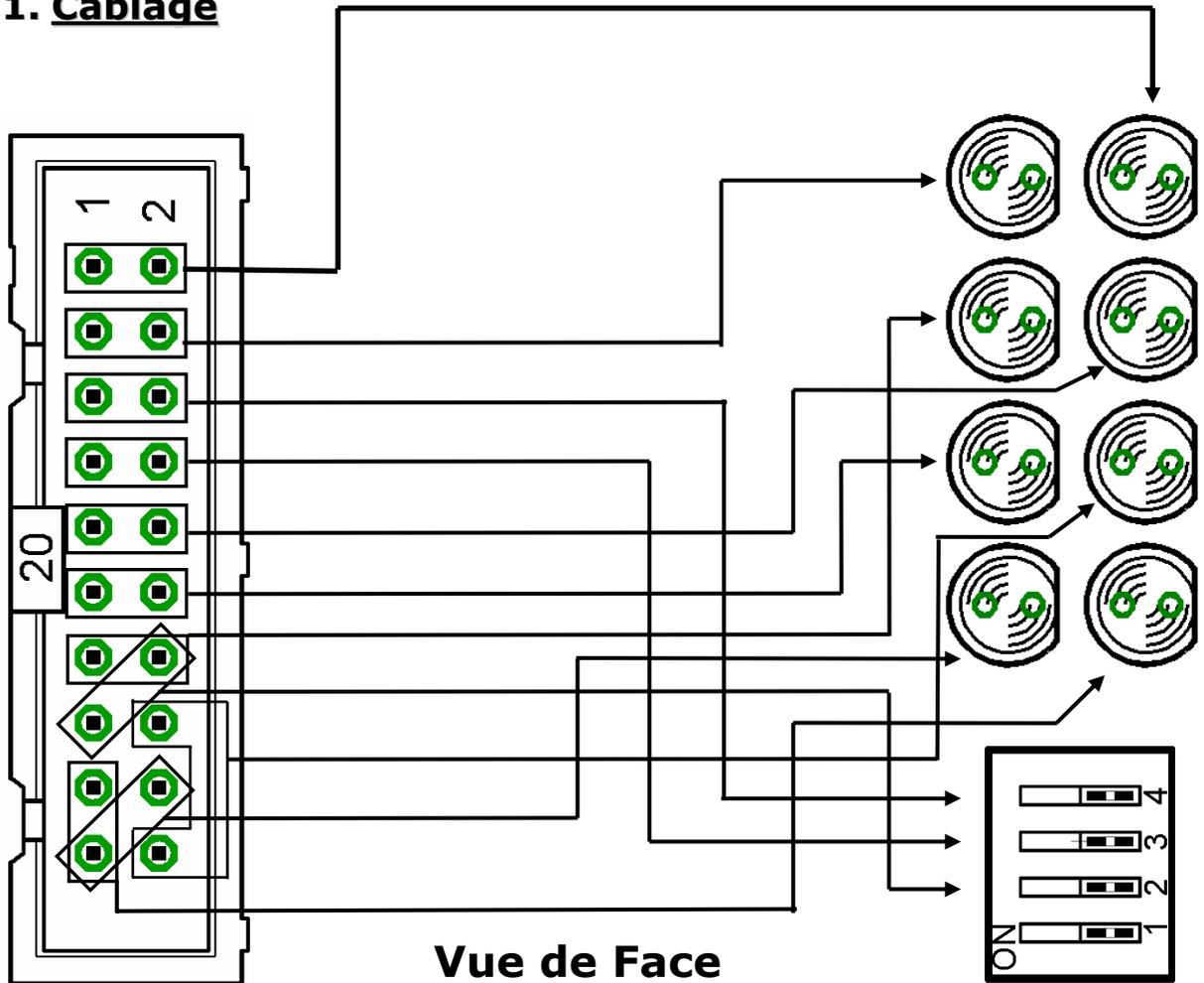
**Projet : ELA**

8 juillet 2002  
Version 1.0

## ***Carte de visualisation***

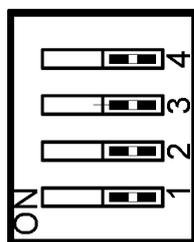
**ATTENTION :** *On ne pense jamais assez à la mise en œuvre et en particulier à cette petite carte de visualisation. Cette partie n'est pas complexe par sa technicité mais par le fait qu'elle est en interface avec tout le projet.*

## 1. Câblage



Vue de Face

## 2. Rôle





<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Julien TRUCHOT

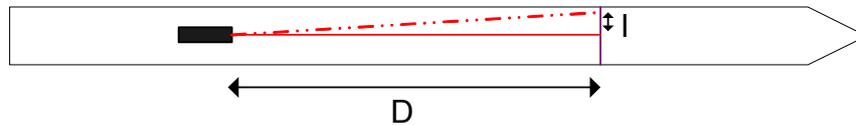
[Julien.Trunchot@insa-lyon.fr](mailto:Julien.Trunchot@insa-lyon.fr)

**Projet : ELA**

04 juin 2002  
Version 1.0

***Laser***

Le but du système laser est de confirmer les mesures faites par les jauges de contraintes. Si les jauges pourront être assez explicites sur les réelles déformations de la fusée (flexion et/ou traction), le laser quant à lui permet d'enregistrer les déformations subies par son axe longitudinal.



Grâce un simple calcul mathématique, on pourra remarquer qu'une traînée de  $\lambda$  cm sur un dispositif de D cm traduirait un angle de déformation  $\alpha = \arctan\left(\frac{\lambda}{D}\right)$ .

Il ne resterait donc plus qu'à confronter ces résultats à ceux obtenus grâce aux jauges de contraintes.

Pour passer à la pratique, il faut :

- Un laser
- Un capteur
- Un filtre
- 

## **1. Le laser**

Il faut utiliser de préférence un laser avec une divergence et un point aussi petit que possible. On préférera, par mesure de sécurité, un laser dans le domaine du visible. De plus, la plupart des capteurs ne réagissent que dans cette zone. Celui que nous utiliserons aura une longueur d'onde de 670nm.

## **2. Le capteur**

### **2.1. Le capteur PSD**

La première idée fut d'utiliser un capteur de type PSD, capable de fournir une tension proportionnelle au déplacement effectué.

En raison de son prix élevés (732€), nous avons demandé un sponsoring à toutes les entreprises susceptibles de nous fournir un tel dispositif, mais aucune n'a accepté.

### **2.2. Les Papiers photosensibles**

Nous avons donc cherché à nous tourner vers des dispositifs photographiques. Nous ne pouvons pas avoir de corrélation dans le temps entre le laser et les jauges. Ce dispositif nous donnera tout de même les déformations maximales subies, les pics... et de plus amples connaissances pour commander pour une nouvelle expérience un capteur parfaitement dimensionné à notre étude.

### 2.2.1. Papier photos Noir et Blanc

La première idée fut d'utiliser du papier noir et blanc. Ce papier avait l'avantage d'être assez bon marché et facilement utilisable. Cependant, il avait le gros désavantage de ne pas réagir au rouge (longueurs d'onde supérieures à 550 nm)

### 2.2.2. Papier photos Couleur

Nous avons donc pensé à prendre du papier couleur. Cependant, ce papier, en plus d'être bien plus cher, est d'un usage très délicat au niveau de la révélation : les bains ont une tolérance de 0,1°C. En général, les clubs de photos achètent des machines à révéler.

### 2.2.3. Film Polaroid

La dernière idée fut d'utiliser des films polaroids en association avec la JoyCam de chez Kodak pour s'assurer du parfait étalement du révélateur.

Pour ceux, comme moi avant, qui ne connaissent pas le principe technique des films polaroids, voici une brève explication :

- Les films sont conservés dans une boîte étanche à la lumière.
- Lors de la mise de la cartouche dans l'appareil (ou lors de la première photo), le papier inactinique (papier sensé protéger les films de la lumière) est éjecté.
- Le premier film est alors prêt à recevoir la lumière comme dans un appareil classique.
- Quand le papier sort, on étale, entre un film plastique et la couche photosensible, un gel révélateur. Plus l'étalement est homogène, plus le résultat obtenu est net. C'est pourquoi, nous utilisons le système rudimentaire mais fiable de la JoyCam.

## **3. Le filtre**

Un dernier problème à résoudre est la création d'un filtre optique. En effet, notre fusée est loin d'être une chambre noire. Il faut donc mettre au point un filtre capable de laisser passer assez de lumière du laser pour la révélation et surtout pas la lumière ambiante.

### **3.1. Filtre à interférences (par couches minces)**

La solution royale aurait été d'utiliser un filtre à interférence. Les propriétés d'un tel filtre sont totalement paramétrables en fonctions de couches de matières déposées. On aurait donc pu utiliser un filtre passe bande pour la longueur d'onde de notre laser (coefficient de transmission égal à 0 partout sauf pour notre longueur d'onde où on voudrait 0,1 pour ne pas griller notre film polaroid et obtenir une tâche au centre).

Ce filtre possède le désavantage d'être extrêmement coûteux (compter plus de 10.000 € !!!) pour des études spécifiques comme nous.

### **3.2. Le bricolage**

Chacun sait cependant qu'une maison... regorge de trésors quand on a un peu d'imagination. Je me suis mis en quête de matériaux fins (pour éviter toute diffusion), les plus sombres possible sans être totalement opaques. Après diverses études, j'ai pu arriver à la détermination d'un empilement « maison » composé de 4 couches de scotch à colis (brun) et de 3 couches de sac poubelles (type sac 50L carrefour).

### 3.2.1. Les matériaux

Le scotch a l'avantage de parfaitement adhérer et donc de minimiser la diffusion. Cependant son pouvoir absorbant est assez faible. Même après 20 couches, la lumière arrive à faire réagir le film. De plus, le film est Brun, le contraste entre le jaune de la lumière courante et le rouge du laser se fait assez mal.

Le sac poubelle a l'avantage de bien absorber. En plus, il est noir. Il absorbe donc uniformément toutes les couleurs. Cependant, il ne colle pas.

L'empilement permet de rassembler les avantages des 2 produits sans en avoir les désavantages.

### 3.2.2. Détermination de l'empilement

La méthode pour déterminer cet empilement fut le suivant :

- Création à la lumière du jour d'un filtre (ou plutôt de plusieurs filtres) en faisant des escaliers pour mettre plus ou moins de couches de chaque matière.

La suite doit se faire dans le noir le plus complet. On peut utiliser une caméra capable de voir le noir avec de la lumière infrarouge (type Caméra Sony). Il ne faut pas oublier que si nous sommes plus ou moins habiles avec nos yeux, nous sommes de parfaits handicapés pour faire de petits travaux à l'aveugle. Petit à petit, on pourra apprendre à sortir et rentrer la cartouche de l'appareil et le film de la cartouche.

- Sortir un papier polaroïd de la cartouche.
- Vite mettre la cartouche en sécurité, en cas de lumière intempestive (pour ma part, l'appareil est l'endroit le plus sûr).
- Coller le filtre sur le papier polaroïd.
- On peut alors allumer la lumière et jouer avec le laser.

Une fois le jeu terminé, on éteint la lumière pour révéler :

- On décolle le filtre (attention, il faut bien faire attention à ne pas trop maltraiter le bord qui contient le gel révélateur. On pourrait compromettre la révélation).
- On remet le papier dans la cartouche, la cartouche dans l'appareil et on sort le papier de l'appareil.

Il ne reste plus qu'à allumer la lumière et attendre le résultat.

## **4. La carte de commande**

**Faite par Olivier SANNIER**

Cette carte doit 'piloter' le LASER, c'est à dire l'allumer au décollage et l'éteindre une fois un délai suffisant écoulé.

Le moyen le plus simple d'avoir une notion de temps avec un système électronique est de charger un condensateur au travers d'une résistance (C1\_L et R1\_L+P1\_L). En effet, l'équation qui donne le temps de pour atteindre un niveau est fonction de R et C :

$$t = -\ln\left(\frac{1-V_{thr}}{V_{cc}}\right).R.C$$

On connaît  $V_{thr}$  la tension de déclenchement d'une porte logique (threshold) et  $V_{cc}$  la tension d'alimentation.

On choisit le temps, on fixe  $C$ , on trouve  $R$  ! Pour cela, on pourra se reporter au fichier 'Valeurs tempo.xls' qui contient un tableau comparatif et les courbes pour le choix des valeurs de  $R$  et  $C$ . Pensez bien à modifier  $V_{thr}$  pour qu'il corresponde à la tension de seuil de la porte utilisée.

On sera informé du décollage par l'intermédiaire de la minuterie qui nous fournit un 'interrupteur' sous la forme de la fermeture d'un opto-coupleur. Au moment de la conception de la carte le LASER avait été oublié sur la minuterie ce qui fait que l'opto-coupleur devait être partagé avec la carte de commande des flashes. On récupère donc un niveau haut en entrée de notre carte commande ce qui n'est pas forcément le meilleur pour nous comme nous allons le voir.

Comme on mesure la tension de  $C1\_L$  on doit forcer sa broche - à la masse et commander la charge par la broche +. Du coup, on doit utiliser un transistor PNP. L'inconvénient c'est qu'il se pilote par un retrait de courant et non pas en en amenant.

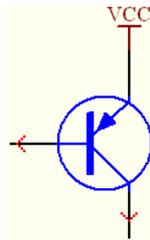


Figure 1 : Le transistor PNP dans son montage classique

Or on nous amène du courant pour déclencher la carte... Il faut donc mettre un autre transistor entre deux, mais cette fois-ci un NPN qui se monte comme suit :

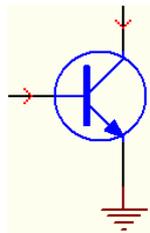


Figure 2 : Le transistor NPN dans son montage classique

La charge du condensateur étant lente, les portes classiques ne peuvent être utilisées. En effet, leur comportement n'est pas fixé entre 0.8V et 2.5V. Ceci signifie que la sortie fait n'importe quoi quand on applique un niveau persistant entre ces deux valeurs. En fait, lors du passage de 0 à 1, la tension passe dans l'intervalle interdit mais si le passage est suffisamment court (< 500 ns), la porte fonctionne correctement. Il faut utiliser une porte à trigger de Schmitt dont le comportement est défini dans cette zone 'interdite'. Elle possède deux tensions de seuil, une supérieure, une inférieure. Quand la tension d'entrée augmente, la tension de sortie est maximale jusqu'à un point donné au delà duquel elle est nulle. Quand la tension d'entrée baisse de nouveau, la tension de sortie reste à 0 jusqu'à un deuxième point en deçà duquel elle redevient maximale. La différence entre ces deux points est appelée l'hystérésis. On retrouve ce comportement sur le graphique ci-dessous

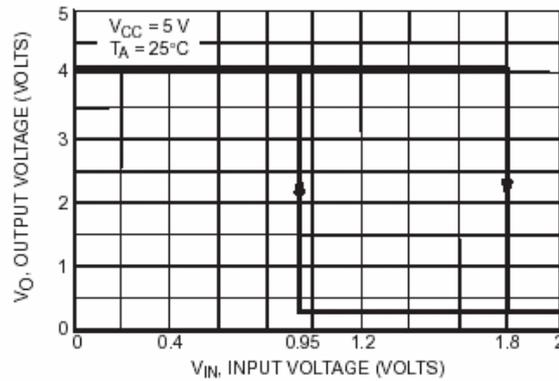


Figure 3 : Vout en fonction de Vin

Les portes de la famille 74LSxxx possédant ce genre d'entrée sont rares : 2 seulement. Le 74LS14 (sextuple inverseur) et le 74LS132 (quadruple porte NON ET). Comme on veut allumer le LASER puis le couper quand le condensateur est suffisamment chargé il faut prévoir d'avoir à réaliser un ET entre l'entrée venant de la minuterie et le chargement du condensateur. Or avec une NON ET, on fait très facilement un NON : Il suffit de forcer une entrée à 1 et on obtient un inverseur, comme on peut le voir sur la table de vérité ci-dessous

	0	1
0	1	1
1	1	0

Figure 4 : Table de vérité d'une porte NON ET

On détecte le chargement du condensateur avec U1\_LA, et cette détection est faite en inversion, c'est à dire qu'on a 1 en sortie tant que le condensateur n'a pas atteint la charge voulue, puis on a un 0 ensuite. Ce qui nous arrange bien puisqu'il suffit de faire un ET entre cette sortie et la sortie de Q2\_L. On utilise donc une porte de U1 pour faire un NON ET puis une autre porte pour inverser ce signal. L'entrée de U1\_LB (patte 5) est 'protégée' par une résistance... Mais finalement, je suis quasiment sûr qu'elle ne sert à rien !!!

En sortie de U1\_LD on récupère donc bien le signal voulu. Mais une porte de la famille 74LSxxx ne peut pas fournir plus de 400µA et le LASER consomme 45mA !!! De plus, il faut ajouter la consommation de la LED de signalisation aux alentours de 20mA. Il faut donc ajouter un transistor pour avoir une amplification de courant. Un simple 2222 (NPN) suffit avec son gain de 150 environ.

On aboutit donc au schéma suivant :

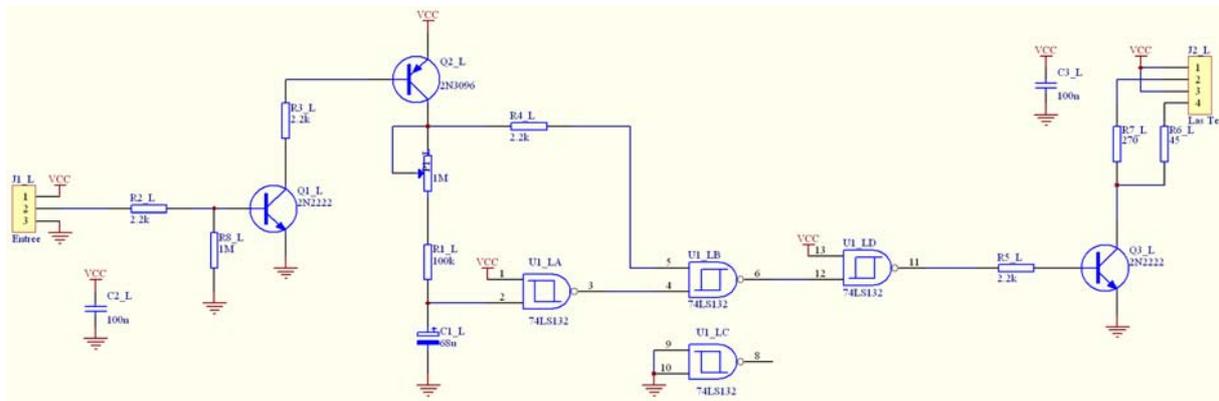


Figure 5 : Montage final

Cette carte a déjà été routée et est pratiquement montée dans la fusée, il est donc impensable de la modifier.

Cependant, maintenant que la minuterie a été refaite, on dispose d'un opto-coupleur spécialement pour la commande du LASER. On pourrait donc se passer de Q1\_L et directement commander Q2\_L au travers de cet opto-coupleur...

Mais on ne va pas refaire toutes les cartes à chaque fois qu'une nouvelle idée survient !!!

## **5. Résultat de l'expérience**

Le résultat a malheureusement été nul. A l'atterrissage, la fusée s'est tordue, laissant entrer une grande quantité de lumière pour lequel le filtre n'était pas conçu. Quelques soit les informations inscrites lors du vol, elles ont, de toute façon, été voilée. Le film n'a pas été révélé, mais il est certain que le résultat aurait été une grande tâche blanche inexploitable.

## **6. Conclusion**

Cette solution a l'avantage d'être facilement mise en place par n'importe qui pour un coût ridicule. Cependant, elle possède un gros désavantage : sur un instant, le fonctionnement de l'œil et d'un papier photosensible est très proche : la lumière change la structure moléculaire ou cristalline des matériaux, mais contrairement au film, l'œil remet constamment ses cellules à leur état initial. Ainsi, une faible lumière pendant longtemps pourra faire réagir autant le film qu'une grosse intensité sur un court instant. Il n'est donc pas sûr que 45 minutes (temps maximal de la fusée en rampe) de lumière ambiante de voile pas totalement les timides traces du laser.

La difficulté pour réaliser le filtre est de trouver un compromis entre un marquage rapide de l'empreinte du laser et un faible marquage de la lumière ambiante. Ainsi, plus on voudra réduire les bruits de la lumière ambiante, plus le déplacement du laser devra être lent.

Pour améliorer le système, il faudrait trouver des matériaux ayant un coefficient de transmission non constant mais :

- faible pour de faibles pour de petites intensité
- élevés pour de grandes intensités

ou bien trouver des films ne réagissant qu'à partir d'un seuil.

Au niveau de la carte de commande, il faut penser à rajouter un interrupteur monostable pour pouvoir facilement décharger le condo et réarmer la minuterie. Un système à transistor commandé par le collecteur pourrait être mis en place pour effectuer cette tâche automatiquement. Cependant du point de vue de la sécurité, il semble très important qu'il y ait une intervention volontaire de l'utilisateur pour permettre au laser de fonctionner à nouveau.

Il faut tout de même bien noter qu'au niveau simplicité, nb de composants... une minuterie de type NE555 est bien plus intéressante. Nous n'y avons pas pensé à l'époque. Il sera donc inutile de refaire un tel montage, sauf si quelqu'un veut à tout prix comprendre le fonctionnement d'un condensateur.



**CLES-FACIL**



<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Olivier Sannier

[olivier.sannier@insa-lyon.fr](mailto:olivier.sannier@insa-lyon.fr)

Antoine Bourcelly

[antoine.boucelly@insa-lyon.fr](mailto:antoine.boucelly@insa-lyon.fr)

Salvatore Gigliuto

[sgigliut@ifaedi.insa-lyon.fr](mailto:sgigliut@ifaedi.insa-lyon.fr)

Julien Truchot

[julien.Trunchot@insa-lyon.fr](mailto:julien.Trunchot@insa-lyon.fr)

## **Projet : ELA**

18 juin 2002  
Version 1.0

## ***Les Flashes***

## 1. Introduction

L'an dernier, Cerbère emportait des appareils photos équipés de flashes. Ceux-ci n'avaient pas été désactivés et fonctionnaient donc toutes les fois qu'une photo était prise, soit toutes les 4 secondes. Certains spectateurs ont affirmé avoir vu les flashes. L'idée de cette année est donc d'embarquer uniquement les flashes dans le seul but que la fusée soit visible dans le ciel. Son nom vient d'ailleurs de là, car ELA signifie éclat de lumière, lequel éclat est généré par les flashes.

## 2. Premières recherches

Il a alors fallu chercher comment fonctionne un flash et comment réaliser un circuit intégrable dans la fusée, fonctionnant à partir de piles. Le meilleur exemple est le circuit présent dans les appareils photos jetables du type du Kodak Fun Flash. Voici à quoi il ressemble :

On y voit un condensateur, une sorte de transformateur, des résistances, une ampoule et le tube du flash. En regardant de plus près, on peut trouver le schéma électrique présent sur la carte :

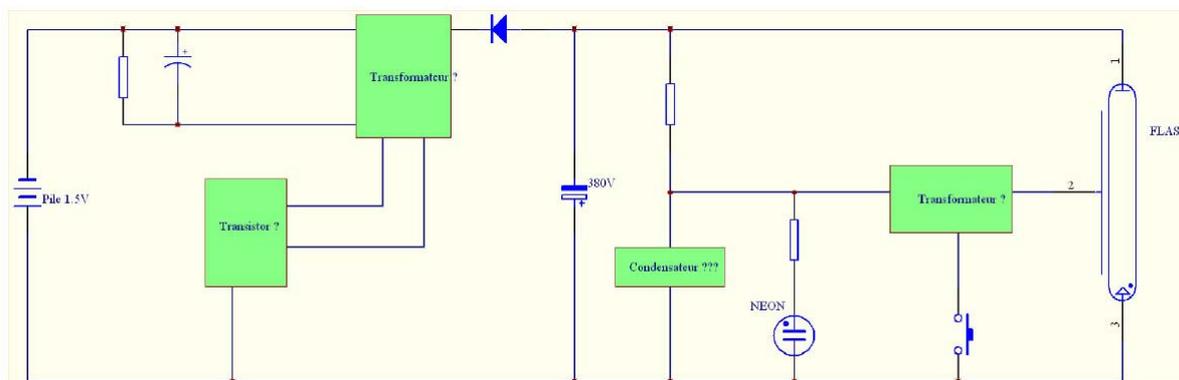


Fig. 1 : Schéma électrique du Kodak Fun Flash

On peut facilement trouver que la partie à gauche de la diode génère la haute tension nécessaire au fonctionnement du flash alors que la partie droite constitue le flash à proprement parler avec l'indicateur de charge. A propos de cet indicateur de charge, il s'agit, comme le tube flash d'un tube de gaz à cathode froide. Le gaz contenu dans le tube est ionisé par la tension appliquée aux bornes du tube ce qui provoque l'émission d'une lumière dont la couleur est déterminée par le type de gaz utilisé. Dans le schéma du Kodak, le Néon clignote pour la raison suivante : Quand la tension appliquée est inférieure à la tension de déclenchement, le tube se comporte comme un interrupteur ouvert. Le condensateur (ou ce qui lui ressemble !) se charge limitant la tension aux bornes du tube. Une fois le condensateur chargé, la tension aux bornes du néon est suffisante et il se met à conduire. Le condensateur se décharge alors violemment provoquant un petit éclair dans le tube. Le condensateur est vide, il se recharge et c'est reparti pour un cycle.

Plus la tension présente aux bornes du gros condensateur est élevée, plus celle appliquée au petit est grande et plus il se charge vite ce qui augmente la fréquence du clignotement jusqu'à atteindre un point où on ne voit plus la coupure. Pour plus de

détails, je vous invite à vous reporter à l'excellent site de M. Hsu, Matthes et Katz en anglais ici : <http://brl.ee.washington.edu/CE/notes/GasBulb/> Sur ce site, on obtient aussi l'explication du fonctionnement du tube flash : On applique une tension de l'ordre de 350V aux bornes du tube ce qui ne fait absolument rien ! Puis on amène un pic de tension sur la troisième broche qui provoque l'ionisation des premiers atomes de gaz, qui grâce à la tension de 350V peuvent exciter leurs voisins et ainsi provoquer une réaction en chaîne aboutissant à un éclair très visible. Plus le gros condensateur a une capacité importante, plus le flash est puissant et donc visible.

### 3. Application à notre cas

#### 3.1. Montage classique

En résumé voici ce qu'il faut qu'on fasse :

- Trouver des gros flashes et leur self de déclenchement
- Trouver un moyen de générer 380V à partir de piles de manière très rapide
- Intégrer tout ça dans la fusée...
- 

Pour les gros flashes, ils ont été trouvés dans le catalogue de Conrad, malheureusement. Les selfs étaient avec. La datasheet associée indiquait un minimum de 350V aux bornes et un condensateur associé de 500µF (oui, oui, 500) Il faut donc maintenant trouver un moyen de générer 400V (par sécurité) à partir de piles et de charger le condensateur rapidement. Comme on s'est limité à 4 flashes dans la fusée, et que l'on veut environ un éclair par seconde, il faut charger chaque condensateur en environ 4 secondes. Dans le catalogue Conrad, nous avons aussi trouvé un transformateur spécialement prévu pour générer 350V à partir de 3V. La datasheet nous donnant un montage tout prêt, il a été réalisé :

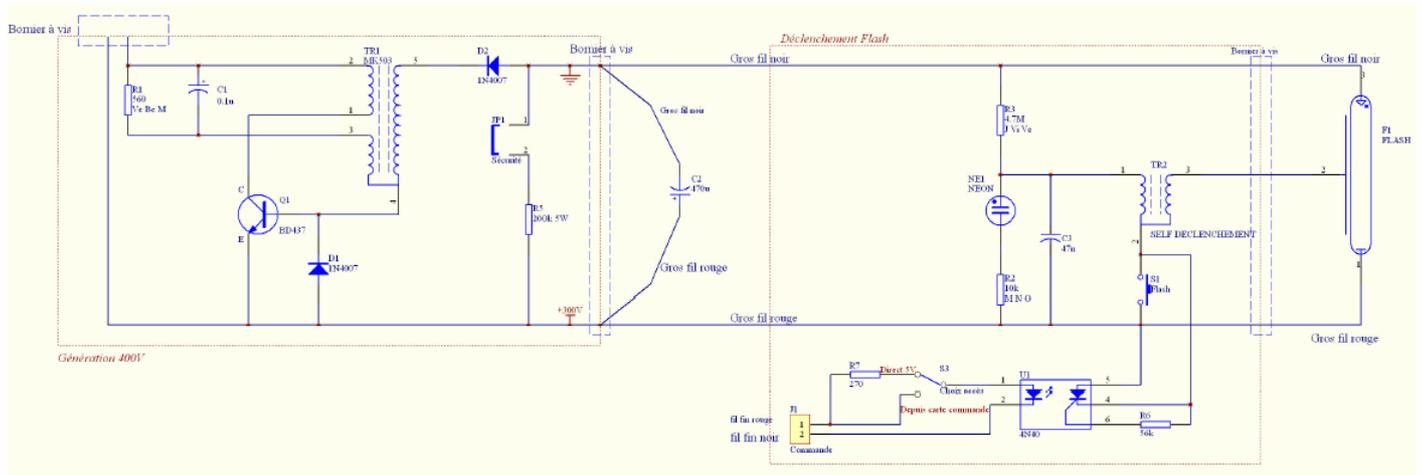


Fig. 2 : Montage expérimental basé sur la datasheet du MK503

L'opto-coupleur en bas à droite est là pour pouvoir déclencher le flash sans appuyer sur le bouton poussoir, mais plutôt en amenant 5V aux bornes de son entrée. Le but était de prouver qu'une isolation parfaite entre les 350V des flashes et les 5V de la fusée est possible. Tout ceci pour des raisons de sécurité évidentes !!!

Je vais essayer de faire une explication du principe de fonctionnement. Cependant cette explication peut être fausse, je n'ai pas réussi à trouver de présentation sur Internet, simplement des bribes de démonstrations. Quand on applique les 3V en entrée, C1 se charge, l'intensité est minimale dans R1, Q1 est bloqué, il ne laisse pas passer le

courant. Une fois C1 chargé, l'intensité est maximale dans R1, et du même coup dans la base de Q1. Donc Q1 conduit, C1 peut se décharger (très rapidement) dans la boucle du primaire de TR1. Cette décharge provoque un pic qui se retrouve au secondaire de TR1 multiplié par 121.5 (donnée constructeur). Ce pic est négatif et donc tire le condensateur à un niveau très bas ce qui le charge. On a donc une charge par extraction plutôt que par insertion ! Au vu du schéma, le pic de tension se retrouve sur la base de Q1 ce qui risquerait de le griller... C'est le rôle de D1 que d'empêcher cette surtension. Une fois C1 déchargé un nouveau cycle peut recommencer. Observé à l'oscilloscope, et entendu à l'oreille, il semble que la fréquence de fonctionnement de cet oscillateur augmente avec la charge du condensateur C2. Pourquoi ? Je n'en sais trop rien, mais je suppose que ça vient du fait que la borne - de C2 est directement reliée à la borne - de C1 ce qui fait que C1 met moins de temps à se charger quand C2 est en fin de charge. Ce fonctionnement est d'ailleurs intéressant car la courbe de charge d'un condensateur est exponentielle. On met très peu de temps à atteindre 2/3 de charge mais on met presque le double pour atteindre 90%. Donc en ayant des pics plus rapides sur la fin, on charge de plus en plus souvent. Ce montage fonctionne parfaitement mais il n'a pas été retenu. Pourquoi ? Il met 20 secondes pour être prêt et les 350V présents en fin de charge sont juste suffisants pour le flash qui avait parfois tendance à ne pas se déclencher complètement.

### 3.2. Montage avec hacheur

C'est alors que Julien est arrivé avec un nouveau montage : Le hacheur. Il l'avait étudié en prépa et devait régler tous nos problèmes. Voici le résultat de ses tests :

Le principe du Hacheur repose sur une constatation simple  $V_C = \frac{q}{C}$ , il suffit de faire rentrer en force des coulombs dans le condensateur pour faire monter sa tension. Pour se faire, on utilise 2 circuits :

- Dans un premier temps, on utilise une inductance et une résistance (aussi petite que possible mais forcément existante dans la réalité).

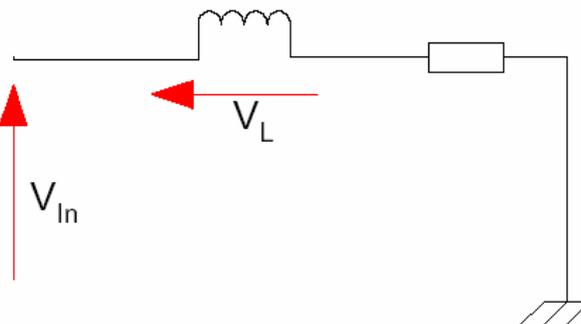


Fig. 3 : Réseau RL simple

Le principe de l'inductance est de s'opposer aux variations de courant. Pendant cette durée, l'inductance va s'habituer au courant qui la traverse. Plus mathématiquement, on peut trouver que la tension à ses bornes est de la forme :

$$V_L = L \frac{di}{dt}$$

$$V_{in} = V_L + Ri$$

$$\frac{dV_{in}}{dt} = 0 = \frac{dV_L}{dt} + \frac{R}{L} V_L = \frac{dV_L}{dt} + \frac{1}{\tau} V_L \quad \text{où } \tau = \frac{L}{R}$$

$$\text{d'où } V_L = V_{in} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{où } \tau = \frac{L}{R}$$

On peut considérer qu'au bout de  $3 \tau$  (temps de réponse à 5%), la tension aux bornes de l'inductance est nulle. Elle se comporte donc comme un fil. Dans un second temps, on rajoute un condensateur. On considère que celui-ci est déjà chargé un minimum, c'est à dire au moins plus que tension d'alimentation. Si ce n'est pas le cas, le condensateur va se charger naturellement.

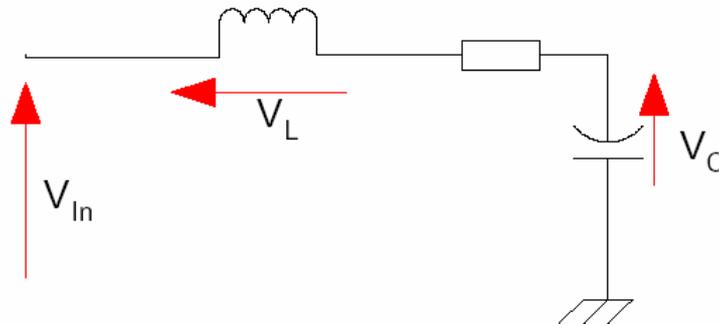


Fig. 4 : Réseau RLC simple

Dans ce cas, l'intensité va brusquement chuter. L'inductance va alors s'opposer à cette variation de courant. Quelques coulombs vont donc être (violemment) mis dans le condensateur. Plus mathématiquement voici la tension que l'on va obtenir aux bornes...

$$V_C = \frac{q}{C}$$

$$V_L = L \frac{di}{dt}$$

$$V_{in} = Ri + V_L + \frac{q}{C}$$

$$\frac{dV_{in}}{dt} = 0 = \frac{R}{L} V_L + \frac{dV_L}{dt} + \frac{1}{C} i$$

$$\rightarrow 0 = \frac{d^2 V_L}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dV_L}{dt} + \frac{1}{LC} V_L$$

$$0 = \frac{d^2 V_L}{dt^2} + 2\omega \tau \frac{dV_L}{dt} + \omega^2 V_L \text{ avec } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ et } \tau = \frac{R}{2\sqrt{L}}$$

en prenant  $\tau = 0,7$  pour avoir un temps de réponse à 5% minimum, on trouve :

$$V_L = \frac{i_0}{C\omega\sqrt{1-\sigma^2}} e^{-\sigma\omega t} \sin(\omega\sqrt{1-\sigma^2}t) \text{ avec } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ et } \tau = \frac{R}{2\sqrt{L}}$$

Il n'est pas facile de résoudre cette équation. On peut cependant affirmer, qu'après  $\frac{1}{\omega}$ , l'intensité est nulle.

### 3.3. Montage mixte

On peut synthétiser ces 2 schémas en un seul.

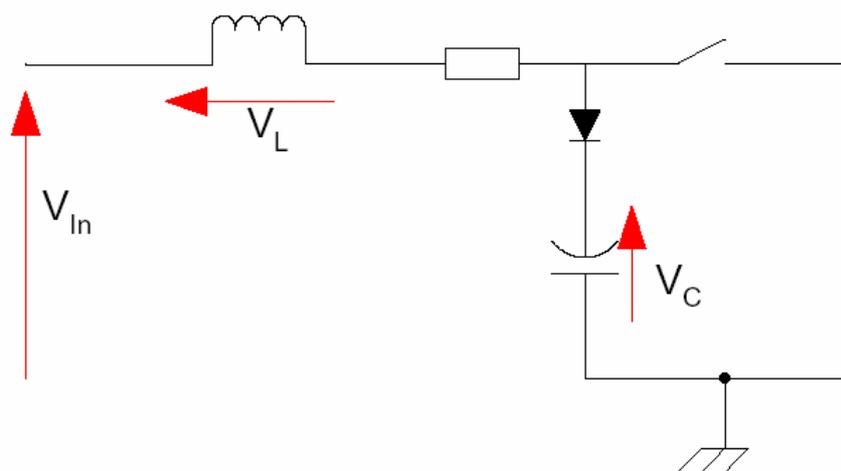


Fig. 5 : Schéma de charge du condensateur

Il suffit donc de répéter rapidement ces deux phases, en rajoutant une diode pour s'assurer que le condensateur ne se décharge pas et un interrupteur (type MOSFET). Théoriquement, en prenant :

- $V_{IN} = 9V$
- Une inductance de 10mH
- Une résistance de  $7 \Omega$
- Et un condensateur de  $400 \mu F$
- 

On est sensé rajouter  $1,8E-3$  Coulombs par périodes (de 2 fois 5 ms) et donc atteindre 400V en

$$400 / \left( \frac{1000 \cdot 1,8E-3}{\frac{10}{400E-6}} \right) = 0,888 \text{ secondes.}$$

Malheureusement, les composants sont loin d'être idéaux et les condensateurs existants relèvent plus de la passoire que de réelles réserves de tensions. Dans la pratique, cette solution est très rapide pour des tensions allant jusqu'à 200V (en moins d'une seconde), mais les performances s'écroulent dès que l'on cherche à atteindre 300V ou même 400V comme dans notre cas.

### 3.4. Le montage UHT

UHT = Ultra haut tension :-)

Que faire alors ? Encore une fois, Julien a eu une idée : Que se passe-t-il si on augmente la tension appliquée en entrée du premier montage ? Personnellement, l'idée d'augmenter la tension ne me plaisait pas. En effet, le transformateur onne 350V à partir de 3V. Si on augmente la tension d'entrée, la tension de sortie du transformateur est augmentée d'autant. Or comme on charge un condensateur qui a une limite de tension, il risque de ne pas apprécier de recevoir 2 ou 3 fois plus que sa tension nominale...

Finalement, deux transistors grillés et une brûlure plus tard, le seul souci est que le transistor utilisé chauffe énormément. Mais le but était atteint car on chargeait le condensateur en 4 à 5 secondes, en fonction de l'état des piles... Un autre facteur accélérateur est aussi d'augmenter la résistance en parallèle sur le condensateur présent en entrée. En effet, plus la résistance est grande, plus la fréquence d'oscillation est élevée et donc plus C2 se charge vite. Mais il ne faut pas trop augmenter la résistance,

passé un certain point, la fréquence est trop grande et dépasse la fréquence que le transistor peut supporter. Dans certains cas, il ne la supporte pas du tout entraînant sa destruction. De plus, plus la résistance est grande, plus l'intensité qui passe dans la base de Q1 est faible. Du coup, Q1 n'est plus vraiment saturé, il fonctionne en mode linéaire et chauffe... Le schéma final pour la partie de génération de la haute tension est le suivant :

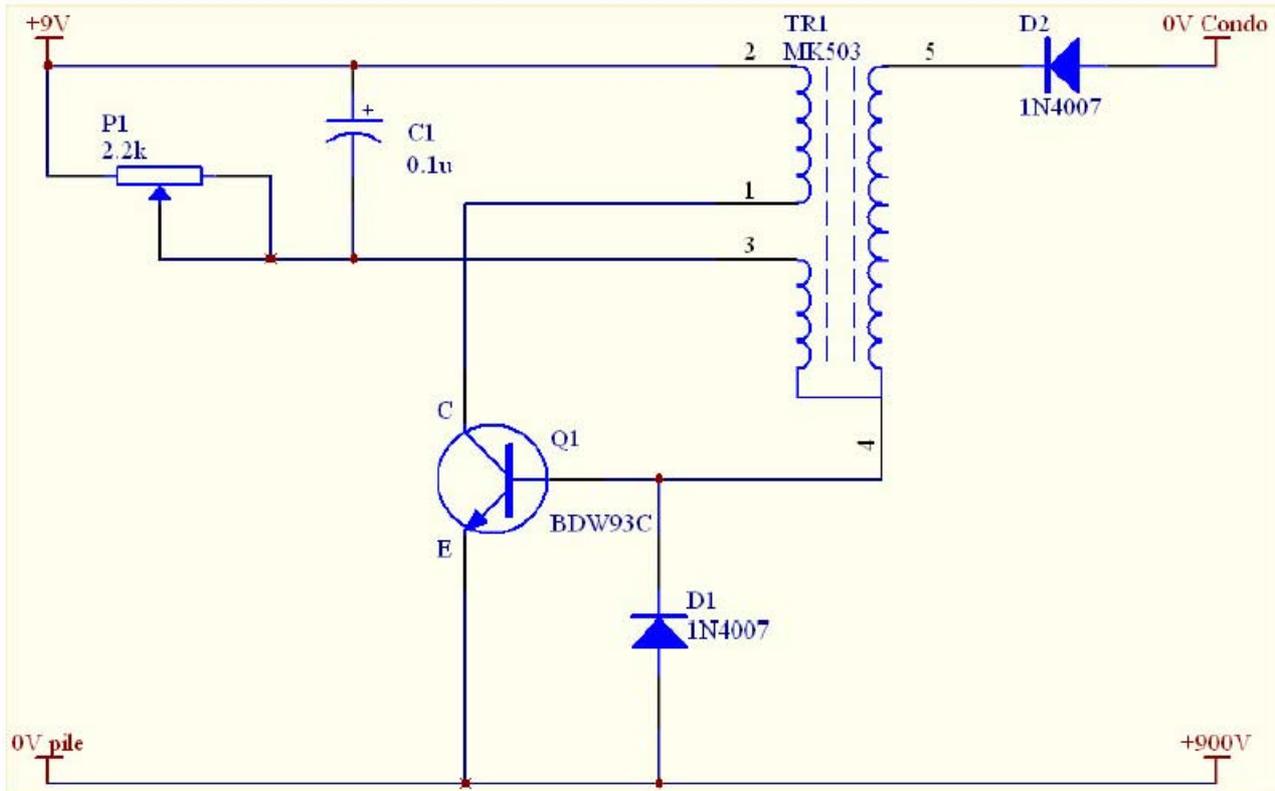


Fig. 6 : Génération de la haute tension, montage final

#### 4. Les dernières difficultés

Maintenant, il faut trouver un moyen de remplacer les interrupteurs physiques qui provoquent le flash par un composant électronique pilotable facilement. Le principal problème est la gamme de tension dans laquelle on travaille. En effet, il n'existe pas de transistors supportant 400V. Le seul composant existant à un prix raisonnable dans un encombrement minime est le thyristor (Silicon Controlled Rectifier – SCR – en anglais). C'est une diode qui se commande via une troisième patte. Le symbole est le suivant :

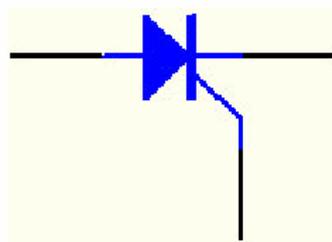


Fig. 7 : un thyristor

Mais attention, le comportement est assez surprenant : On applique une tension entre l'anode et la cathode et aucun courant ne circule. Puis on amène une tension sur la gâchette (patte du bas) et le thyristor conduit comme une diode. Si on retire la tension

sur la gâchette, le thyristor conduit toujours !!!! Et c'est là le problème (ou l'intérêt). En fait, il arrête de conduire quand la tension à ses bornes descend en dessous d'un certain seuil (0.7V en général). La tension applicable sur la gâchette est indiquée dans la datasheet du thyristor et doit être supérieure à 5V en général et ne doit pas dépasser la tension aux bornes de l'anode et de la cathode. Oui mais voilà il faut une masse commune entre le circuit de commande et le circuit des flashes ce qui peut poser un problème de sécurité en cas de fuite du 350V... La solution la plus simple est d'utiliser l'opto-coupleur présenté plus haut dans ce document. Un opto-coupleur permet une isolation entre l'entrée et la sortie grâce à une LED en entrée qui émet une lumière qui fait conduire le transistor, le thyristor présent en sortie. Ainsi, on peut faire une commande extérieure sans aucun risque de fuite car l'isolation minimale entre les deux cotés de l'opto-coupleur est de 1500 kV !!!! Le genre de commande le plus simple est un chenillard, c'est à dire que l'on déclenche les flashes les un derrière les autres en boucle. Pour faire ça, voici un montage possible :

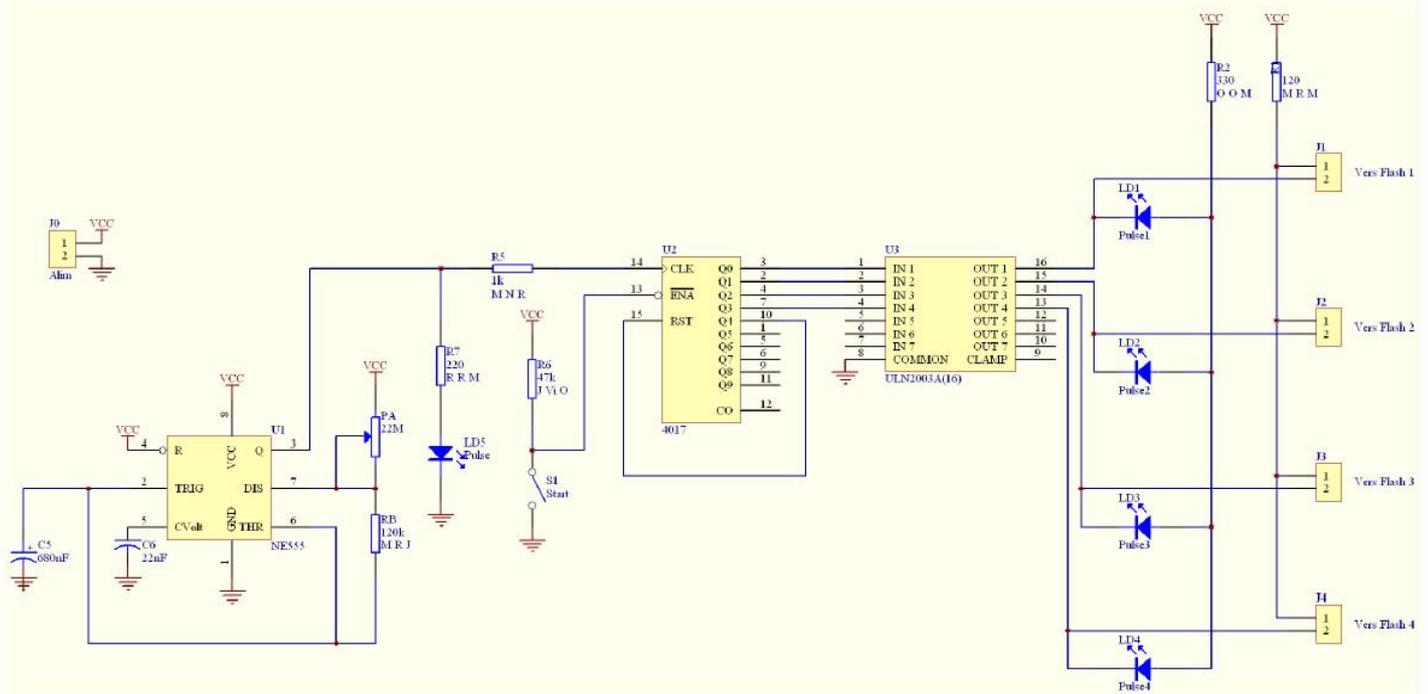


Fig. 7 : Le chenillard de commande

Le NE555 est monté en astable pour produire des créneaux à fréquence réglable par PA. Reportez-vous à la datasheet pour plus de détails sur la fréquence obtenue. LD5 est là pour indiquer les impulsions. Le 4017 est un compteur décimal très commun. Il met à un ses sorties de manière séquentielle à chaque front montant sur son entrée CLK. Il revient à 0 avec un niveau 1 sur son entrée RST. Il n'effectue son comptage que si son entrée ENA est à 0. Dans notre cas, on commence à Q0 puis on passe sur Q1, Q2, Q3 puis Q4. Comme Q4 est reliée à RST, ça repart directement sur Q0.

Le 4017 ne peut fournir que 10mA en sortie or on souhaite piloter deux LEDs par sortie : Une de signalisation et une dans l'opto-coupleur ce qui fait un total d'environ 30mA. Pour cela, on utilise un tampon du type ULN2003. Il contient 8 transistors NPN montés en collecteur ouvert qui peuvent fournir jusqu'à 500mA. Voici le circuit équivalent d'un des 8 transistors présents :

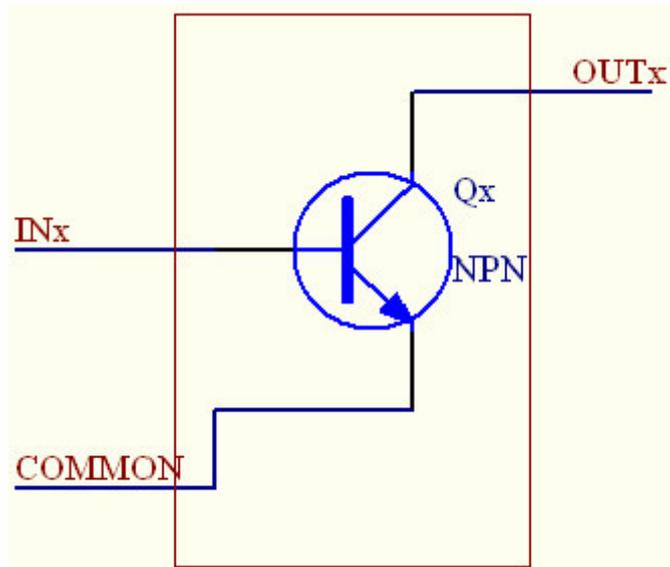


Fig. 7 : 1/8 de l'ULN 2003

Le montage en collecteur ouvert est assez simple à comprendre : On amène un signal à un sur la base et on ne récupère pas un signal à un en sortie mais un 'interrupteur' fermé vers la masse en sortie. Ainsi, si on veut monter une LED, il faut l'alimenter directement et faire passer le courant vers le transistor et non pas le contraire pour allumer la LED quand on applique 1 en entrée. Ce type de sortie facilite aussi le montage d'un inverseur puisque cette fois là, il suffit de mettre une résistance entre le + et OUTx et la LED orientée dans le bon sens entre OUTx et la masse. Ainsi, si on applique 0, le transistor est bloqué, le courant circule dans la LED, elle s'allume. Si on applique 1, le transistor est saturé, le courant circule dans le transistor vers la masse, la LED est éteinte...

Le principal avantage du chenillard est le fait d'être sûr que le délai entre chaque flash sera constant et donc on est sûr de voir des flashes à fréquence constante. Mais l'inconvénient c'est que le délai est réglé une fois pour toutes au décollage alors que les flashes vont se charger plus longtemps car les piles ne fourniront plus autant d'énergie sur la fin du vol.

Du coup, au début du vol, le chargement des condensateurs sera fait pendant plus de temps que nécessaire. Or on ne charge pas avec des impulsions de 380V mais plutôt de l'ordre du millier de Volt... En début de charge, ce n'est pas un problème, mais sur la fin, ça risque de détruire le condensateur. En fait, c'est un peu comme si on remplissait une bouteille d'eau au Karcher ! Au début, la pression appliquée en impulsion remplit rapidement la bouteille en forçant sur le fond mais la bouteille tient. Sur la fin, la pression appliquée se reporte dans l'eau déjà présente et on risque de faire craquer les parois... voire même de faire déborder la bouteille et de nous éclabousser !!!

Pour nos condensateurs, le problème est le même et si on garde le principe du chenillard. Il faut alors prévoir un système permettant de couper la génération de la haute tension, quand on a atteint le niveau désiré (environ 380V). Pour ça, on peut utiliser un AOP monté en comparateur de tension qui pilote un MOSFET mis sur l'entrée des piles. C'est une énorme complication pour pas grand chose, en effet, la place n'est pas infinie sur les cartes, encore plus à cause du radiateur à embarquer. Il a donc été décidé de trouver un montage qui permet de déclencher les flashes dès que le condensateur associé est chargé, même si ça implique la possibilité que tous les flashes se déclenchent en même temps. Pour ce montage, on reproduit celui utilisé pour faire des minis stroboscopes embarquables dans les fusées à eau (voir la documentation de Salvatore sur le sujet)

## 5. Montages finaux

### 5.1. Pour le déclenchement

On arrive donc au schéma suivant pour le déclenchement automatique :

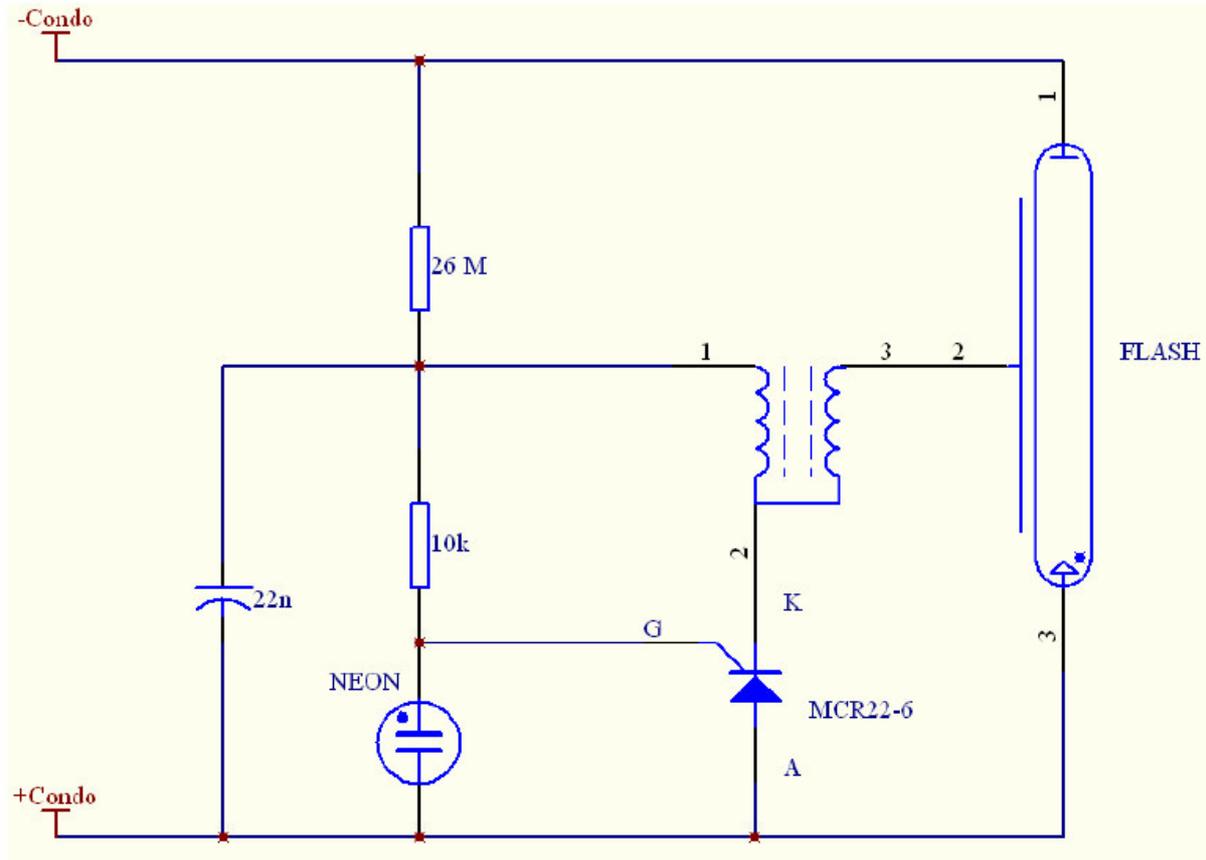


Fig. 8 : Schématique de déclenchement final

La lampe Néon déclenche aux alentours de 210V (difficilement trouvable dans le commerce, récupérée sur des jetables). Hors nous avons 400V. Il faut donc mettre une grosse résistance pour que la tension appliquée à la lampe soit de 200V quand on est à 400V au condensateur. Je n'ai pas de méthode pour calculer la valeur, ce n'est qu'après avoir testé qu'on a trouvé la bonne valeur ! Le thyristor utilisé est un MCR22-6 car il était disponible en free sample chez On Semiconductors. Il peut être remplacé par un TIC 106M sans problèmes. La résistance de 10k détermine la vitesse de décharge du condensateur dans le Néon. Il ne faut pas qu'elle soit trop grosse sous peine de ne pas avoir une impulsion suffisamment courte pour bien déclencher le thyristor. Si elle est trop faible, l'impulsion peut être si courte que le thyristor ne se rend compte de rien ! 10k, ça marche, c'est pareil, c'est une valeur pifométrique trouvée sur les jetables...

### 5.2. Pour une carte flash

Voici donc le schéma final d'une carte flash :



La résistance entre la base de Q1 et la masse n'est pas nommée, elle a été oubliée sur le routage de la carte montée dans la fusée. Elle a été rajoutée directement sur le côté cuivre et sa valeur est actuellement de 220k. Elle est utilisée pour bloquer le transistor quand le fil d'entrée est laissé libre.

Les transistors présents dans l'opto-coupleur ne supportent pas l'intensité requise par les piles (entre 5 et 10A en pointe). Pour cela, on les fait piloter des MOSFETs. Pourquoi des MOSFETs et pas des transistors ? Tout simplement parce que la commutation d'un MOSFET s'effectue en tension et pas en intensité comme un transistor. L'avantage est donc que l'on ne consomme rien du tout quand il est saturé. Ceci permet de réduire considérablement la consommation électrique de la partie en 5V. En effet, l'opto-coupleur a une fonction de transfert : on obtient en sortie X fois l'intensité appliquée sur les LEDs en entrée. La valeur de X se trouve dans la datasheet fournie par le constructeur. Par exemple, pour le MCT62 voici la courbe donnée :

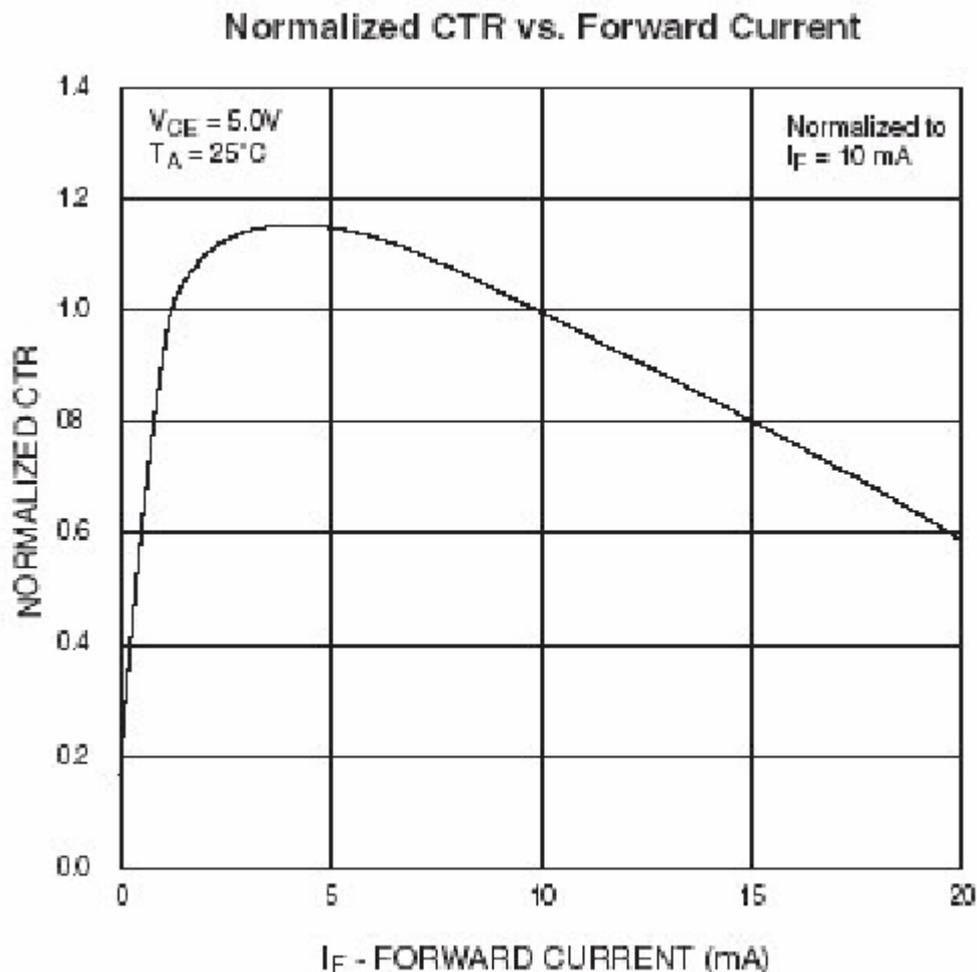


Fig. 11 : Taux de transfert de courant en fonction du courant d'entrée

Par exemple, posons que l'on met 5mA en entrée. On trace une droite verticale à 5mA et on croise la courbe à environ 1.15. Ce qui veut dire qu'en sortie, au maximum, on pourra tirer  $5 \times 1.15 = 5.75$  mA sur les transistors. Dans le cas du MOSFET, le courant est nul en fonctionnement ! Alors comment calculer l'intensité à mettre sur les LEDs ? Tout simplement en sachant que le MOSFET consomme très peu au moment où il commute car la grille se comporte comme un condensateur de quelques picofarads. Donc on fournissant 3 ou 4mA en entrée, on a largement de quoi faire en sortie pour charger la grille des MOSFETs.

## **6. Les MOSFETs**

Quelques détails sur l'utilisation des MOSFETs : Ici, ce sont des types N. C'est à dire qu'on les pilote en appliquant une tension positive et que c'est la tension entre G et S qui est mesurée. Ceci est important car il faut absolument que S soit à un potentiel fixe par rapport à G. En clair, on met S à la masse et on met la charge entre le + et D comme avec un transistor NPN. Le contraire fonctionne mais n'est pas fiable (échauffement, oscillation...) D'autre part, la grille d'un MOSFET classique nécessite un voltage minimal pour être complètement saturée. S'il n'est pas saturé, le MOSFET est en régime linéaire ce qui le fait chauffer alors qu'en conditions normales, il ne chauffe pas (ou très peu aux alentours de 30A). Or dans la plupart des cas cette tension est de 10V. Et ici, on travail avec 9V au début mais moins sur la fin du vol. Les fabricants sont au courant du problème et proposent des MOSFETs Logic Level quiaturent à 5V (tout en supportant 20V). Ce sont d'ailleurs des MOSFETs de ce type qui ont finalement été utilisés à la place des MTP1306. Les modèles pris sont des MTP3055VL

Maintenant que la partie 'théorique' est vue, passons à la pratique, à savoir la réalisation des cartes et leur intégration dans le cône.



<http://www.insa-lyon.fr/Insa/Associations/ClesFacil/>

Laurent Ruet

[lruet@gmdsieur.insa-lyon.fr](mailto:lruet@gmdsieur.insa-lyon.fr)

Louise Pontal

[lpontal@gmdsieur.insa-lyon.fr](mailto:lpontal@gmdsieur.insa-lyon.fr)

Joël Roustant

[jroustant@yahoo.fr](mailto:jroustant@yahoo.fr)

Isabelle Sembely

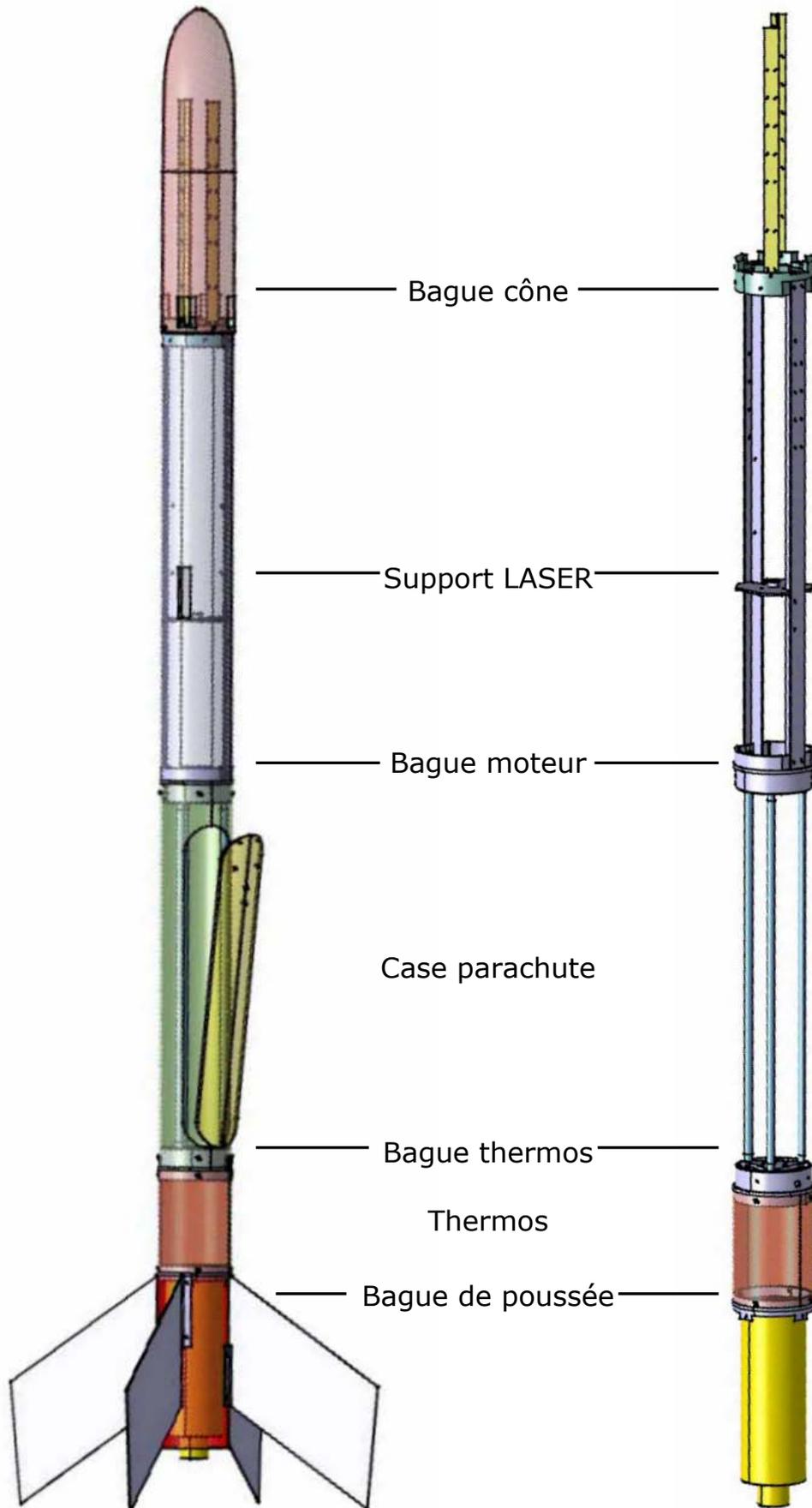
[isembely@gmdsieur.insa-lyon.fr](mailto:isembely@gmdsieur.insa-lyon.fr)

## **Projet : ELA**

10 décembre 2001  
Version 1.0

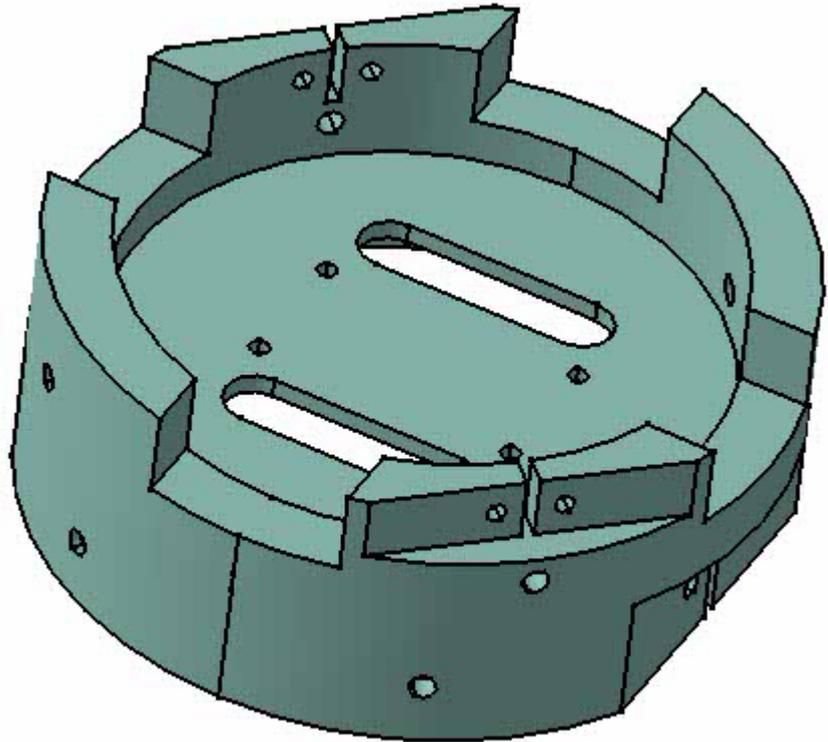
## ***Les plans mécaniques***

# 1. Vues d'ensemble

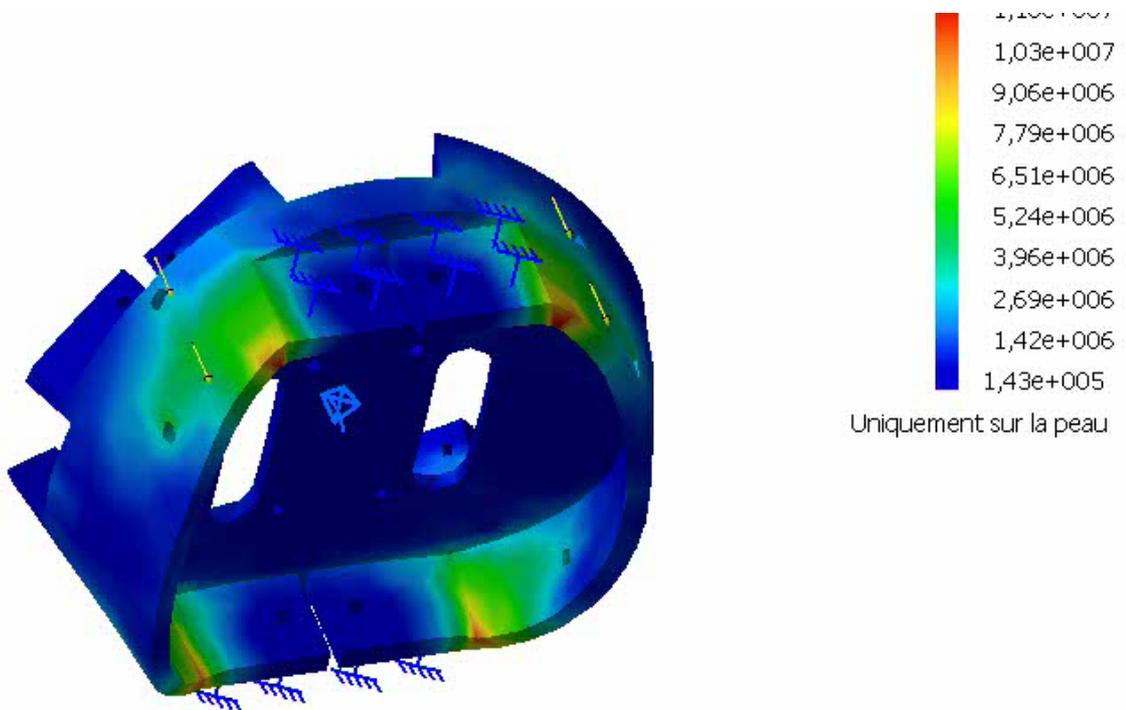


## 2. Bague cône

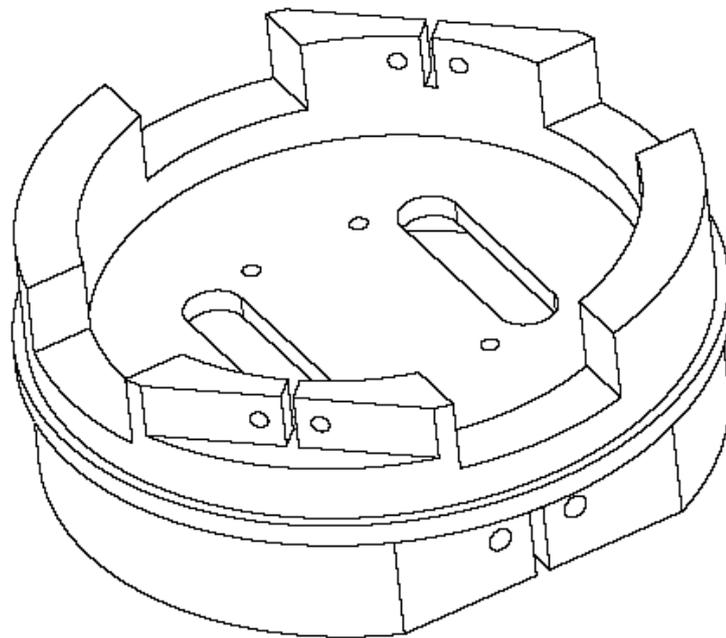
### 2.1. Vue 3D



### 2.2. Vue avec les efforts



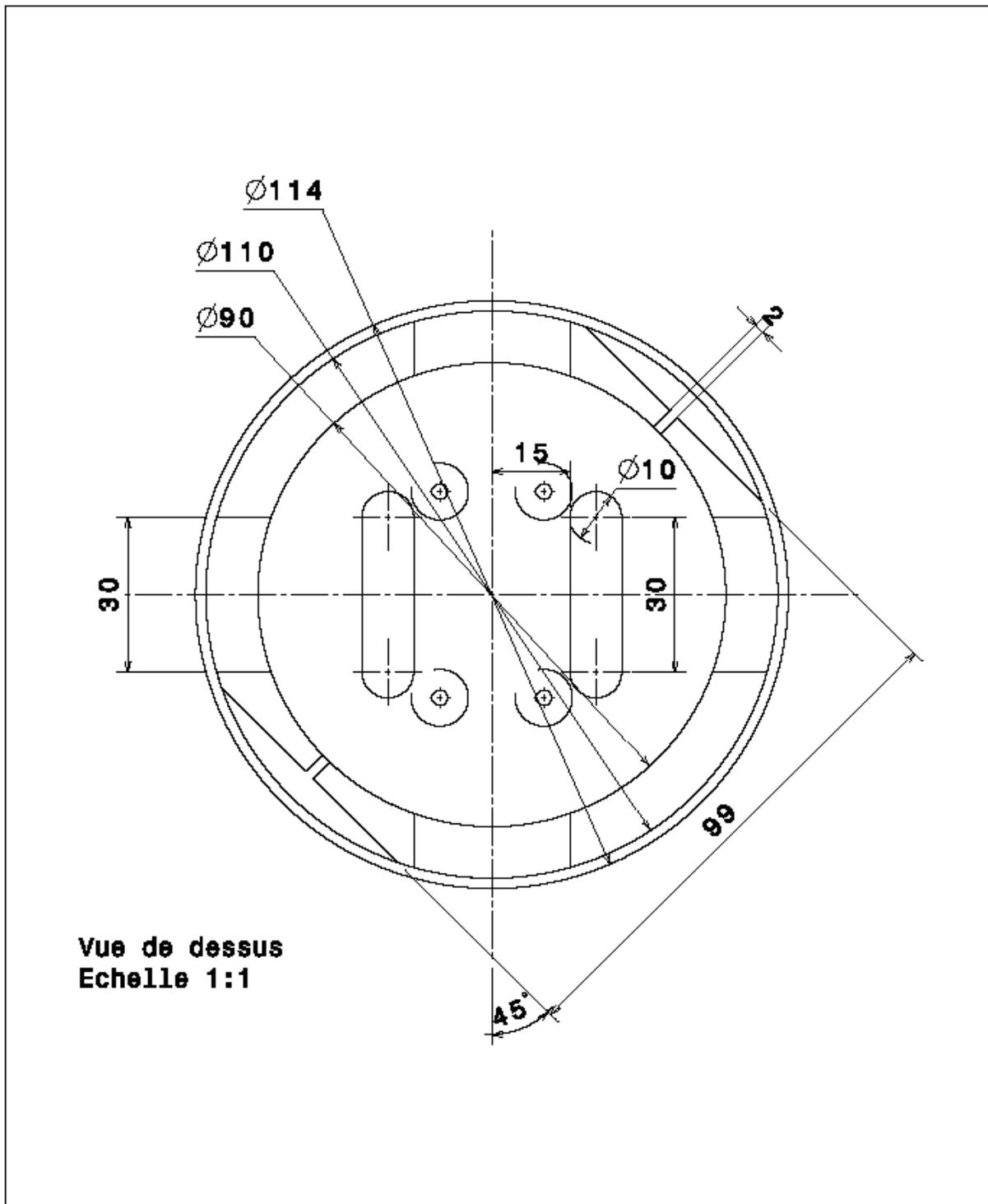
### 2.3. Vue isométrique



**Vue isométrique  
Echelle :1**

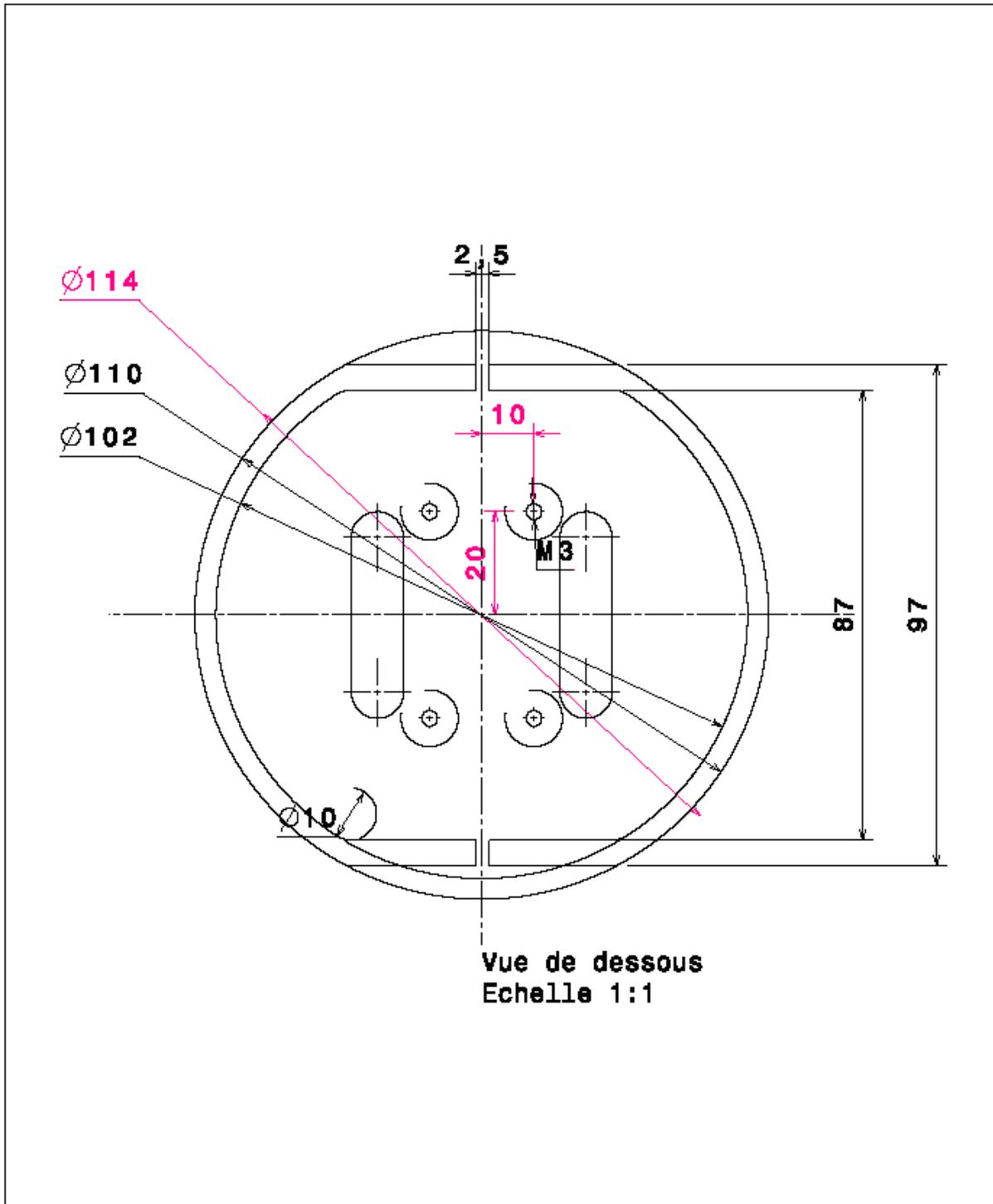
Q : 1	FUSEE ELA Bague cone	C L E S F A C I L
Mat. : AU4G Ech : 1/1		
Dessiné par Ruet	CLES-FACIL	
le 03/12/01	e-mail responsable : lruet@gmdsreur.insa-lyon.fr	

## 2.4. Vue dessus



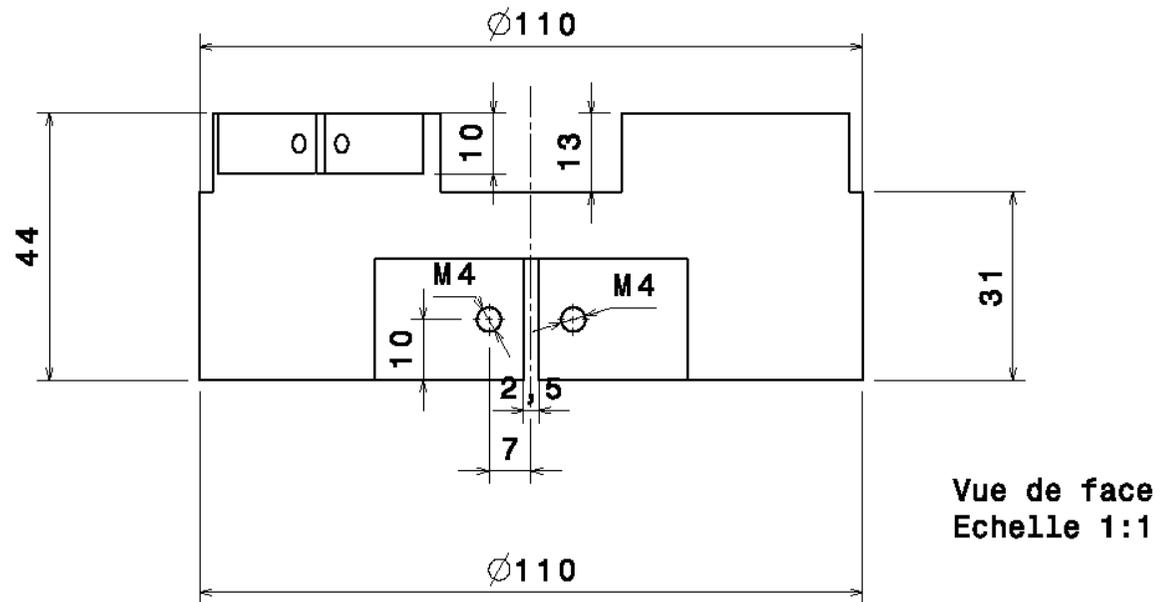
Q : 1	FUSEE ELA Bague cone	C L E S F A C I L
Mat. : AU4G		
Ech : 1/1		
Dessiné par Ruet	CLES-FACIL	
le 03/12/01	e-mail responsable : lruet@gmdserveur.insa-lyon.fr	

## 2.5. Vue de dessous



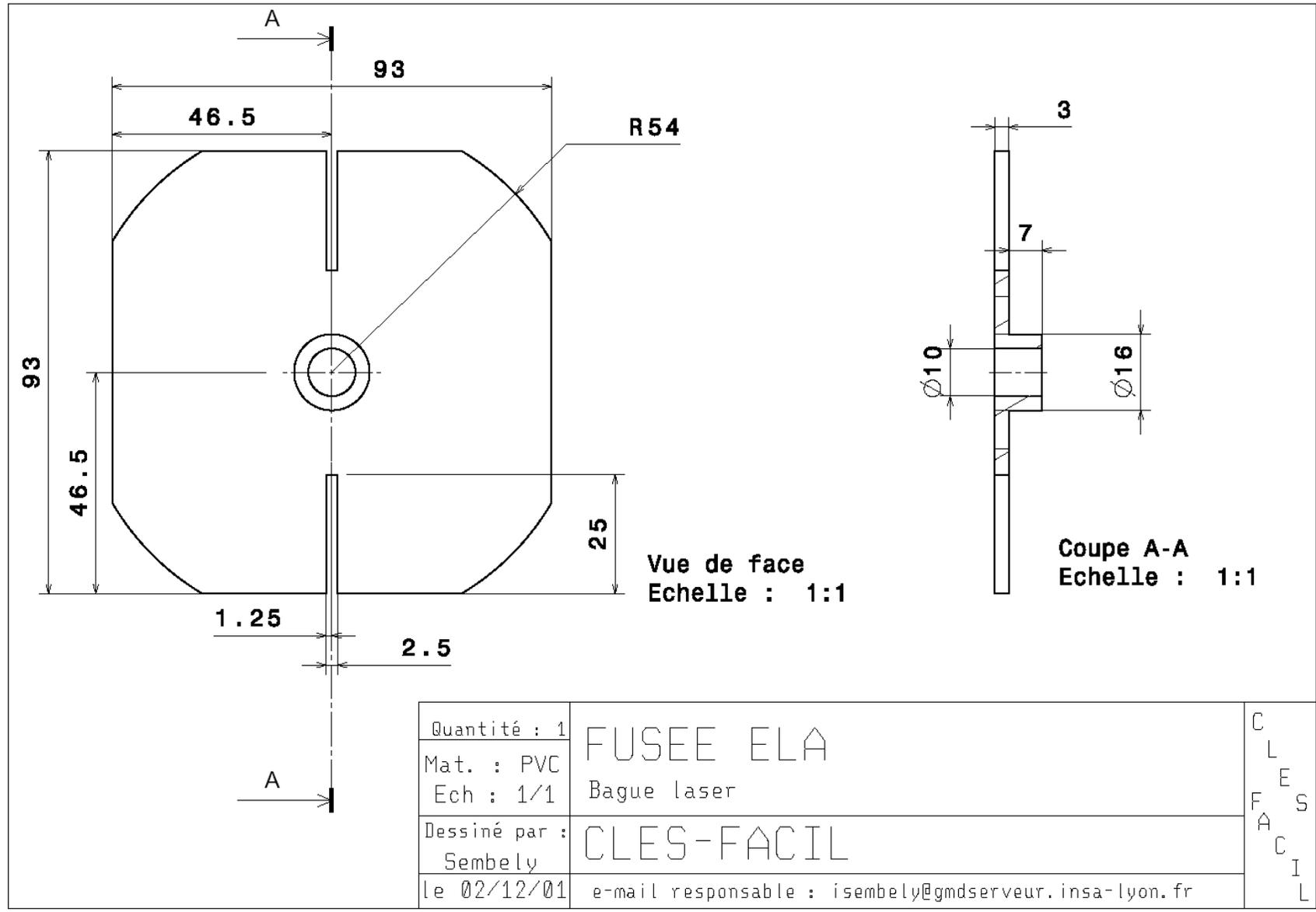
Q : 1	FUSEE ELA Bague cone	C L E S F A C I L
Mat. : AU4G Ech : 1/1		
Dessiné par Ruet	CLES-FACIL	
Le 03/12/01	e-mail responsable : lruet@gmdsreur.insa-lyon.fr	

## 2.6. Vue de coté



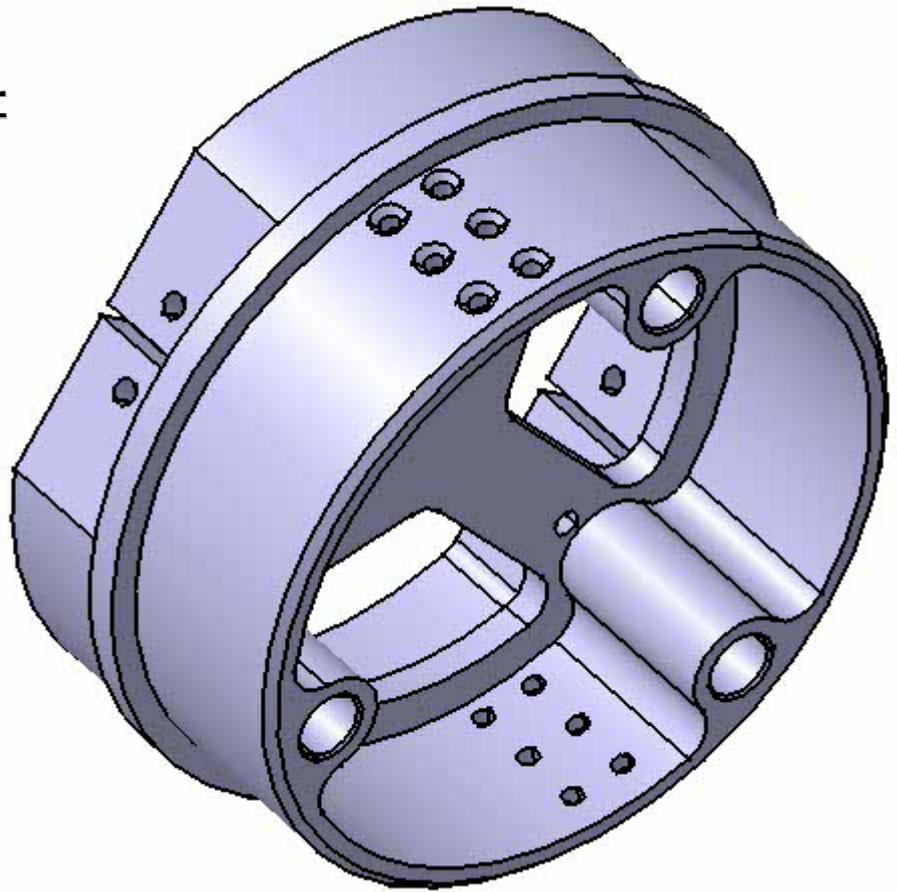
Q : 1	USEE ELA Bague cone	C L E S F A C I L
Mat. : AU4G Ech : 1/1		
Dessiné par Ruet	CLES-FACIL	
le 03/12/01	e-mail responsable : lruet@gmdsserveur.insa-lyon.fr	

### 3. Support LASER

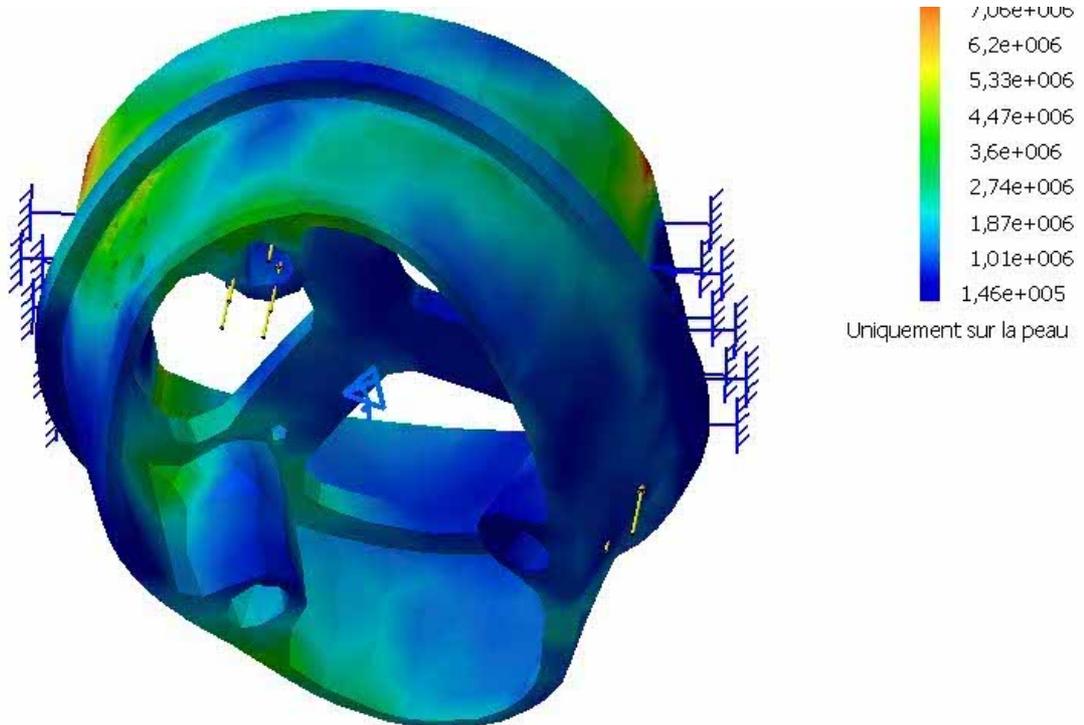


## 4. Bague moteur

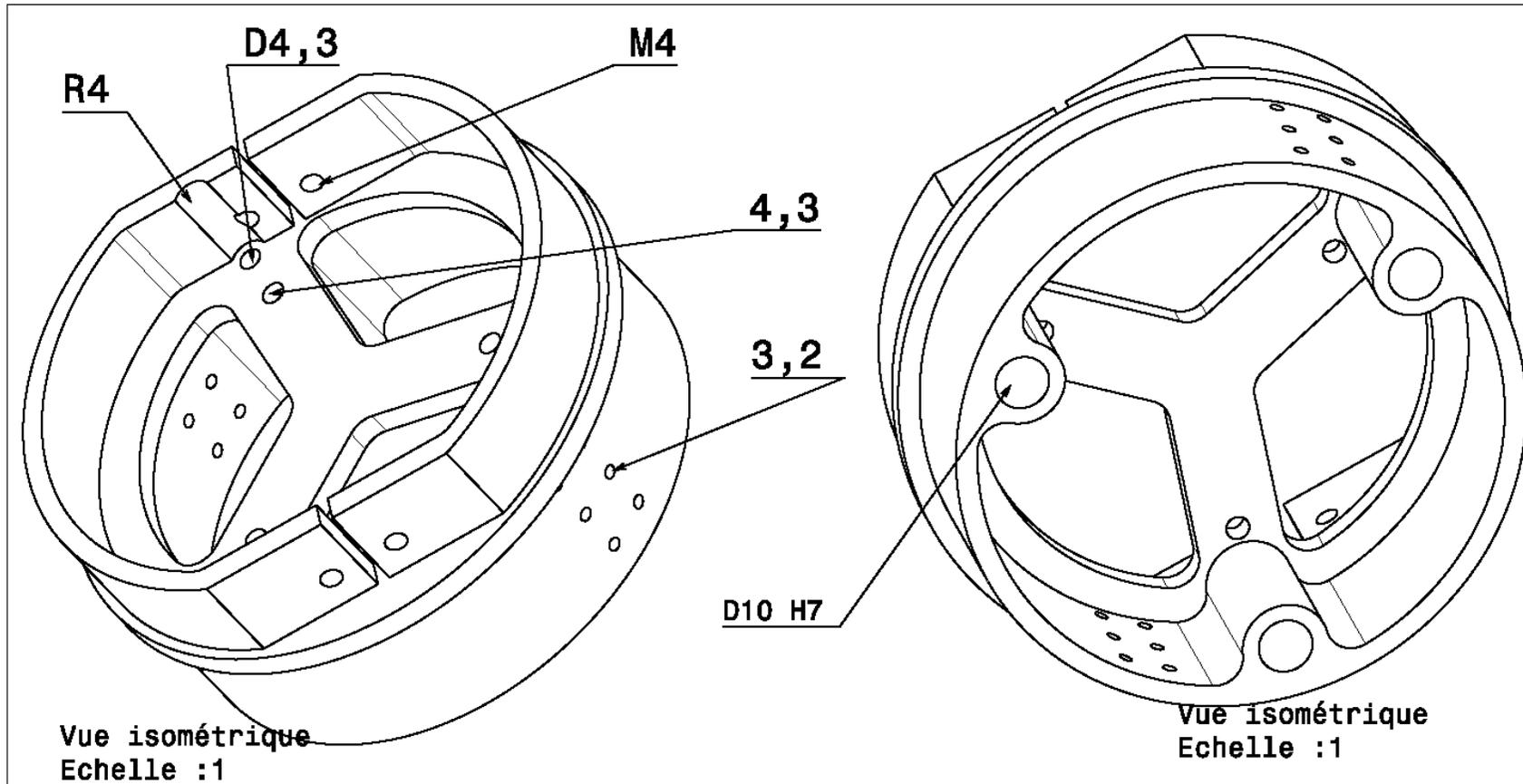
### 4.1. Vue 3D



### 4.2. Vue avec les efforts

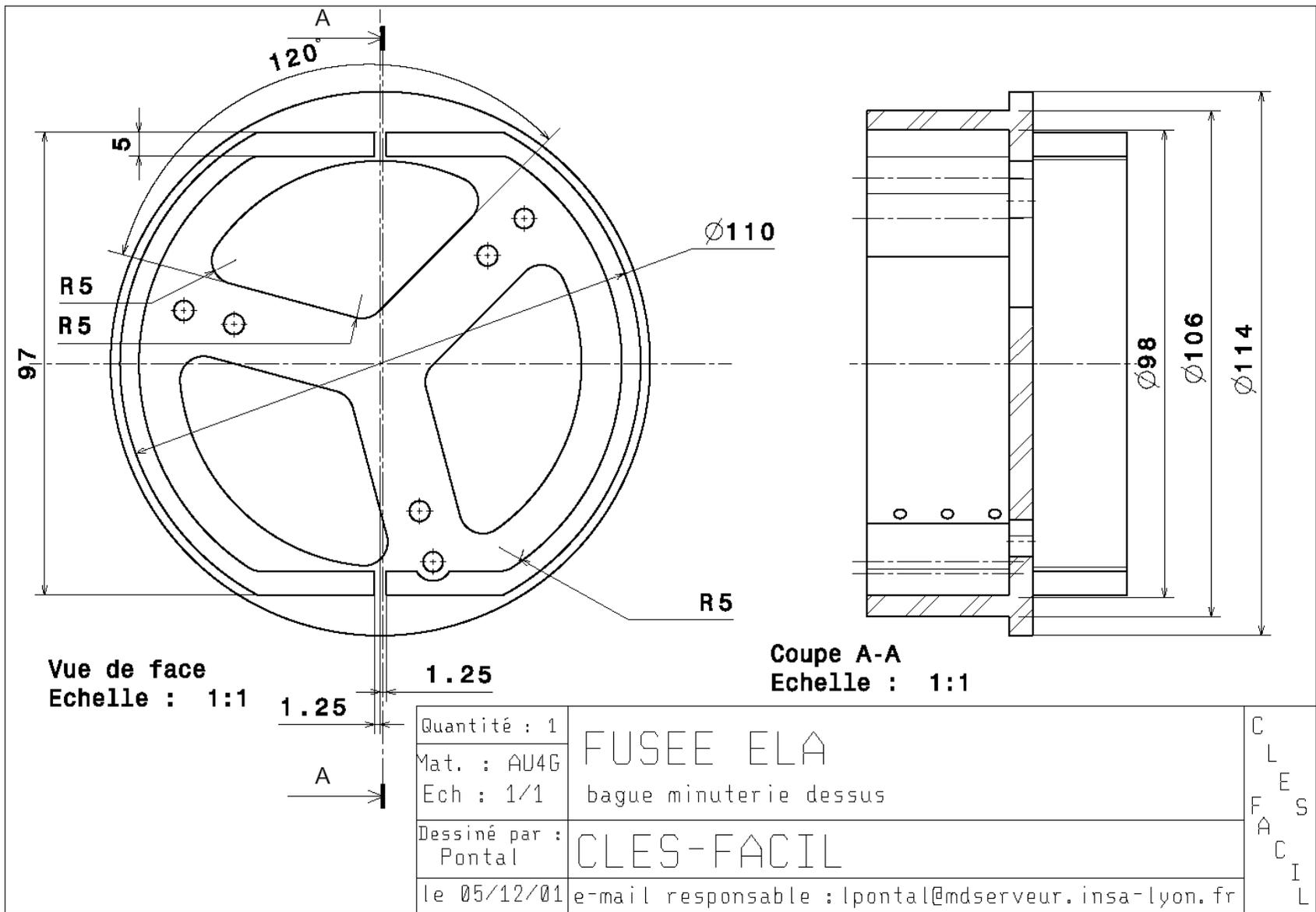


### 4.3. Vue isométrique

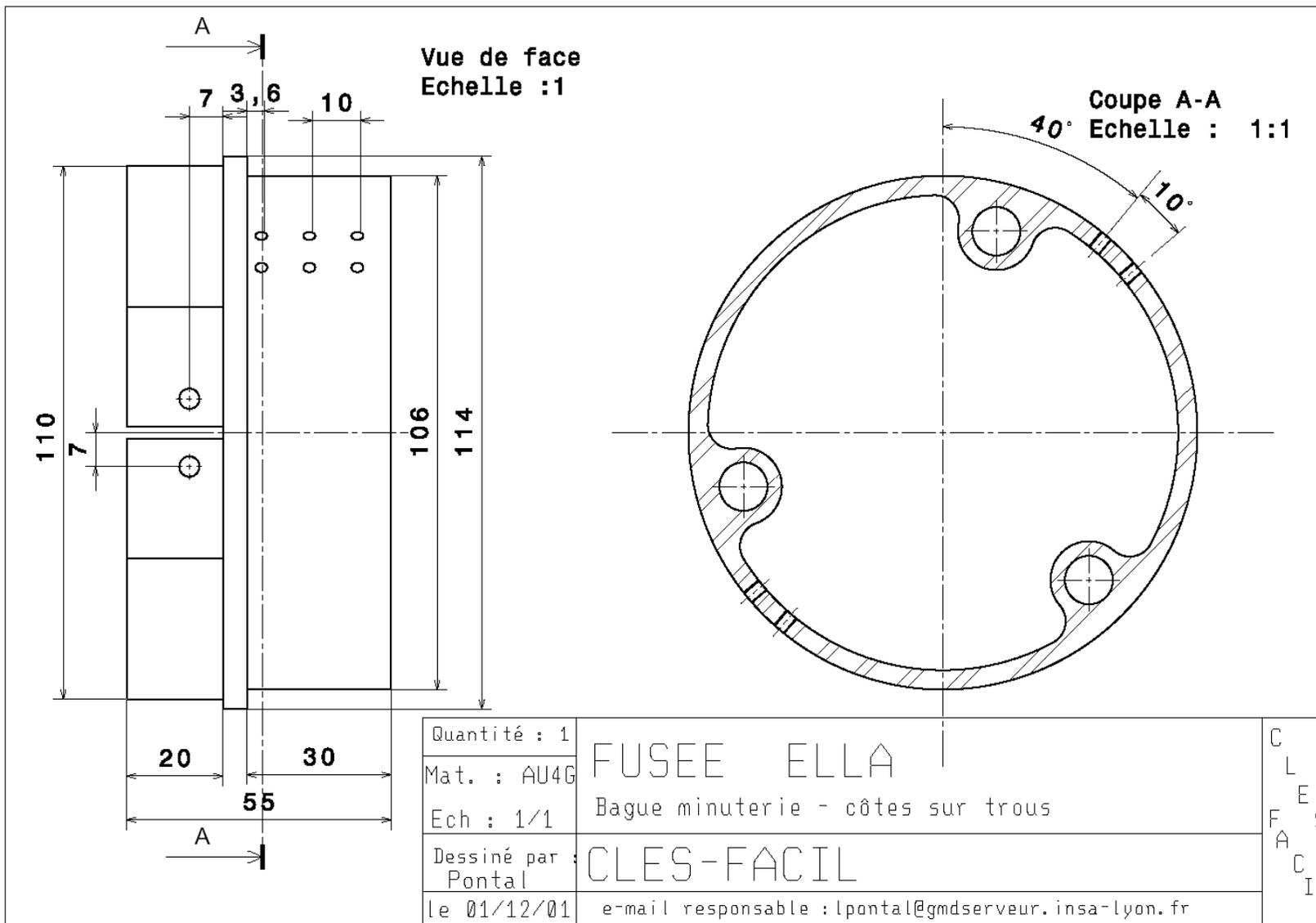


Quantité : 1	FUSEE ELLA Bague minuterie - vues isométriques	C L E S F A C I L
Mat. : AU40		
Ech : 1/1		
Dessiné par : Pontal		
le 01/12/01	e-mail responsable : lpontal@gmdsreur.insa-lyon.fr	

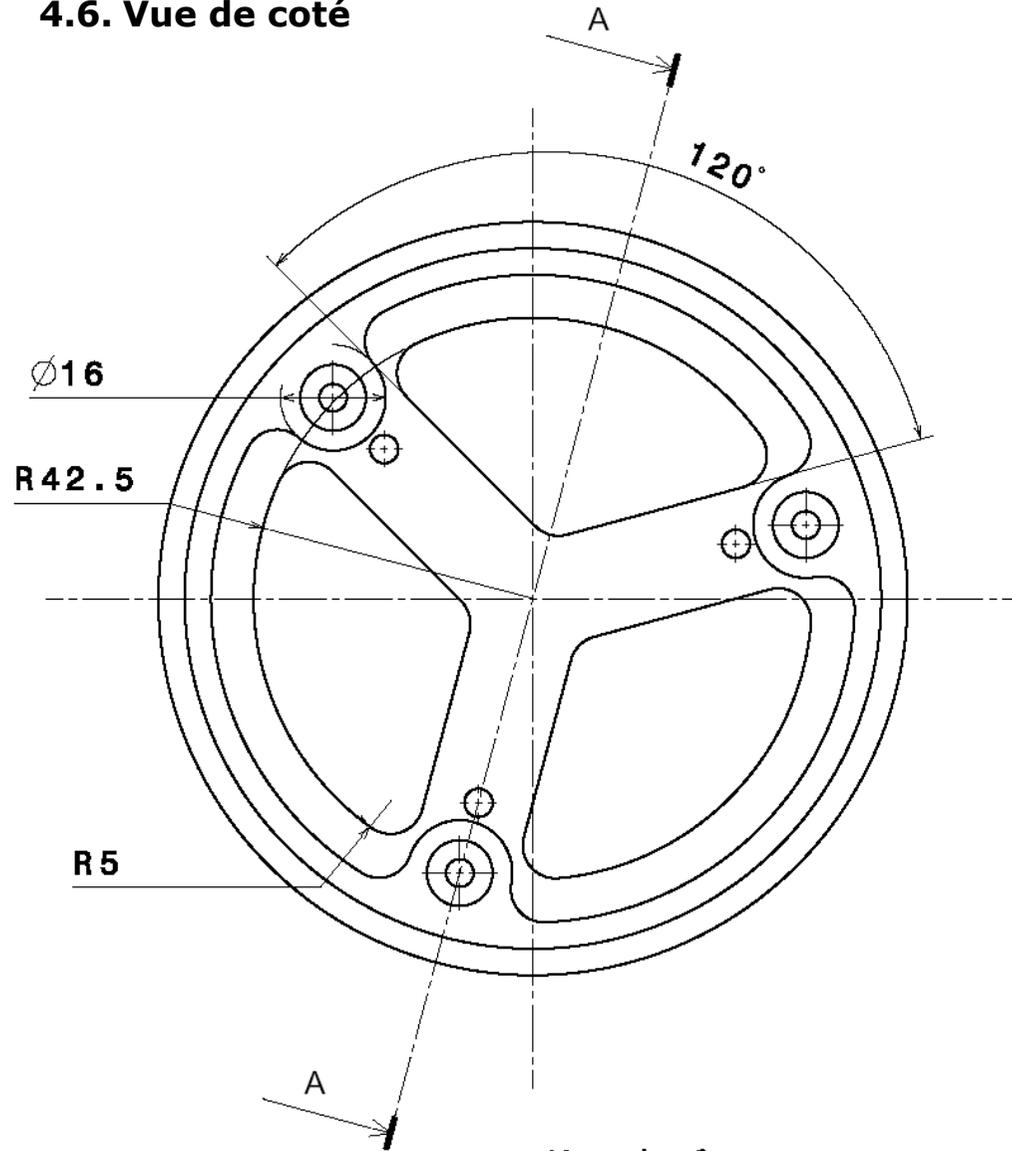
#### 4.4. Vue de dessus



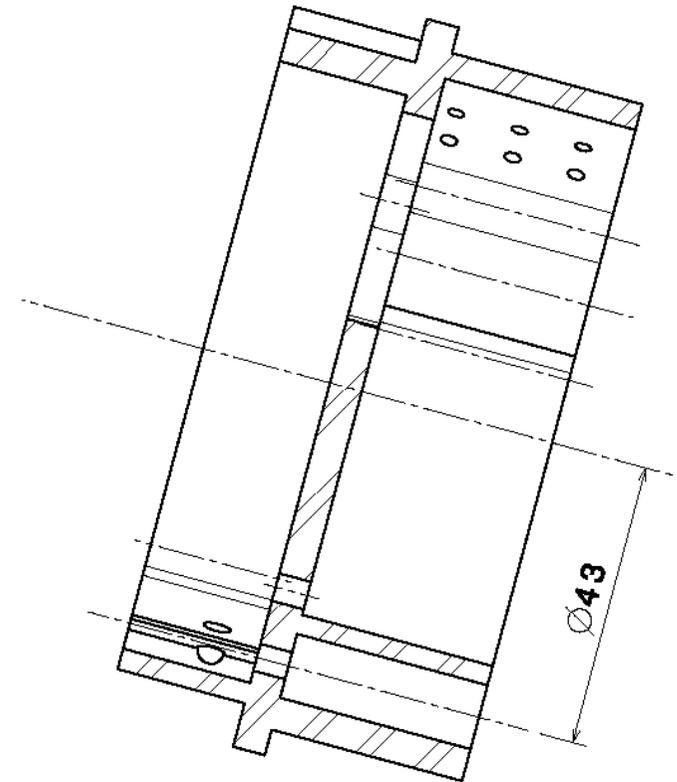
### 4.5. Vue de dessous



#### 4.6. Vue de coté



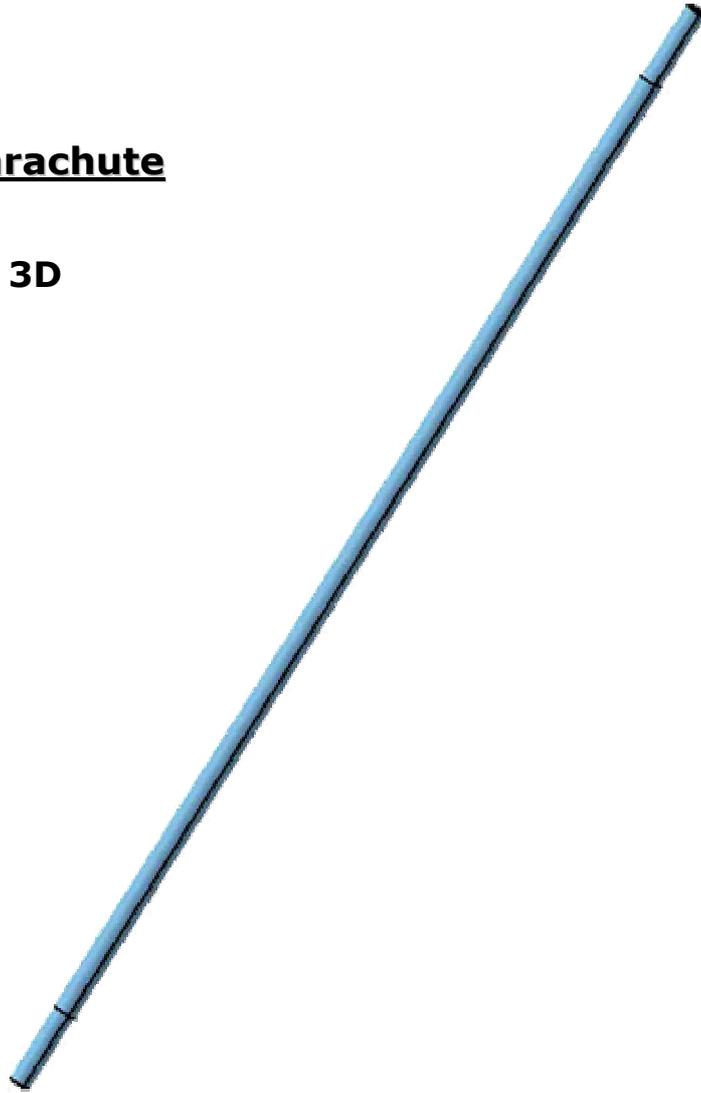
Coupe A-A  
Echelle : 1



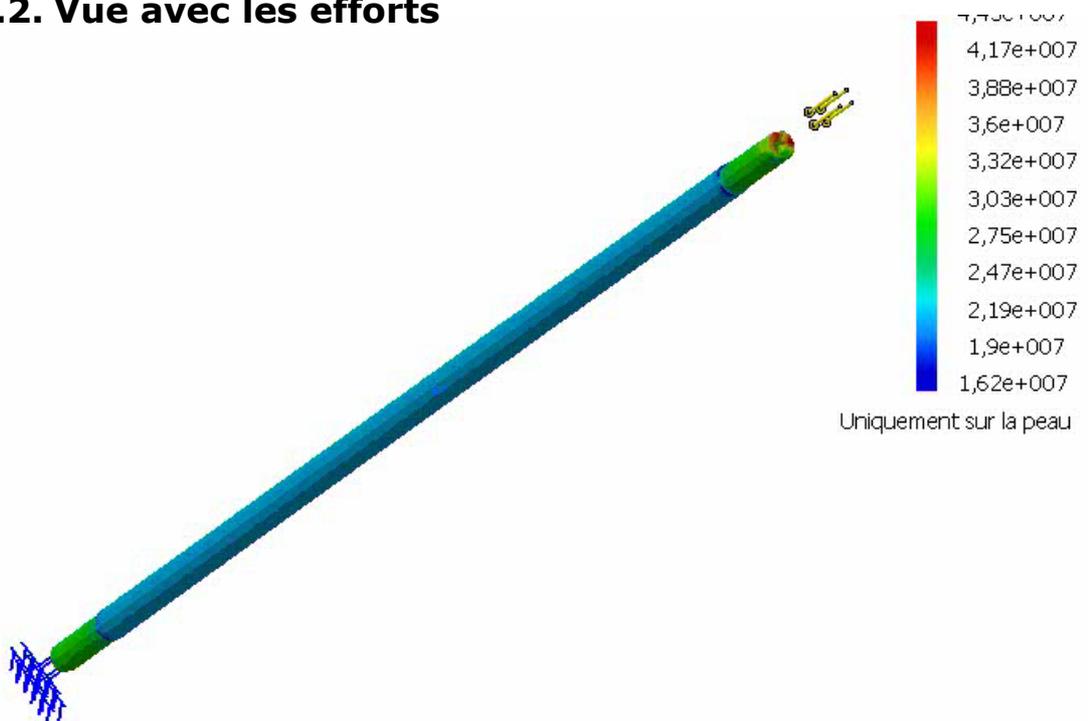
Vue de face  
Echelle : 1

## 5. Case parachute

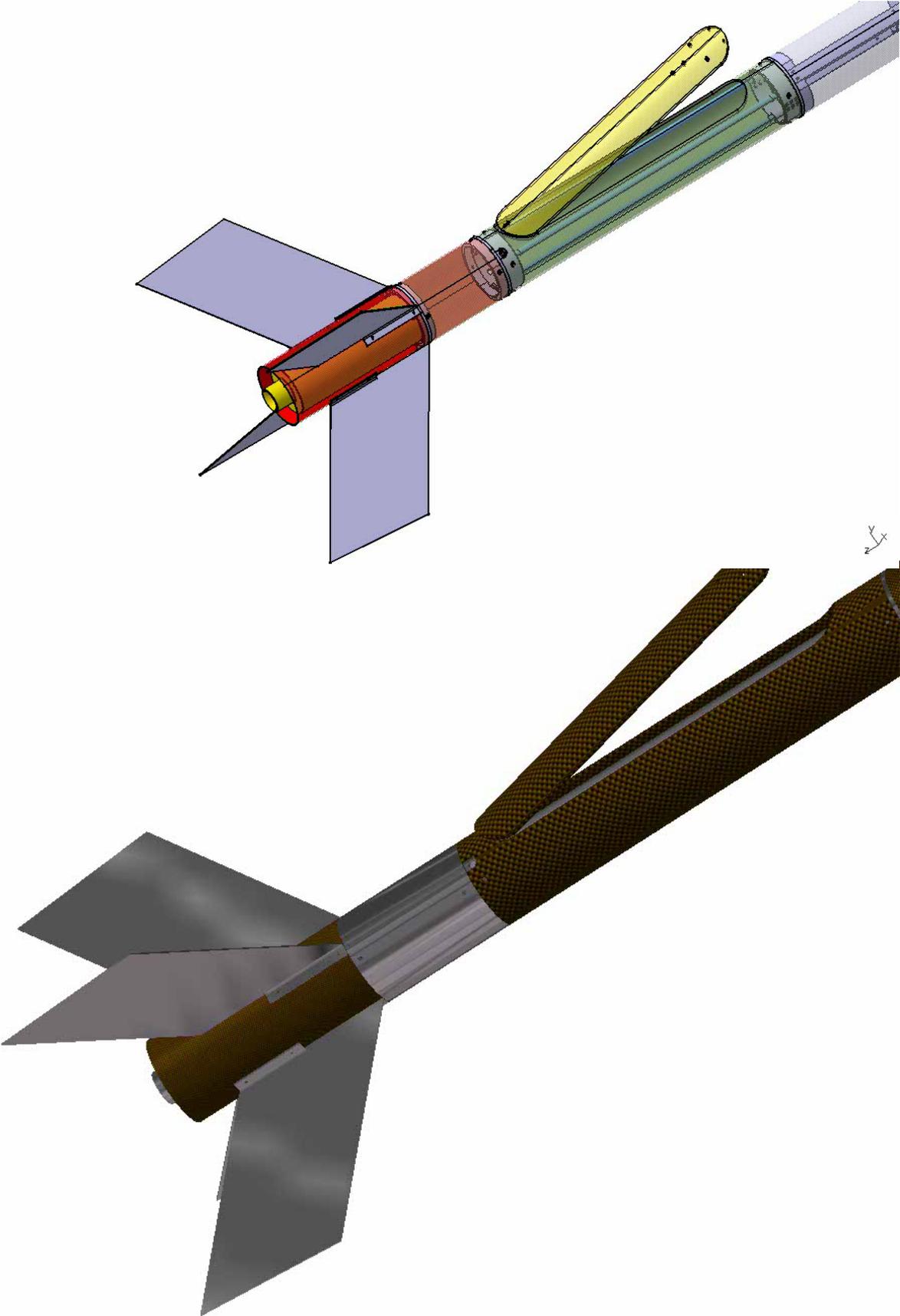
### 5.1. Vue 3D



### 5.2. Vue avec les efforts

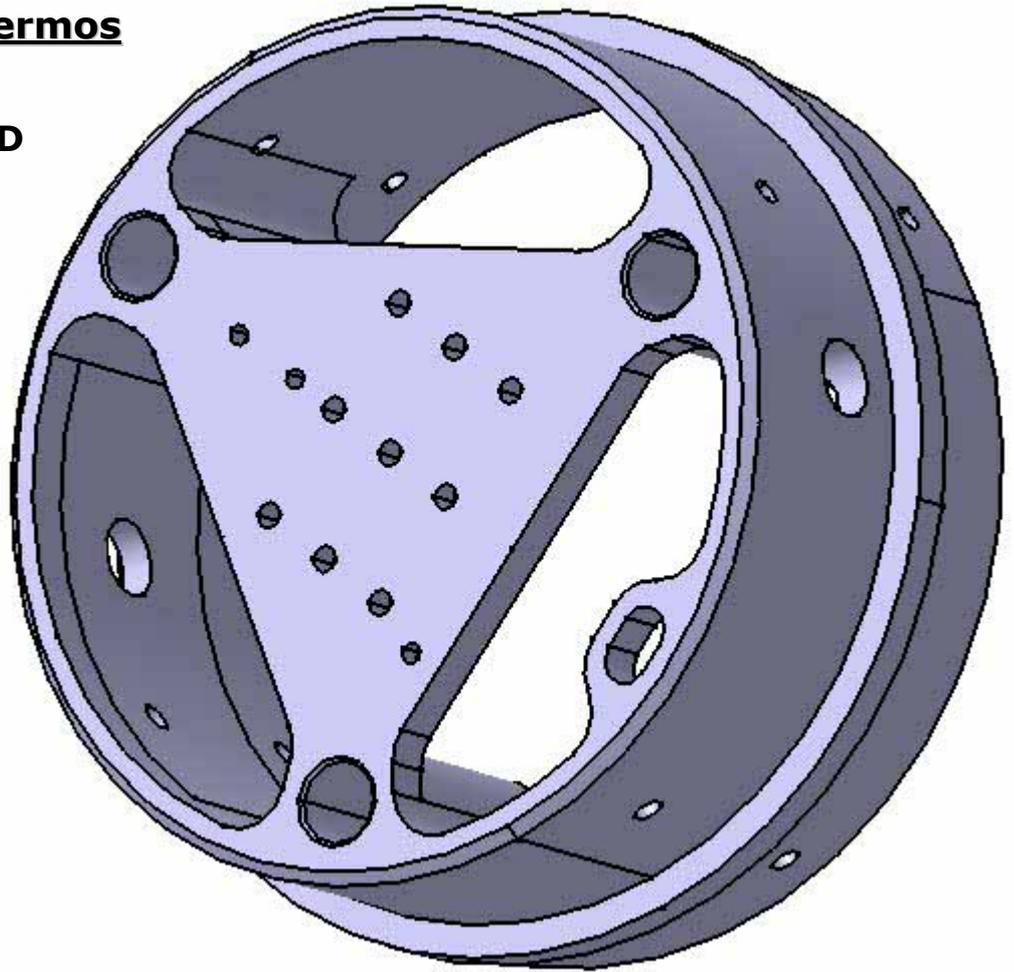


**5.3. Vues globales de la case parachute**

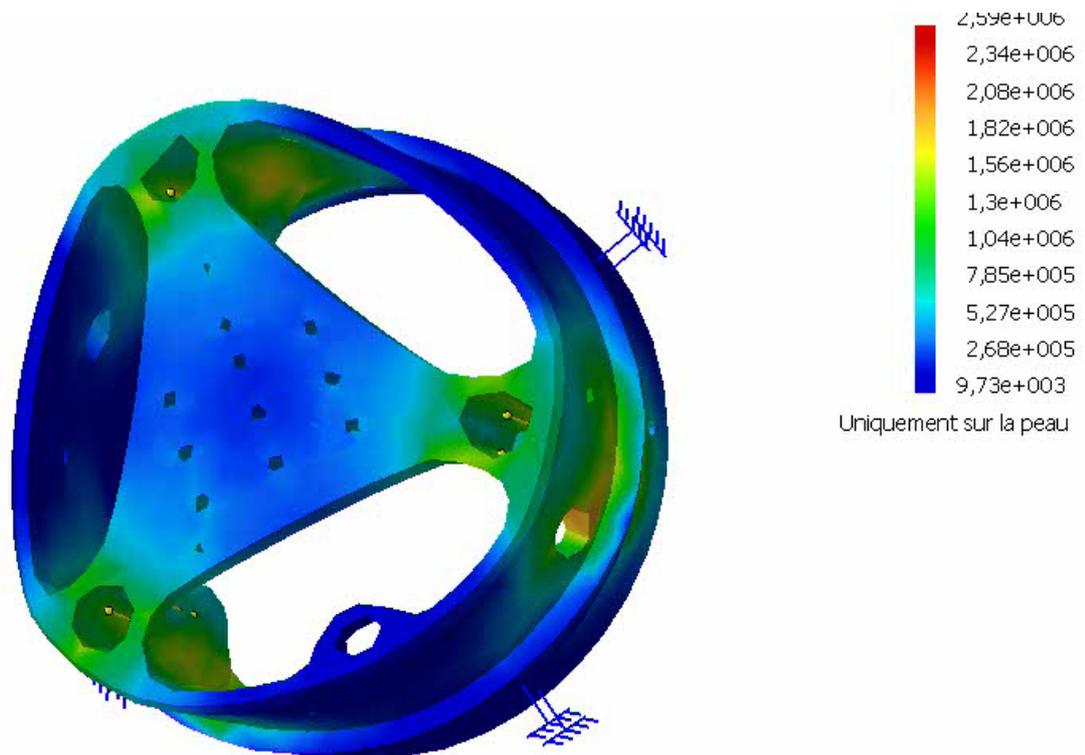


## 6. Bague thermos

### 6.1. Vue 3D

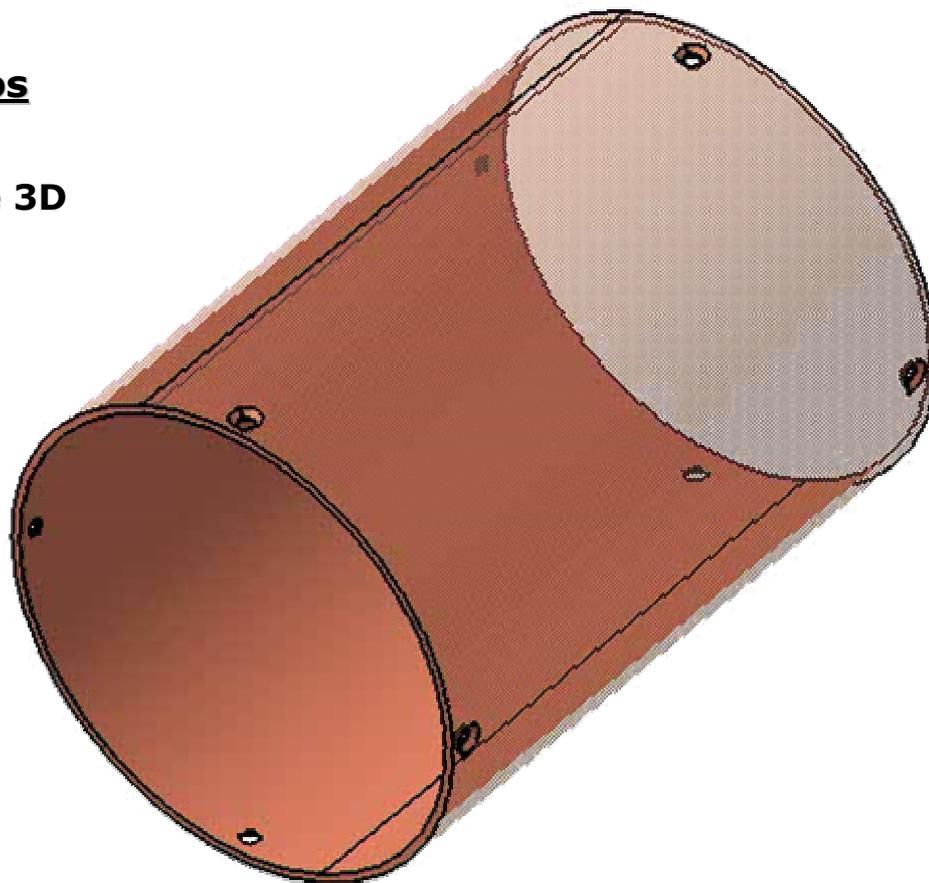


### 6.2. Vue avec les efforts

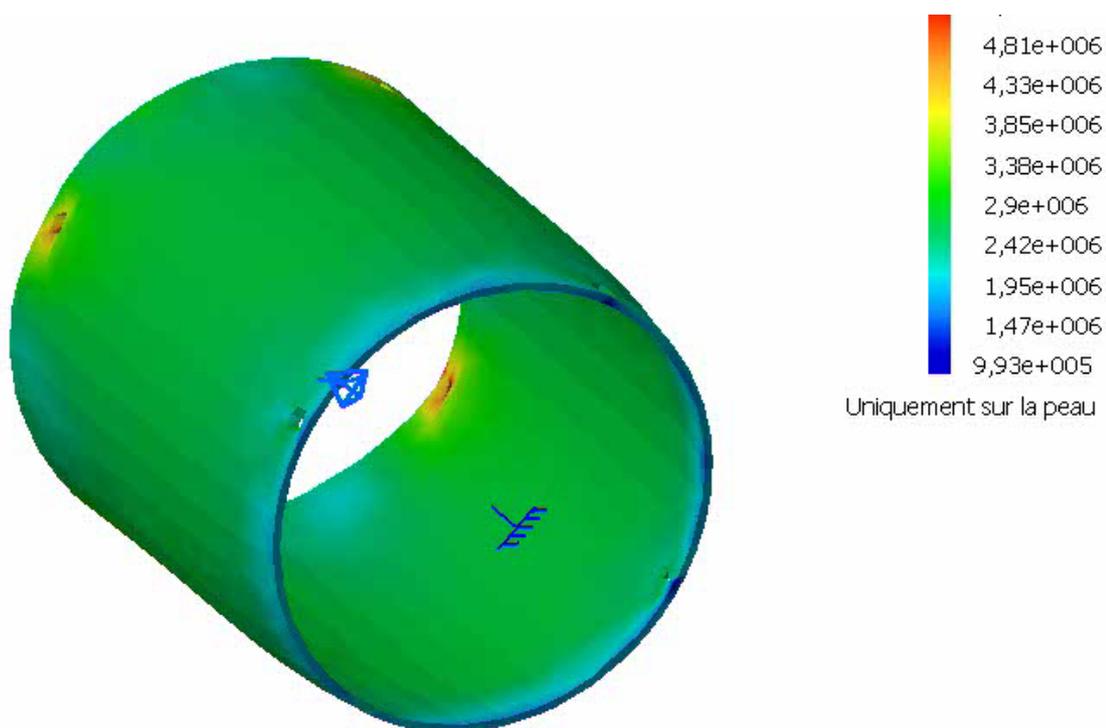


## 7. Thermos

### 7.1. Vue 3D

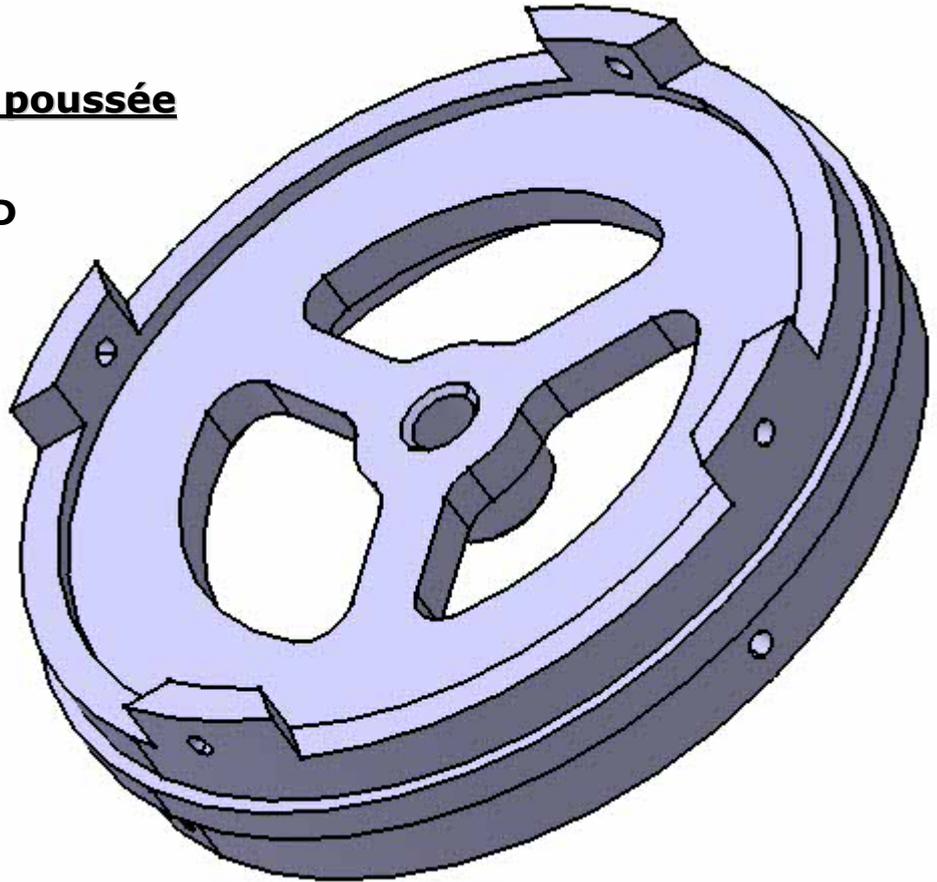


### 7.2. Vue avec les efforts

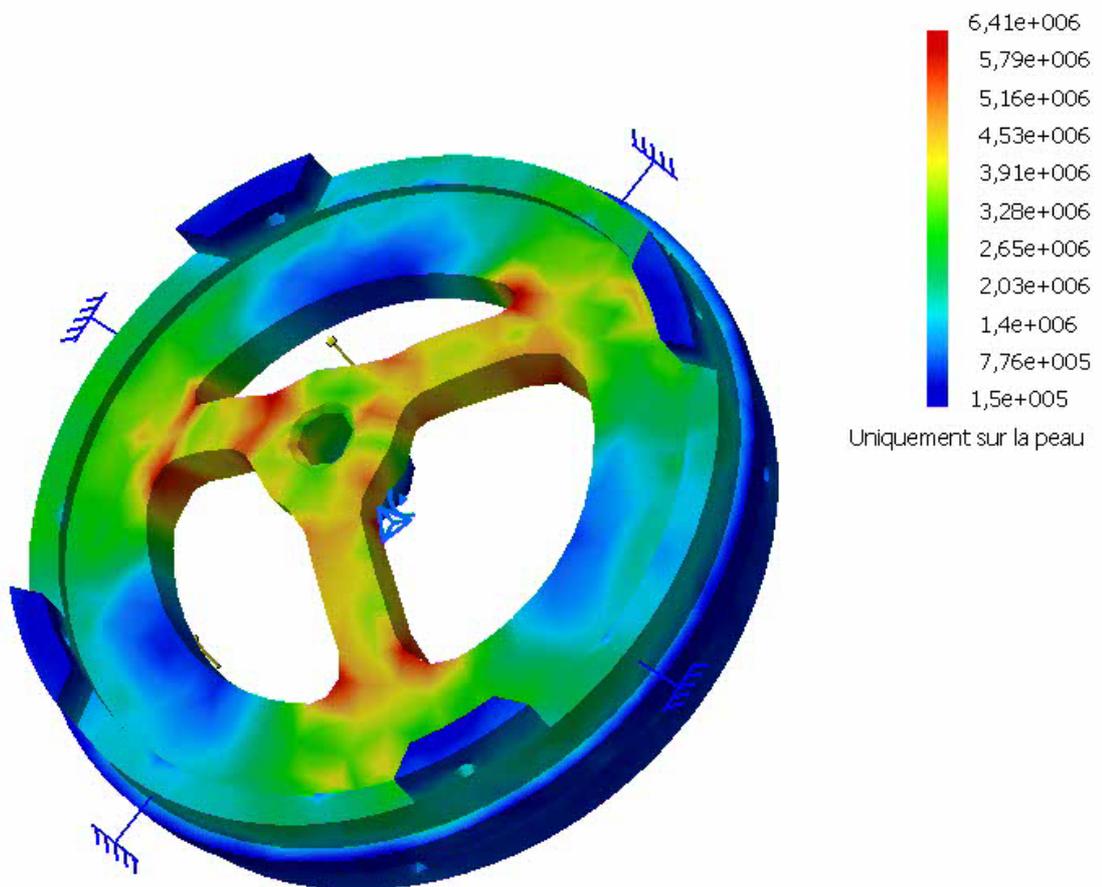


## 8. Bague de poussée

### 8.1. Vue 3D

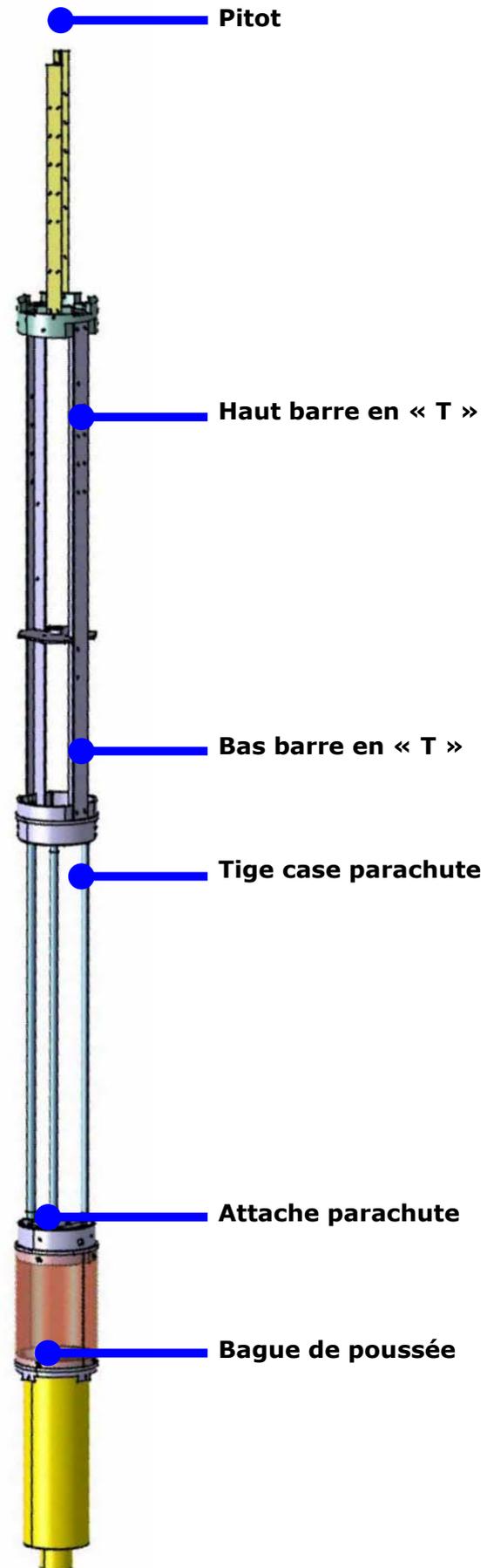


### 8.2. Vue avec les efforts



# Exploitation des résultats

## 1. Disposition des capteurs



## 2. Etalonnage des capteurs

### 2.1. Les jauges de contraintes

Jauge	Poids (kg)	Tension (V)	Poids(Kg)=a*Tension(V)+b		Equivalent en codage sur 8 bits de la tension (en décimal)	Poids(Kg)=a*Tension(décimal)+b	
			a	b		a	b
D2T	0	3,48	-0,052427184	3,50022654	177	-0,3490627	62,63846154
	6,1	3,25			166		
	8,6	3			153		
D3T	0	1,85	0,028231988	1,84499659	94	0,68421053	-64,30789474
	6,1	2			102		
	8,6	2,1			107		
S3	0	2,6	-0,026928973	2,59195197	133	-0,6981982	92,49594595
	6,1	2,4			122		
	8,6	2,38			121		
S4	0	2,2	-0,020059369	2,21743636	112	-0,93430535	105,9846154
	6,1	2,1			107		
	8,6	2,08			106		
	14,7	1,9			97		
D4F	0	3,36	-0,103274265	3,44906585	171	-0,17863644	31,85713379
	6,1	3,05			156		
	8,6	2,45			125		
	14,7	1,9			97		
D5F	0	2,12	0,006072408	2,1280523	108	3,21909848	-349,310971
	8,6	2,19			112		
	50	2,43			124		
S5	0	2,9	-0,066182423	2,92394081	148	-0,29034406	43,44339623
	6,1	2,6			133		
	8,6	2,3			117		
	14,7	1,95			99		
S6	0	3,05	-0,030538814	3,10446029	156	-0,57485861	91,78523316
	6,1	2,97			151		
	8,6	2,9			148		
	14,7	2,6			133		
S7	0	2,5	-0,02337573	2,5317463	128	-0,76923077	99,96730769
	7,8	2,4			122		
	8,6	2,35			120		
	14,7	2,15			110		
S8	0	2,02	-0,026068523	2,05518277	103	-0,68945662	72,91313756
	7,8	1,91			97		
	8,6	1,85			94		
	14,7	1,63			83		

### 2.2. Le tube de Pitot

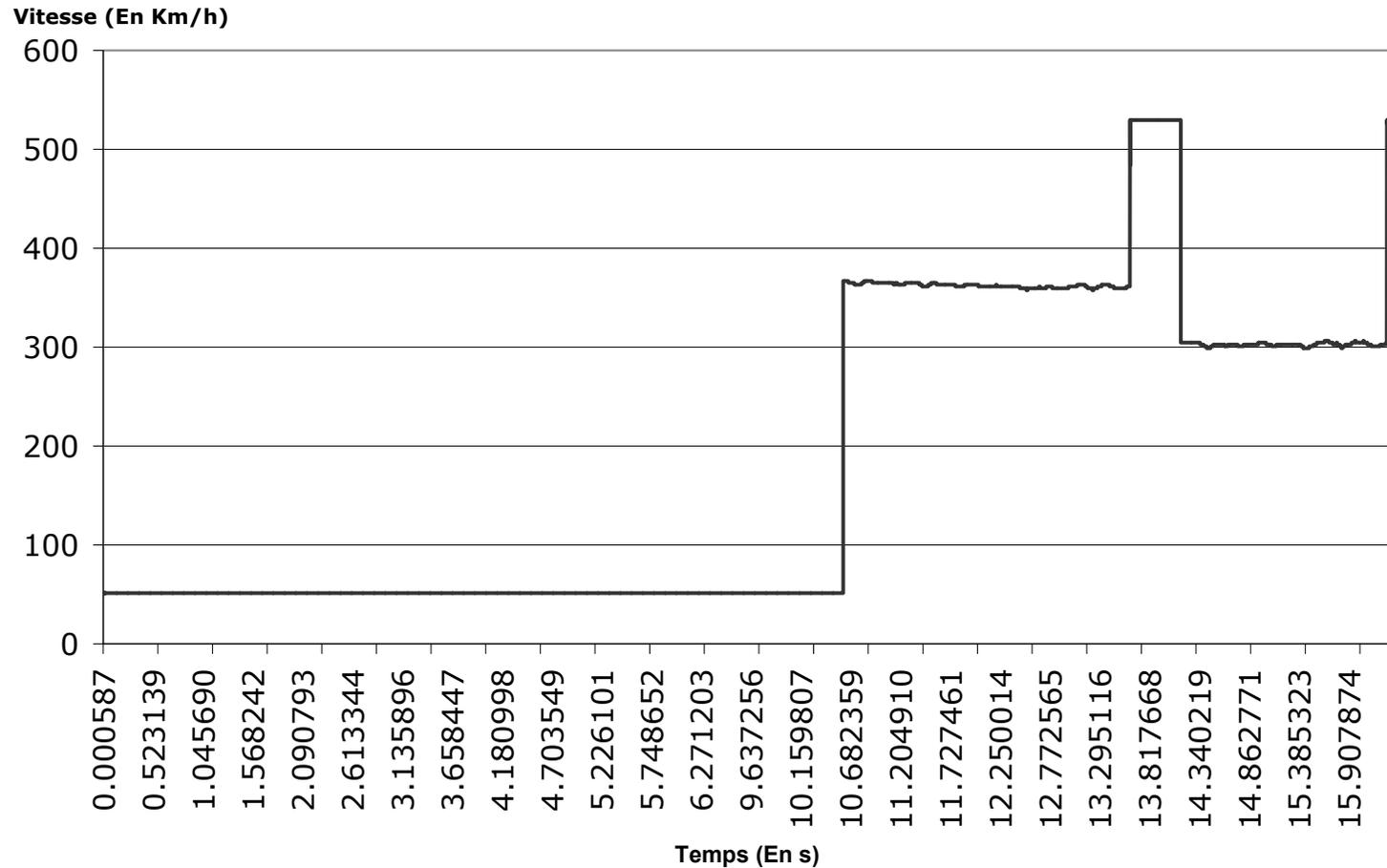
Pression (hPa)	Tension (V)	Vitesse en m/s	Vitesse en km/h	Valeur codée en décimal	Vitesse (Km/h) = a * Valeur (en décimal) + b	
					a	b
0	0	0	0	0	1,890701417	47,43941642
21,1	1,13	58,6932531	211,2957112	57,63		
50	2,6	90,35079029	325,262845	132,6		
76,7	3,97	111,9037487	402,8534954	202,47		
100	4,77	127,775313	459,9911268	243,27		
155	5,03	159,0789818	572,6843345	256,53		

Nos courbes d'étalonnage ont été réalisées à partir de régressions linéaires, mais rien ne nous prouve que cette linéarité existe vraiment. Nos points d'étalonnage étant souvent au nombre de 3 ou 4 il est difficile d'extrapoler autre chose qu'une droite avec aussi peu de point. L'année prochaine l'étape d'étalonnage devra être prise beaucoup plus au sérieux afin que nous n'ayons pas ce doute dès le début de l'exploitation.

### 3. Résultats

Toutes les courbes ci-dessous ont été tracées avec plus de 23000 valeurs pour 16' au total. Attention, il manque toujours la plage de temps entre 6'3" et 9'6" : page mémoire 100% erronée. Avant ce trou nous n'avons aucune valeur erronée et après environ 80%, il faudra donc prendre la deuxième partie des courbes avec des pincettes.

#### 3.1. Vitesse



La courbe de vitesse est proche du chaos. Le tube de Pitot est pourtant un capteur facile à mettre en œuvre (croyait-on du haut de nos 20 ans). Le capteur semble n'avoir réagi qu'après l'ouverture parachute. Dans la théorie, après cet événement les valeurs indiquées ne sont plus significatives car le mouvement n'est plus colinéaire à l'axe de la fusée.

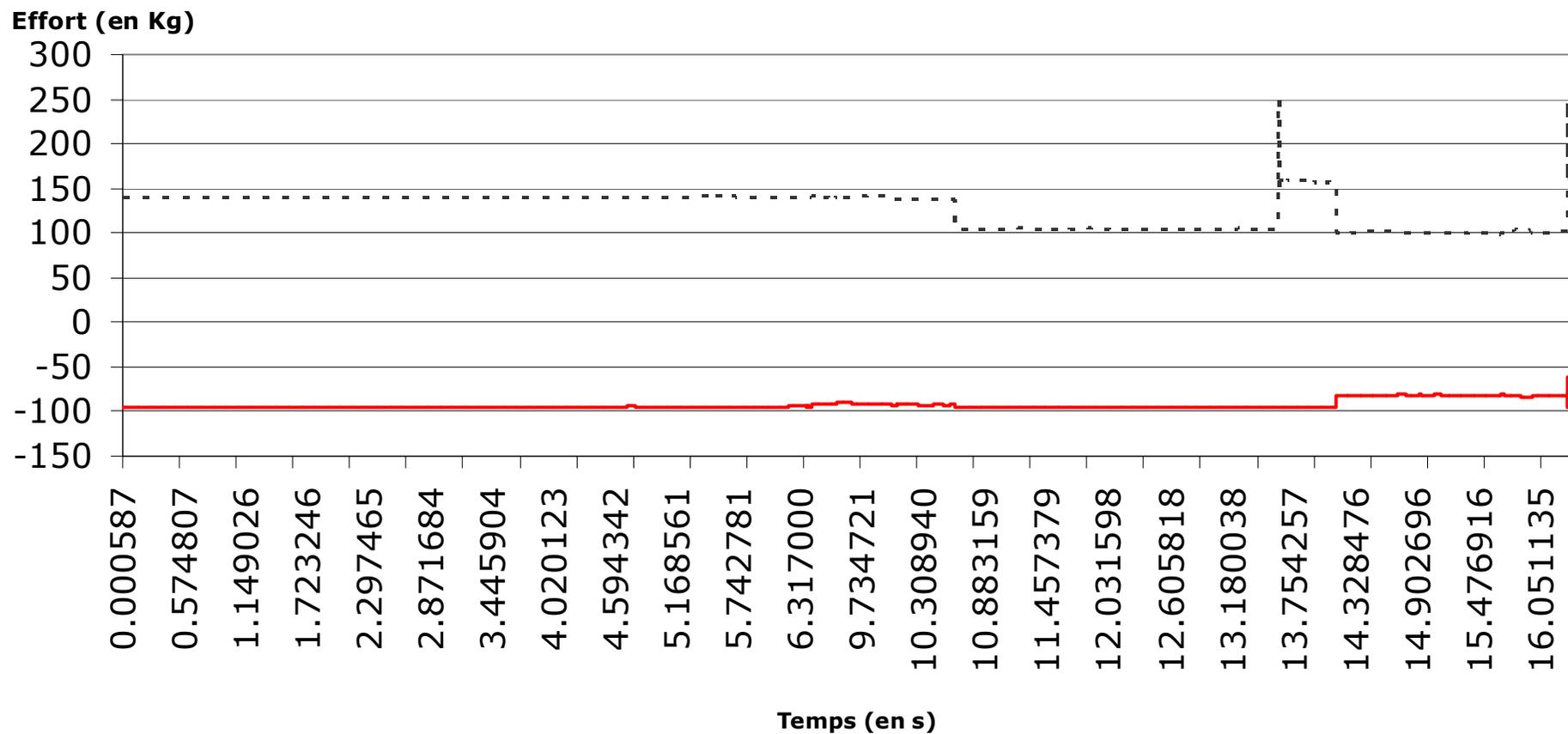
La partie la plus intéressante et significative normalement se situe pendant les 10 premières secondes du vol. Au lieu de cela nous avons un encéphalogramme complètement plat !

Plusieurs hypothèses peuvent être réalisées sur cette défaillance :

- Un Problème de capteur : peu probable car ce dernier était bien dimensionné et non dessoudé de sa carte à l'arrivée. De plus, il réagit en début de phase parachute.
- Un problème d'acquisition : possible que la voie multiplexée par le microcontrôleur ait été défectueuse.
- Un problème de stockage : également possible car rappelons l'électronique de la fusée était en cours circuit suite à l'atterrissage violent qu'elle a subi.

Pour rester positif nous pouvons dire que notre vitesse n'a jamais été négative et que la théorie de la relativité d'Albert Einstein en sort indemne.

### 3.2. Efforts sur la bague de poussée



— S7 - Bague de poussée (inférieure) - - - S8 - Bague de poussée (supérieure)

Il s'agit de nouveau de courbes anormales, en effet le but de ces jauges était situé dans les 4 premières secondes du vol : l'observation de la poussée du chamois. Hors comme on peut le constater ces 4 premières secondes sont de nouveau plates.

On remarquera par la suite que les artefacts de fin de courbe se retrouve et donc qu'il s'agit bien de choses non significatives.

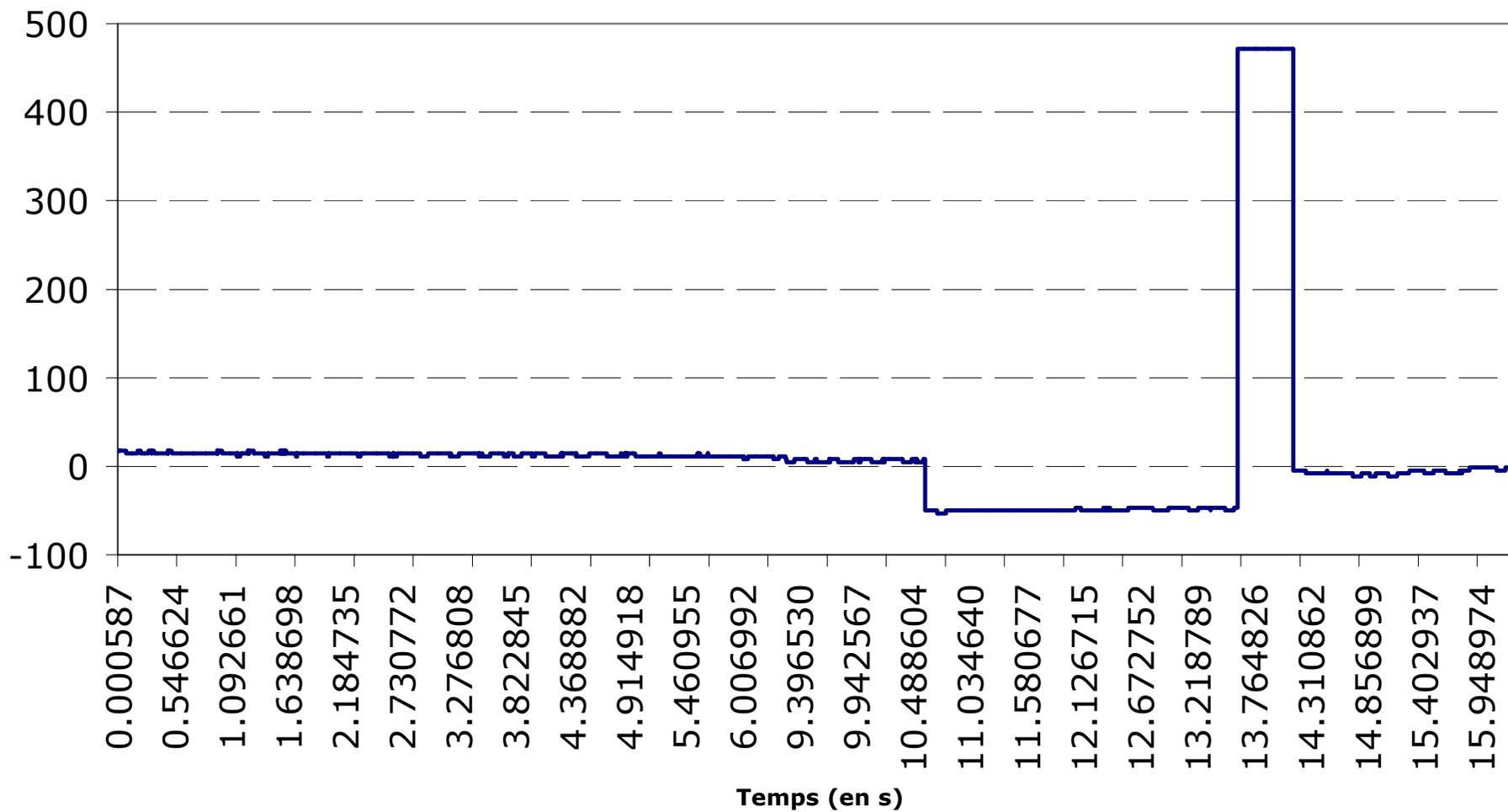
Hypothèses sur cette défaillance :

- Jauges détruites par la chaleur du propulseur : peut probable surtout pour la jauge supérieure.
- Les jauges étaient sur les branches de l'écusson Mercedes et ce dernier ne s'est pas déformé car conformément au cahier des charges la poussée a eu lieu que sur la périphérie.
- Erreur d'acquisition ou de mémorisation comme ci-dessus.

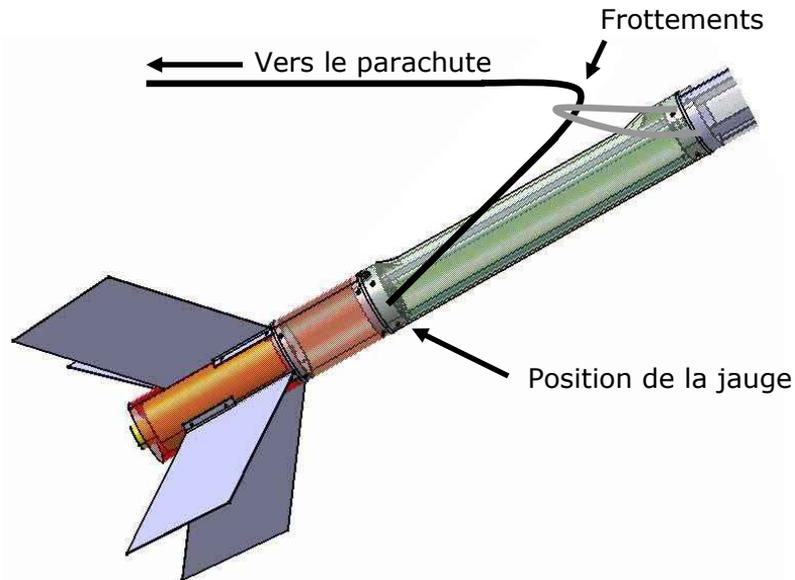
Pour rester positif : la variation de la jauge sur la bague supérieure à 10'4" qui correspond au choc parachute peut être due à l'inertie du propulseur sous ce choc. La jauge du bas pouvant être considérée comme morte car elle ne marque même pas le plat des 13' que l'on retrouve partout et qui est inexplicable.

### 3.3. Choc sur l'attache du parachute

Effort (en Kg)



Il s'agit d'une jauge montée en flexion sur la bague qui comprenait l'attache du parachute. La valeur négative peut s'expliquer par le fait que l'effort a été vu en traction au lieu de la compression. On voit bien un choc à 10'4'' lors de l'ouverture parachute. Ce choc est pourtant d'amplitude assez faible. Ceci vient du fait de notre type d'attache en triangle. Un schéma valant bien 1000, voici comment nous attachons notre parachute :



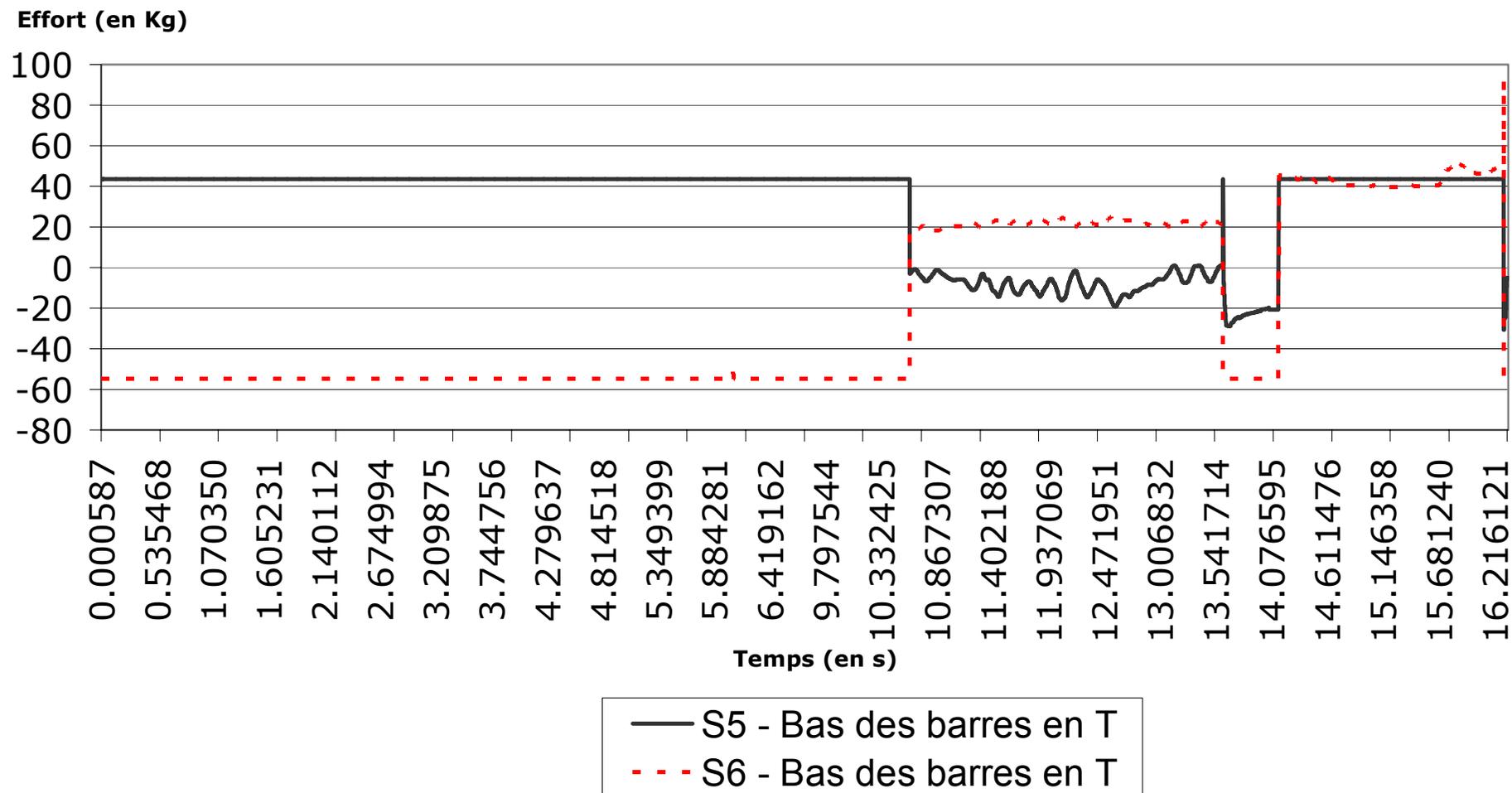
On voit donc que c'est la première sangle qui a dû prendre le plus gros choc et que les efforts ont été mal transmis de part le frottement important (sangle sur sangle).

Encore une fois nous voyons le créneau de 13'7'' que nous ne pouvons expliquer. Somme toute il semble vouloir se reproduire juste avant la fin de l'enregistrement. La fin de l'enregistrement n'était pas calculer à ce moment : il y a donc eu quelque chose qui l'a provoqué. C'est peut être la trace de ce quelque chose que nous voyons à 13'7''.

Comme ce phénomène se reproduit sur quasiment tous les capteurs on peut penser à une défaillance d'un élément globale du système :

- Alimentation : un début de court-circuit
- Acquisition via le processeur
- Stockage via la mémoire

### 3.4. Efforts sur le bas des barres en « T »



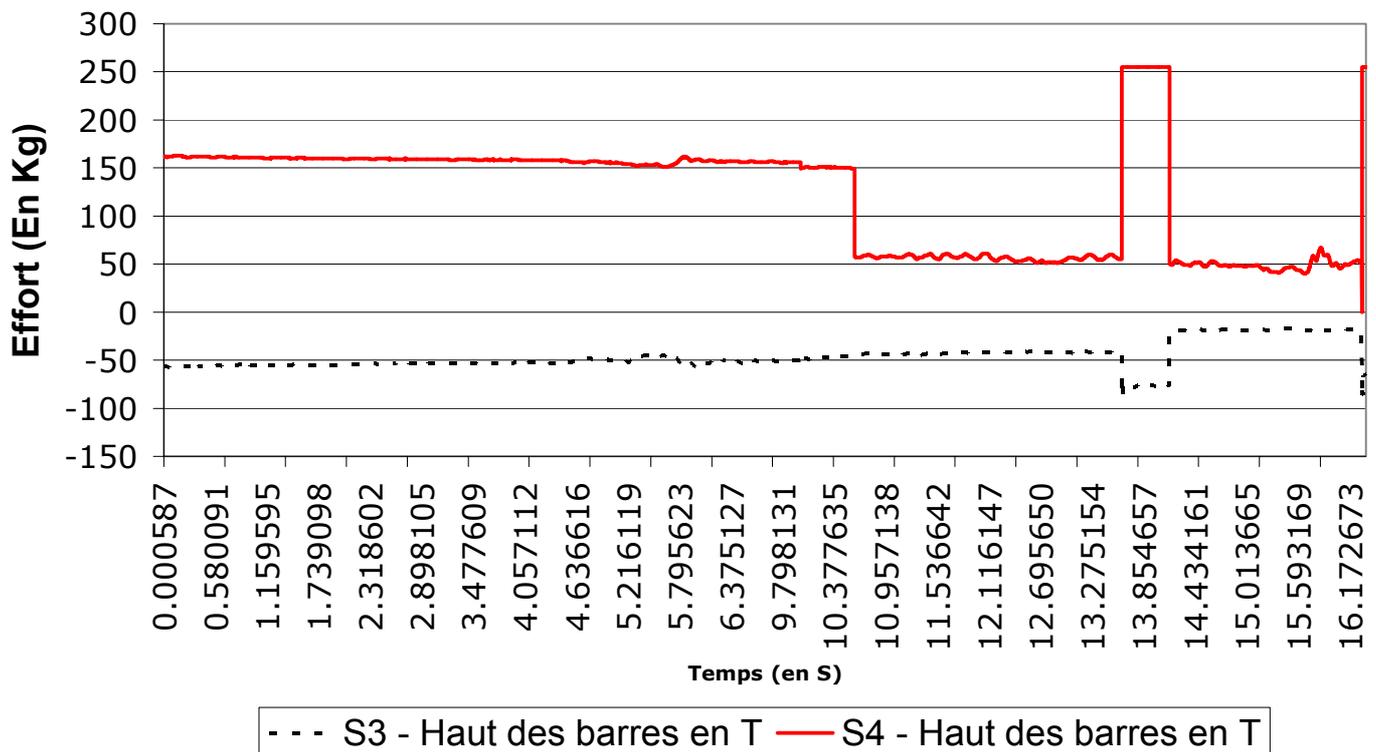
Ces deux courbes sont très intéressantes. Elles étudient la traction/compression des barres latérales de structure qui maintenaient l'électronique de ELA. Durant la phase propulsé rien ne se passe, pourtant le cône était très lourd ! Cette observation ne peut qu'aller dans le sens ou on aurait eu un problème d'acquisition durant cette phase ou un problème de stockage.

La réaction de se capteur se situe lors de la phase de descente sous parachute. Souvenons-nous que la fusée était très balancés lors de cette descente, ceci était sans doute du au parachute pas très bien ouvert et au poid assez grand du cône (Piles, flashes, Pitot, Bog)

Les oscillations que l'on voit apparaissent durant la descente sous parachute sont sans doute le résultat de ces balancements. De plus on voit que les deux jauges opposées varie en sens inverse l'une de l'autre, ceci est conforme à la théorie : lorsqu'un coté s'allonge l'autre rétréci.

Comme pour les autres capteurs nous ne pouvons rien dire des phénomènes enregistrés après 13'5". Les chaînes de mesures ont commencé à rendre l'âme peut-être sous l'effet de ce balancement excessif. On peut imaginer que les piles aient commencé à bouger. Efforts sur le haut des barres en « T »

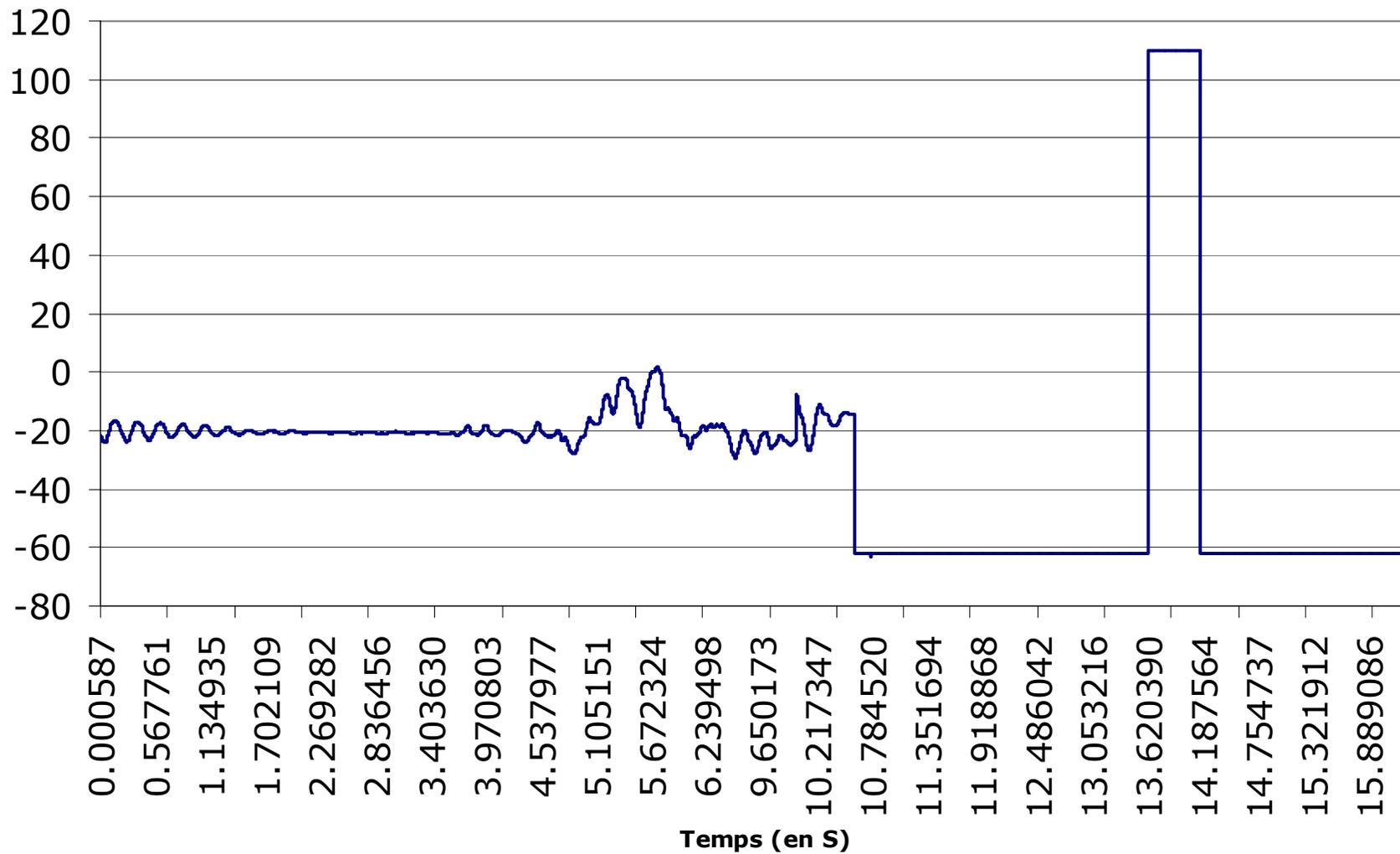
### 3.5. Efforts sur le haut des barres en « T »



Les résultats sur la partie supérieure des barres sont moins probants, le peu d'interprétations que nous pourrions en faire est similaire à celui déjà fait ci-dessus.

### 3.6. Efforts sur le haut des barres en « T »

Effort (en Kg)



Cette fois l'étude est faite avec deux jauges en série de façon à toujours détecter de la traction/compression mais avec une amplitude double. Les grandes étapes (transition) de la courbe restent les mêmes les fluctuations sont cette fois au début et non après l'ouverture parachute.

Il est intéressant de voir en tout début de courbe une fréquence de variation stable et décroissante en amplitude. Des valeurs ont donc bien été enregistrées durant cette phase ! A quoi est due cette variation cyclique ? La fréquence propre de la structure ? Peut-être.

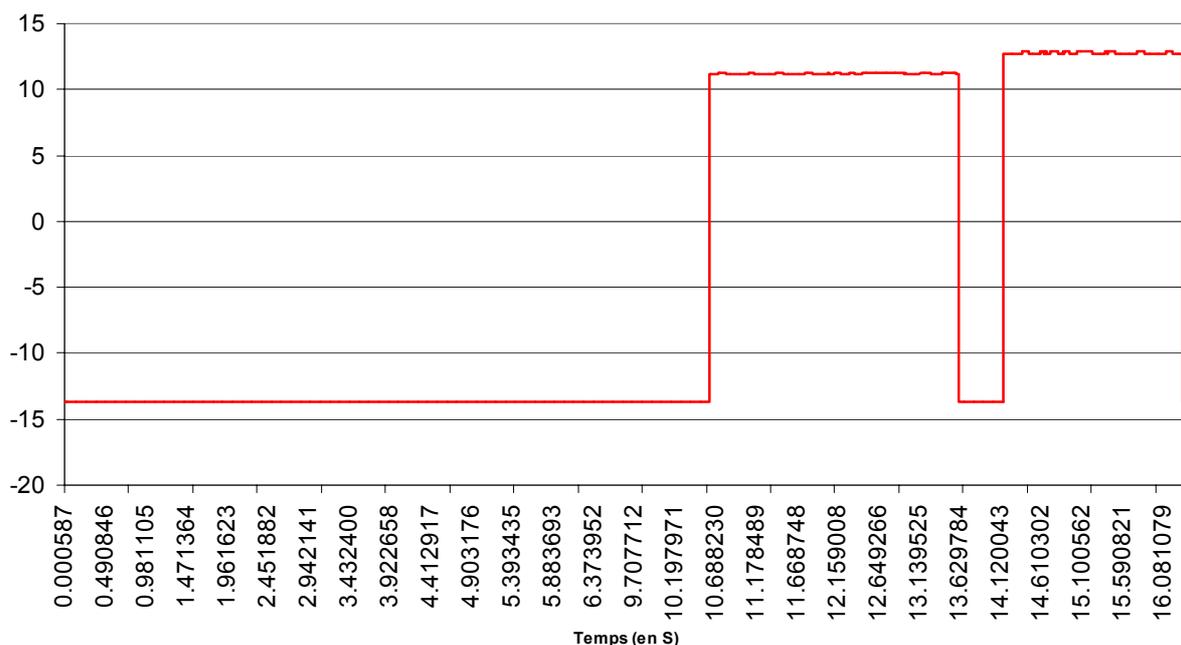
On pourrait penser à une pollution du capteur par les alimentations mais ces dernières étaient des régulateurs au final (non vibrant donc). Il ne s'agit pas non plus d'une pollution puisque ce dernier avait justement été coupé pour des problèmes de pollution électromagnétique des capteurs.

Nous pensons donc qu'il s'agit réellement d'un phénomène physique.

On observe également très bien l'ouverture du parachute à 10'4". Les créneaux qui suivent sont comme précédemment inexplicables.

### 3.7. Efforts sur le bas des barres en « T »

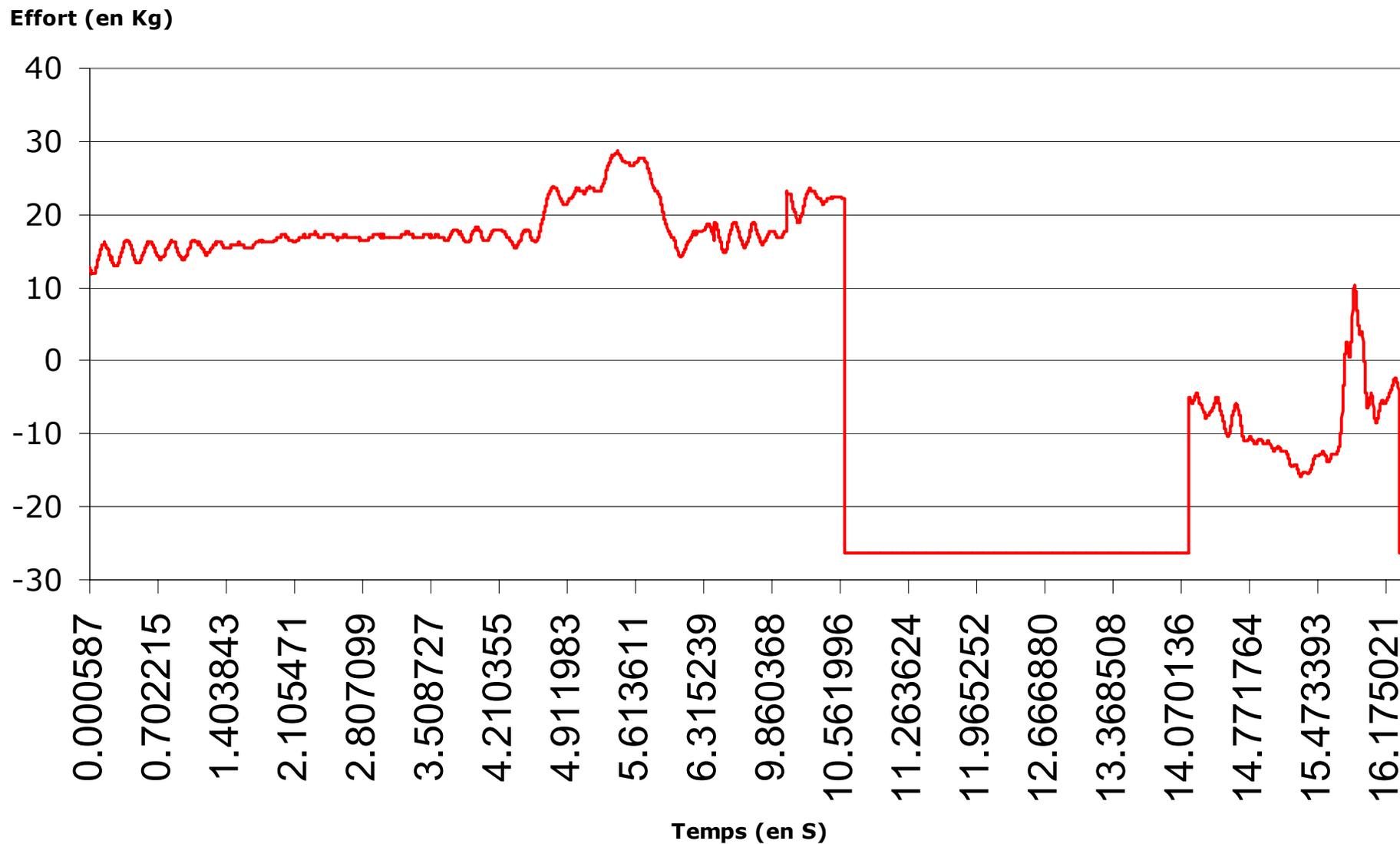
Effort (en Kg)



Il s'agit du même montage double que le capteur du dessus mais monté en vis-à-vis c'est-à-dire pour détecter une flexion de la structure.

Durant toute la phase propulsée la structure n'aurait pas fléchi puis une grosse flexion (logique) lors de l'ouverture parachute. Ceci signifie que les oscillations de toute à l'heure sont uniquement dues à de la traction/compression et non à de la flexion ce qui semble assez bizarre. Somme toute ce fait peut être ramené au fait que le propulseur ne pousse pas de façon homogène à cause de la non homogénéité du propergol à l'intérieur.

### 3.8. Tige case parachute



Ces deux jauges encore montées en double permettent d'observer également la traction/compression sur la structure. On remarque les mêmes ondulations que précédemment sur la structure supérieure. Nous pensons qu'il s'agit bien d'un phénomène physique. Il nous faudrait calculer/mesurer la fréquence propre de notre fusée pour comparer mais ce phénomène est courant et pris en compte dans des projets comme ARIANE.

Encore une fois l'ouverture parachute est flagrante mais les données enregistrées après sont totalement incohérentes. Les jauges étaient peut-être sous dimensionnées par rapport au choc de l'ouverture parachute et auraient alors été détériorées.

## **4. Conclusion**

Nous avons beaucoup de valeurs pour très peu de temps de vol. Les valeurs ne sont pas nulles mais elles restent de piètre qualité. Les exploitations quantitatives restent très hasardeuses notamment à cause de l'étalonnage trop approximatif. Somme toute nous avons des valeurs et plus d'une fois cohérente entre elles.

Pour nos prochains projets il nous faudra :

- Faire beaucoup plus attention à l'étalonnage : un minimum de 15 points devrait être instauré et un responsable métrologie devrait s'assurer de la qualité des mesure au travers cette étape notamment. Ainsi on pourra voir si la courbe est effectivement une droite ou un polynôme.
- Les doutes sur le système d'acquisition et de mémorisation n'est pas permis, il faut encore fiabilisé cette partie.
- Des valeurs bien définie doivent être enregistrées pour savoir si la mémoire à effectivement été écrite.
- La notion de temps doit être intégré aux valeurs. Cette année c'est le numéro de trame et le débit qui nous a permis de remonter à l'échelle temporelle, ceci est trop approximatif.

## ***Epilogue du festival***

La dernière campagne de lancement qui s'est achevée le 03 Août 2002 nous a permis de mettre le doigt sur quelques points concernant l'organisation du club lors du festival et même dans un contexte plus général.

Sur le festival, plusieurs prestations exécutées par certains membres ont permis au CLES-FACIL de se faire connaître des autres clubs :

- Projection d'une vidéo réalisée dans les locaux du CLES - FACIL pendant l'année.
- Présentation et lancement par M. JUGE de fusées à eau très élaborées.
- Lancement de fusées à eau munies de flashes (de nuit, de préférence ;-)  
)
- Présentation au public et aux autres clubs présents des différents projets proposés par le club cette année.

Ces actions ont permis à chacun de participer au renom du club. Sur le plan purement technique, le CLES-FACIL a su largement bénéficier de la présence sur le festival des membres de l'ANSTJ et du CNES. Un large échange a été possible et nous nous en félicitons, car il s'agit au fond du meilleur apprentissage qui soit. Ceci est également valable en ce qui concerne les échanges avec les autres clubs. (Cascade en particulier.)

Sur un plan plus général, notre présence sur le festival nous a permis de mettre en évidence l'importance vitale pour un projet d'une équipe munie d'une organisation sans faille. En effet, nous avons constaté que la plupart des « pépins » techniques survenus sur le festival étaient essentiellement dus à des défauts d'organisation de l'équipe, bien que celle-ci ait été cohérente et solidaire. A cette occasion une nouvelle structure a été mise en place, avec un renouvellement complet des membres du bureau et une nouvelle organisation des équipes, pour un futur projet qui, nous l'espérons, donnera parfaite satisfaction à l'équipe et permettra à chacun de fonctionner dans les meilleures conditions possibles.

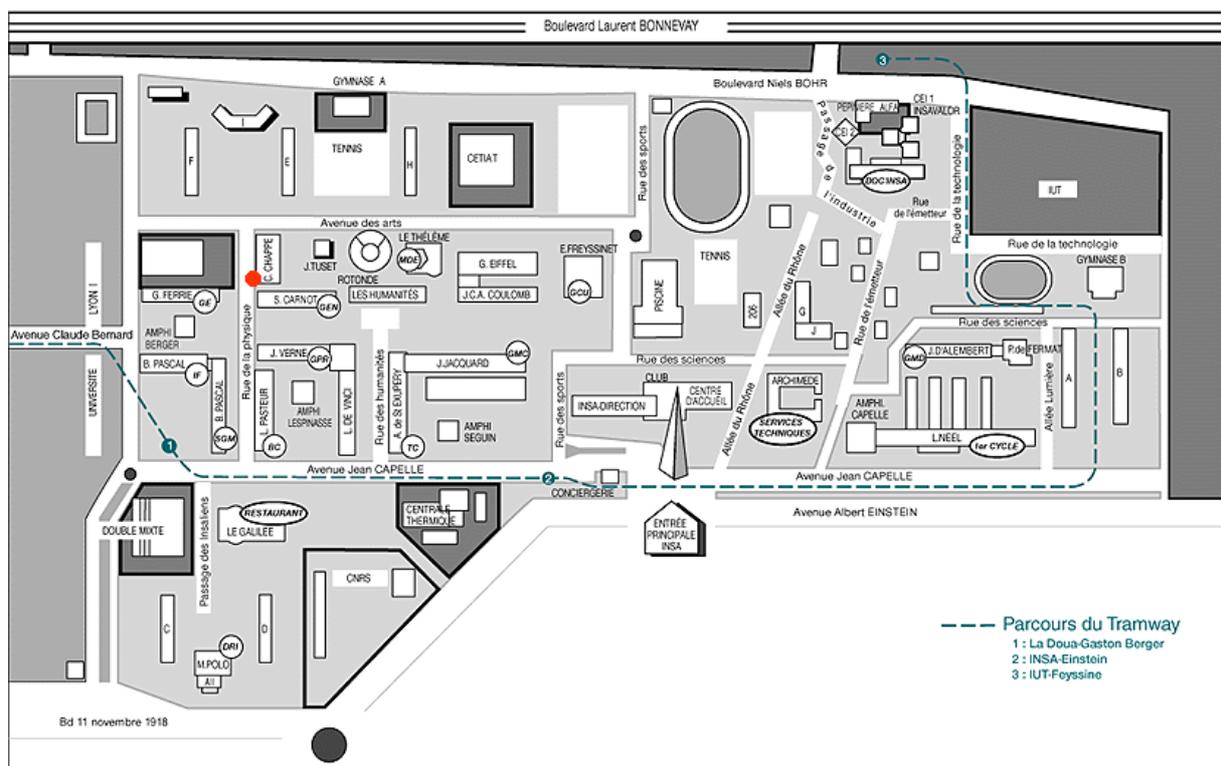
# Coordonnées du club

Mail : [cles-facil@ifaedi.insa-lyon.fr](mailto:cles-facil@ifaedi.insa-lyon.fr)

Téléphone : 04.78.94.31.73

Adresse : CLES-FACIL au BDE INSA  
20 avenue Albert Einstein  
69621 Villeurbanne CEDEX

Plan d'accès :



## Contacts sous-traitants

### Activité :

Mise en forme de matériaux composite (cône et case parachute pour nous)

### Adresse :

TDA Carbon  
117 avenue Pierre et Marie Curie  
45800 St jean de Braye

### Téléphone :

Tél : 02.38.55.69.44  
Ou 06.61.82.13.14

### Activité :

Fabricant de matériaux composite (carbone pour nous)

### Adresse :

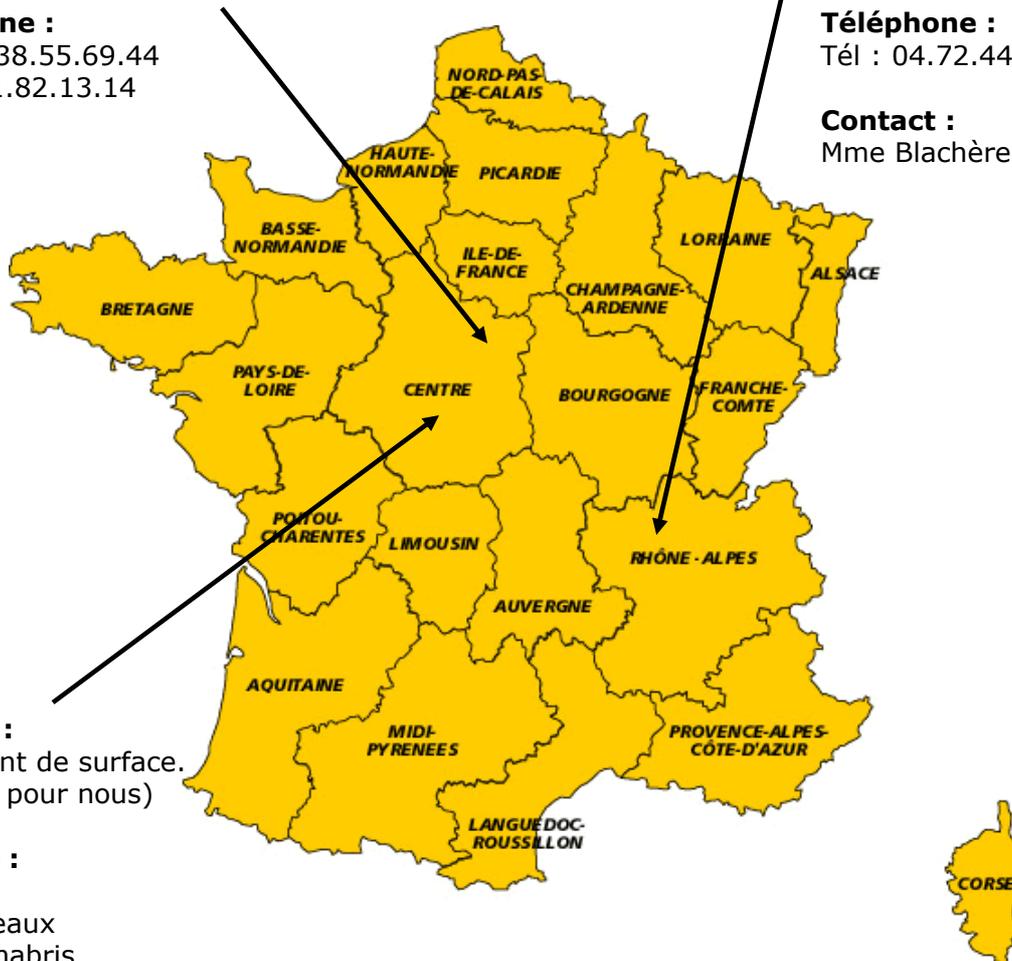
Hexcel Fabrics  
3 Ave Condorcet  
69608 Villeurbanne BP 1208

### Téléphone :

Tél : 04.72.44.40.43

### Contact :

Mme Blachère



### Activité :

Traitement de surface.  
(Chrome pour nous)

### Adresse :

SETS  
Les vignaux  
36210 Chabris

### Téléphone :

Tél : 02.54.40.11.11

### Contact :

Mr Chrétien Jean

# **Annexes**

## **1. Minuterie**

*Bascule : DM74LS74A.pdf*

*Transistor : BDW93C.pdf*

*Timer : CD4541BC.pdf*

*Transistor : 2222.pdf*

*Régulateur : 7805.pdf*

## **2. Modulation FSK**

*Amplificateur : MC4558.pdf*

*Modulateur : xr-2206.pdf*

*Emetteur TOUCAN : emetteur.pdf*

*Emetteur KIMI : note\_kiwi\_millennium.pdf*

*Télémesure : telemesure\_numerique.pdf*

## **3. Carte mémoire & Microcontrôleur**

*Multiplexeur : MC14051B-D.pdf*

*Mémoire DALLAS : DS1270mémoireSRAM.pdf*

*Boîtier de porte logique : 74LS04.pdf*

*Régulateur de tension MAXIM : AD584.pdf*