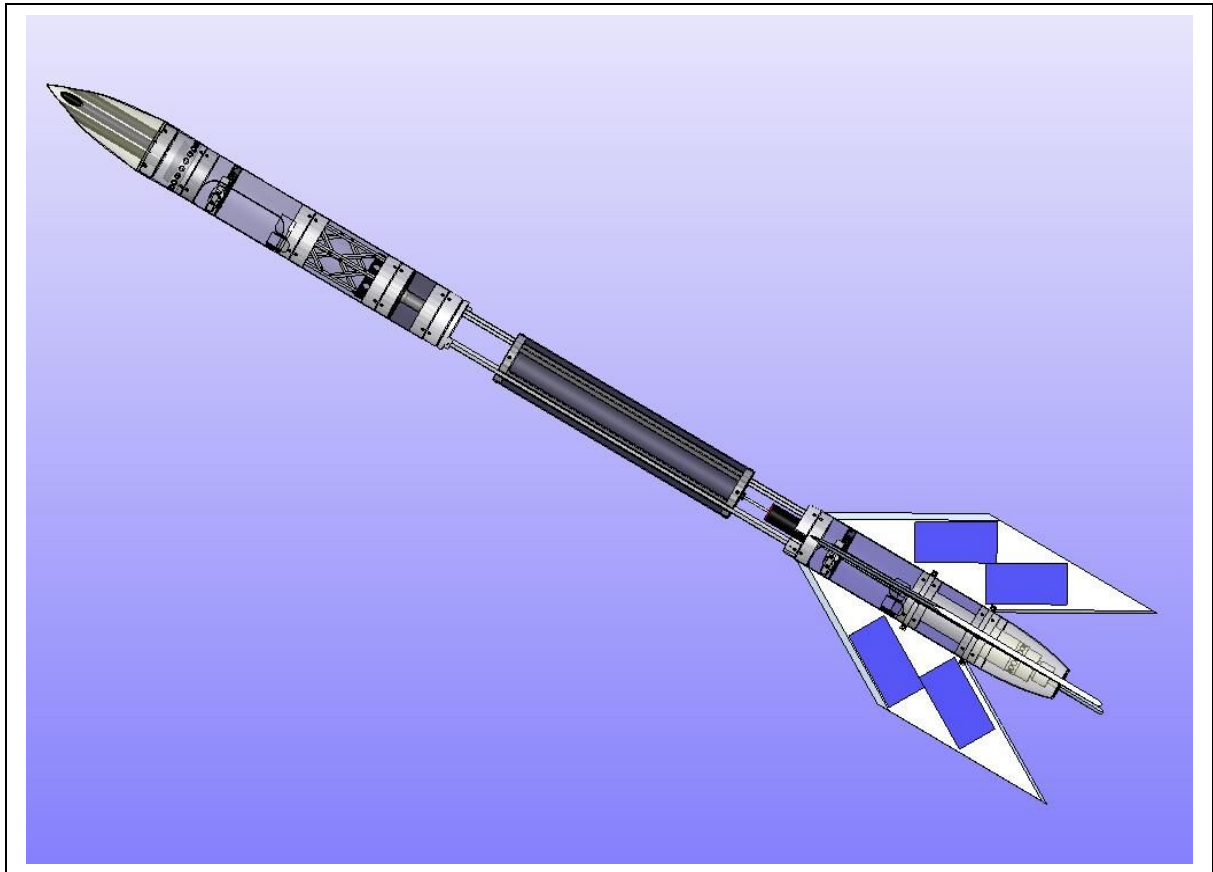


# EDP



Compte rendu final Janvier 2006

Rédaction : SERIN Pierre (ESO)  
BAIG Matthieu (Aero-Efrei)

# Remerciements

Nous remercions fortement tous les sponsors et partenaires industriels du club ou du projet :

- CNES (propulseur, campagne)
- Planète Sciences (ex-ANSTJ) (suivi et organisation)
- Union Thermique ( aluminium )
- ESTACA (financier et facilités techniques)

Nous tenons également à remercier nos suiveurs de Planète Sciences, Clément Marion et Tanguy Jeanne, pour leurs précieux conseils.



L'équipe d'EDP, présente sur la campagne, en tente Club : Matthieu, Pierre et Marielle

# Sommaire

<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>2</b>
<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>PRÉSENTATION DE L'ÉCOLE : L'ESTACA.....</b>	<b>4</b>
<b>PRÉSENTATION DU CLUB : L'ESO.....</b>	<b>4</b>
<b>PRÉSENTATION DE L'ÉCOLE : L'EFREI.....</b>	<b>5</b>
<b>PRÉSENTATION DU CLUB : L'AÉROEFREI.....</b>	<b>5</b>
<b>PRÉSENTATION DE L'ÉQUIPE : EDP.....</b>	<b>6</b>
<b>OBJECTIFS.....</b>	<b>7</b>
1°) <i>Présentation de l'expérience.....</i>	<i>7</i>
<b>MOYENS.....</b>	<b>8</b>
1°) <i>Moyens financiers.....</i>	<i>8</i>
2°) <i>Moyens techniques.....</i>	<i>8</i>
<b>CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT MÉCANIQUE.....</b>	<b>9</b>
<b>1°) GÉNÉRALITÉS.....</b>	<b>9</b>
<b>2°) SÉPARATION.....</b>	<b>9</b>
2.1) <i>Choix.....</i>	<i>9</i>
2.2) <i>Principe.....</i>	<i>10</i>
<b>3°) DIMENSIONNEMENT .....</b>	<b>10</b>
3.1) <i>Dimensionnement du parachute.....</i>	<i>10</i>
3.2) <i>Dimensionnement des ailerons.....</i>	<i>10</i>
<b>CONCEPTION DE LA PARTIE ÉLECTRONIQUE.....</b>	<b>11</b>
<b>1°) CAPTEURS.....</b>	<b>11</b>
<b>2°) SAUVEGARDE NUMÉRIQUE.....</b>	<b>11</b>
<b>3°) SYSTÈMES D'OUVERTURE DES TRAPPES.....</b>	<b>13</b>
<b>LA CAMPAGNE DE LANCEMENT ET LE VOL.....</b>	<b>15</b>
<b>1°) QUALIFICATION.....</b>	<b>15</b>
<b>2°) VOL.....</b>	<b>15</b>
<b>3°) RÉSULTATS DE L'EXPÉRIENCE.....</b>	<b>16</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>17</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>18</b>

# Introduction

Ce document regroupe l'ensemble des informations concernant le projet de fusée expérimentale nommée EDP. Il contient les calculs de conception, le déroulement du projet et l'interprétation des résultats.

Le projet, commencé en octobre 2003, a été lancé le jeudi 29 juillet 2005 à 18h00 lors de la campagne de lancement nationale organisée par le CNES et Planète Sciences sur le terrain militaire de La Courtine et a effectué un vol nominal.

## **Présentation de l'école : l'ESTACA**

L'Ecole Supérieure des Techniques Aéronautiques et de Construction Automobile forme des ingénieurs en 5 ans. Elle recrute ses étudiants en grande majorité après un baccalauréat scientifique.

Les études, axées autour des mathématiques, de la mécanique et des sciences physiques, préparent aux métiers des transports grâce à quatre dominantes: Automobile, Ferroviaire, Aéronautique et Espace.

Elle délivre un diplôme reconnu par la commission des titres d'ingénieurs, dans quatre filières : Structure et Matériaux, Commande et Systèmes, Fluides et Energétique et Vibrations et Acoustique.

Chaque année, environ 160 élèves sont diplômés et sont embauchés par les grands noms de l'industrie des transports comme Renault, PSA, Airbus, Dassault Aviation ...

## **Présentation du club : l'ESO**

L'ESO (ESTACA Space Odyssey) est une association loi 1901 dont l'objectif est de promouvoir l'activité aérospatiale au sein de l'école et du grand public. Elle y parvient en réalisant, notamment, la conception, la fabrication et le lancement de fusées ou de ballons expérimentaux, grâce à l'encadrement du CNES et de Planète Sciences. L'association a réalisé une trentaine de fusées et de ballons depuis sa fondation en 1991. Elle compte aujourd'hui une trentaine de membres, tous étudiants à l'ESTACA, travaillant sur plusieurs projets.

Adresse postale :                    ESO  
    34 rue Victor Hugo  
    92300 Levallois Perret

Adresse électronique :            [eso@estaca.fr](mailto:eso@estaca.fr)  
Site Internet :                        [www.eso.online.fr](http://www.eso.online.fr)

Pour l'année 2004-2005, le Conseil d'Administration comprenait :

Président :	Pierre SERIN
Vice-président :	Guillaume FONVIELLE
Trésorière :	Aude MOREL
Secrétaire :	Florent MICHAUX

## **Présentation de l'école : l'EFREI**

L'Efrei est une école d'ingénieurs qui s'est spécialisée dans les technologies de l'information et du management. Comme l'ESTACA, 5 années sont nécessaires pour obtenir le diplôme d'ingénieur qui valide un enseignement complet dans des matières comme l'électronique analogique, numérique, simulations, informatique...

## **Présentation du club : l'AéroEfrei**

Depuis une dizaine d'année, l'Aéro-Efrei anime les projets de dizaines d'élève au sein de l'Efrei (Ecole d'ingénieurs des technologies de l'information et du management). Cette association est issue de la volonté d'une poignée d'élèves souhaitant explorer à leur manière les domaines du ciel et de l'espace.

De nombreux projets ont été réalisés, utilisant des technologie naissantes, des systèmes de télémétrie innovants pouvant nécessiter plusieurs années de travail. Le savoir-faire des anciens vient alors au secours du savoir des nouveaux, et complète ainsi les connaissances de tout l'équipe. Du partage découle l'enrichissement, car chaque élève peut tirer profit de sa participation aux projets.

Adresse Postale:

Aéro-Efrei  
34, avenue de la République  
94800 Villejuif

Adresse électronique: [aero@efrei.fr](mailto:aero@efrei.fr)

Site Internet: [www.aero-efrei.fr](http://www.aero-efrei.fr)

Pour l'année 2004-2005, le Conseil d'Administration comprenait :

Président:	Benjamin Vionnet
Vice-Président:	Matthieu Baig
Secrétaire:	Pierre-Henri Gauzence
Trésorier:	Aymeric Tiburce

## **Présentation de l'équipe : EDP**

Les Participants au projet EDP sont:

Pour l'ESO

Pierre SERIN	(2 <sup>e</sup> puis 3 <sup>e</sup> )	(chef de projet)
Guillaume FONVIELLE	(3 <sup>e</sup> puis 4 <sup>e</sup> )	(mécanique)
Florent Michaux	(3 <sup>e</sup> puis 4 <sup>e</sup> )	(mécanique)
Marielle RUFIN	(4 <sup>e</sup> )	(mécanique)
Lionel SALAVIN	(2 <sup>e</sup> puis 3 <sup>e</sup> )	(mécanique)

Pour l'Aero-Efrei

Matthieu BAIG	(2 <sup>e</sup> puis 3 <sup>e</sup> )	(chef de projet)
Aymeric TIBURCE	(2 <sup>e</sup> puis 3 <sup>e</sup> )	(électronique)

L'équipe de cette fusée expérimentale est composée de 7 personnes, toutes étudiantes à l'ESTACA et l'EFREI et provenant de diverses promotions. La conception et la réalisation mécanique étaient assurées par cinq personnes tandis que les deux autres s'occupaient de l'électronique de bord.

# **Objectifs**

## **1°) Présentation de l'expérience**

L'expérience principale consiste à étudier l'autosuffisance électrique d'une fusée expérimentale.

Pour ce faire, nous avons disposé une turbine à la base de l'ogive derrière quatre canaux en carbone servant à acheminer le vent relatif jusqu'à la dite turbine.

De plus, nous avons disposé des panneaux solaires sur la jupe de la fusée. L'étude portait sur l'augmentation prévisible de la tension générale aux bornes des différents panneaux due à la rotation de la fusée. En effet, une fois la fusée en rotation elle même sur son axe longitudinal, chaque panneau se voyait éclairé à une basse fréquence.

L'expérience secondaire portait sur l'étude d'un accéléromètre « maison » situé au centre de gravité de la fusée.

Le centre de gravité de la fusée étant mobile (perte de la poudre du propulseur), le module accéléromètre se déplaçait le long d'une glissière pour lui permettre de rester « fixe » sur le centre de gravité.

## Moyens

Pour mener à bien ce projet, certains besoins sont essentiels, surtout d'ordre temporel, technique et financier. Bien entendu, rien ne serait possible sans l'apport des partenaires et sponsors, aussi bien au niveau matériel et technique qu'au niveau financier.

### 1°) Moyens financiers

Estimation des Coûts

Domaine	Type	Objet	Coût	Partenariat	Partenaire
Mécanique	Structure Alu	Bague de raccordement	275,00 €	275,00 €	Union Thermique
		Bague propu	100,00 €	100,00 €	Union Thermique
		Usinage	475,00 €	475,00 €	ESTACA
	Structure Composite	Fibre de Carbone 2.5m <sup>2</sup>	180,00 €		
		Matériel	75,00 €		
	Propulsion	Propulseur Chamois	2 000,00 €	2 000,00 €	CNES
	Système de récupération	Ventouses Magnétiques	60,00 €	60,00 €	
		Emérillon	20,00 €		
Cordes		10,00 €			
Electronique	Système électronique	Minuterie	100,00 €		
		Enregistrement	100,00 €		
	Connectique	Intégration	50,00 €		
	Alimentation	Piles	100,00 €		
Campagne	Transport		100,00 €	100,00 €	
	Hébergement	par personne	100,00 €	100,00 €	chaque membre
	Logistique		2 000,00 €	2 000,00 €	CNES - Planète Sciences
Total			5 745,00 €	5 110,00 €	
Reste à notre charge			635,00 €		
Budget			150,00 €		Aero-Efrei
Budget			485,00 €		ESO

### 2°) Moyens techniques

L'ESO utilise le matériel de l'ESTACA, ce qui facilite la conception ainsi que la fabrication mécanique. Au niveau de l'électronique, l'école est pourvue de labo mais ne possède pas de moyen de gravure des cartes. L'ESO a donc son propre matériel, mais la mise en oeuvre pratique est moins aisée.



# Conception et dimensionnement mécanique

## 1°) Généralités

La recherche d'un compromis entre masse et place disponible nous a conduits aux caractéristiques suivantes :

Diamètre extérieur : 105 mm

Hauteur : 2254 mm

Matériau des bagues : Aluminium

Matériau du corps de la fusée : Fibres de carbone (3)

Matériau de la coiffe : Fibres de verre

Masse sans propulseur : 7,5kg

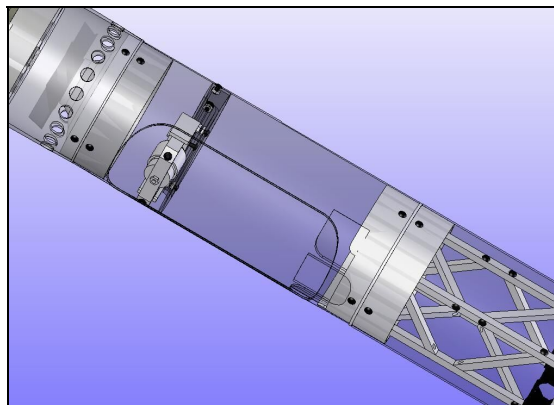
La fusée est ainsi constituée de 8 bagues en aluminium, de 6 tubes en carbone, d'une ogive et de 4 ailerons.

Ces caractéristiques et l'expérience, nécessitant une forte poussée, imposent le choix du moteur Isard comme propulseur.

## 2°) Séparation

### 2.1) Choix

L'équipe a préféré choisir son système de séparation favori, mais puisque le projet a été réalisé par deux clubs, il y a de fait deux systèmes de séparation identiques. Cependant il étaient déclenchés par des minuteries différentes : l'une analogique, et l'autre numérique.



## 2.2) Principe

La séparation est donc double porte afin d'essayer une descente de fusée de façon transversale.

La ventouse magnétique (\*2), servait au maintien de la porte (\*2).

Le parachute est éjecté tiré par la porte (\*2).

## 3°) Dimensionnement

### 3.1) Dimensionnement du parachute

La surface du parachute se calcule par  $S = 2 M g / (\rho_o \cdot C_x \cdot Vd^2)$

$$M = 8Kg$$

$$\rho_o = 1.30kg/m^3$$

$$C_x \text{ parachute} = 1$$

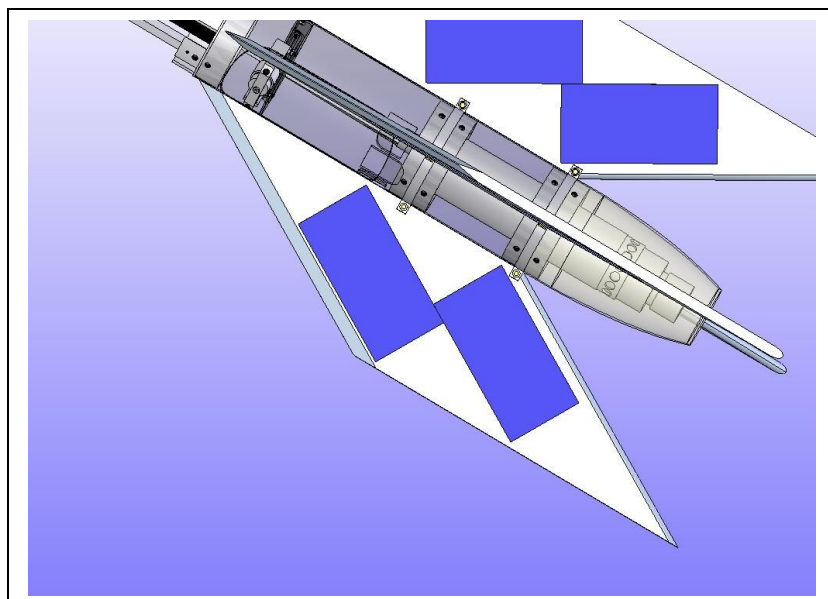
La vitesse de descente devant être comprise entre 8 m/s et 16m/s, l'équation nous a amené à deux surfaces : une maximale et une minimale. Le dimensionnement des parachutes assurait une vitesse de 16m/s si un seul parachute s'ouvrait et de 8m/s si les deux parachutes se déployaient.

### 3.2) Dimensionnement des ailerons

Les dimensions des ailerons étaient soumises à plusieurs contraintes. LA plus importante était l'implémentation des panneaux solaires.

Bien sur la seconde fut les critères de stabilité calculés par TRAJEC.

L'allure des ailerons fut donc la suivante :



# Conception de la partie électronique

## 1°) Capteurs

L'objectif principal était de mesurer la quantité d'énergie produite par la fusée au cours de son vol. Pour cela, la turbine placée dans la coiffe, délivrait une tension alternative et les cellules photovoltaïques sur les ailerons délivraient une tension continue.

Ces tensions étaient redressées, lissées et adaptées afin de cadrer avec le gabarit de numérisation : 0 à 5v.

A l'entrée de la carte de numérisation, nous avons donc 2 tensions représentatives de l'énergie délivrée par les modules solaires et la turbine, mesurées aux bornes d'éléments résistifs connus.

2 cartes ont ainsi été réalisées pour effectuer ces fonctions de conditionnement des capteurs.

La première était placée dans la case à équipement électronique, et la seconde à côté des panneaux solaires, sous le parachute.

Nous avons également eu le temps de réaliser notre expérience secondaire qui était l'accéléromètre mécanique. Celui-ci délivrait 3 tensions proportionnelles aux déplacements en X, Y et Z d'un mobile.

Il n'y a donc pas eu besoin de traiter ces signaux avant la numérisation.

## 2°) Sauvegarde Numérique

Cette carte recevait les données analogiques provenant des capteurs et devait enregistrer les données sous forme d'octets dans une mémoire EEPROM I2C.

Nous avons choisi une mémoire de type 24LC512 pour bénéficier de 64koctets d'espace.

Le temps d'enregistrement était de 5ms/octet et nous avons 5 mesures à sauvegarder. Ce qui nous laissait environ 45 minutes de sauvegarde.

L'utilisation du protocole I2C pour la sauvegarde a été une nouveauté pour le club et s'est déroulée avec succès quoique nous aurions pu utiliser l'enregistrement des données par page et non par octet afin d'augmenter la fréquence d'échantillonnage.

La numérisation était assurée par un PIC 18F452 qui travaillait à une fréquence de 20MHz.

Celui-ci était déclenché par un accéléro-contact au décollage de la fusée.

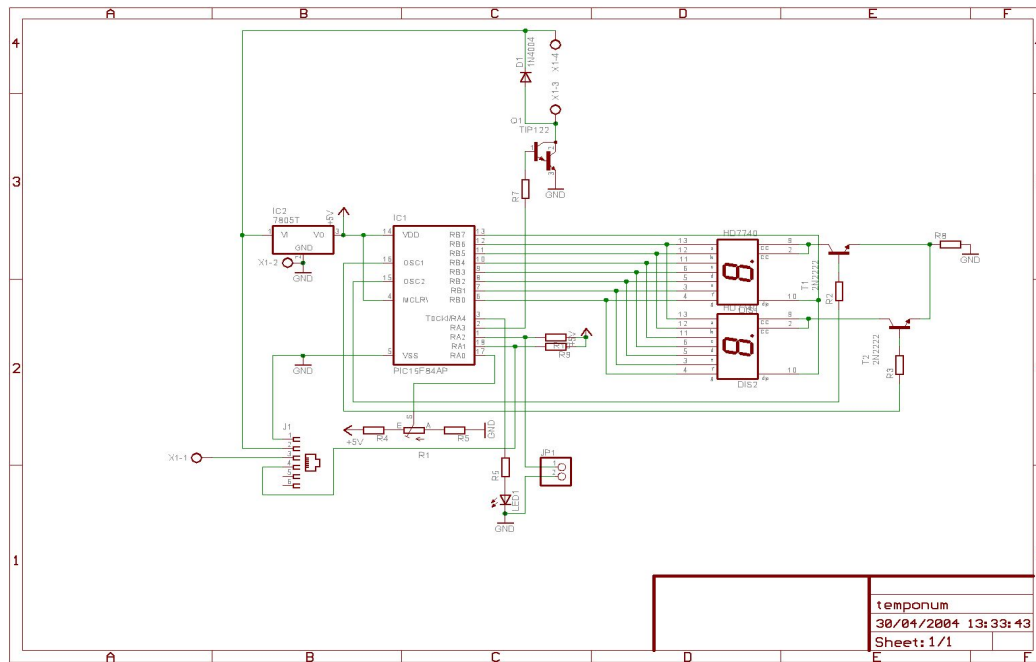


### 3°) Systèmes d'ouverture des trappes

La fusée était équipée de 2 parachutes et donc de 2 temporisations, l'une numérique et l'autre analogique, pour assurer une double sécurité d'ouverture.

La minuterie numérique fonctionnait sur un coeur à micro-contrôleur PIC. 2 afficheurs 7 segments indiquaient la valeur en secondes avant ouverture ainsi que le réglage de la temporisation avant le décollage.

Voici le schéma de la carte:



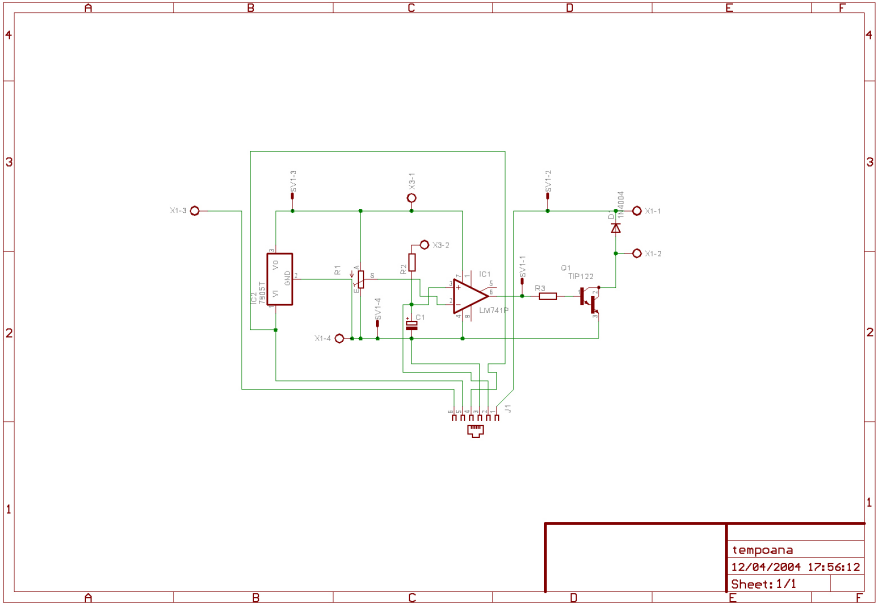
Le décollage est détecté par un accéléro-contact et toutes les commandes de la carte sont déportées sur la carte de commande.

Le réglage de la temporisation se fait par un trimmer dont la valeur numérisée indique au PIC à partir de combien entre 10 et 19 seconde il doit décompter.

La minuterie analogique fonctionne classiquement sur le principe de la détection de charge d'un condensateur.

Dès que la tension de référence d'un pont diviseur réglable est dépassée par celle de la charge de la capacité, un comparateur active la ventouse magnétique au travers d'un transistor de puissance.

Voici le schéma de la minuterie analogique:



Le décollage détecté par l'arrachage d'un jack autorise le chargement de la capacité.

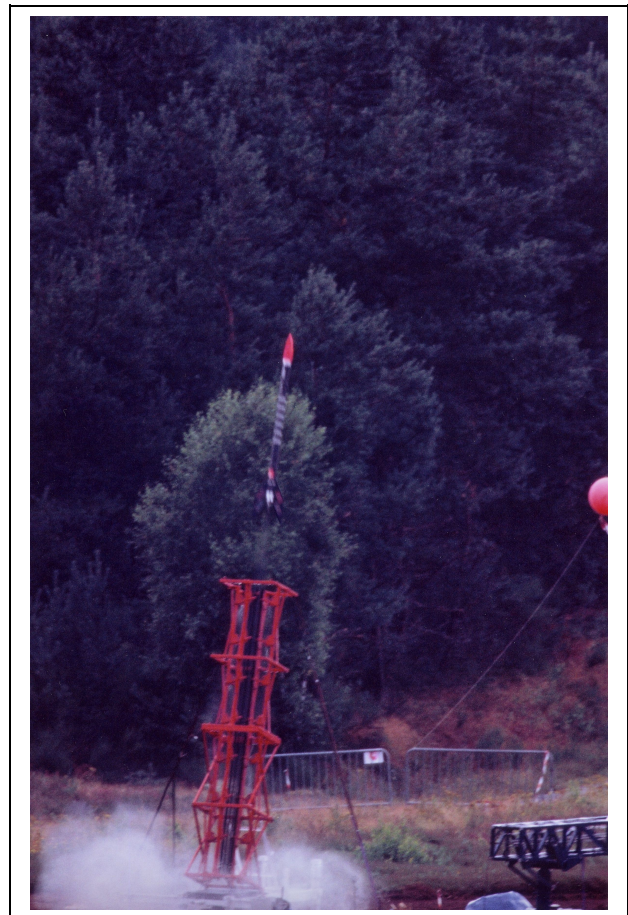
# La campagne de lancement et le vol

## 1°) Qualification

La qualification de la fusée s'est déroulée sans problème. Première fusée à avoir été notifiée d'un élément qualifié, seul la durée totale de qualification, due aux nombreux points « exotiques » fut un point négatif de cette épreuve.

## 2°) Vol

Le vol a eu lieu le Vendredi 29 juillet 2005 après-midi et fut nominal. La fusée décolla à 18h00. 16 s plus tard un nuage de craie marquait l'ouverture réussie de l'une des portes, poursuivie par l'ouverture du parachute bleu. La localisation du point de chute ne fut que très approximative mais la récupération de la fusée fut cependant assez rapide. Le buzzer embarqué à bord a été entendu de la route par l'équipe d'EDP.



*Le décollage et la descente sous parachute*

### **3°) Résultats de l'expérience**

A la récupération de la fusée nous avons constaté que la led de la carte d'enregistrement était éteinte, ce qui prouvait bien que des données avaient bien été enregistrées dans la mémoire de la boîte noire.

Malheureusement, lors de la lecture nous avons pu constater que les courbes étaient constantes.

Aucune interprétation de résultat n'a donc pu être faite mais on peut montrer que le système électronique a bien fonctionné, en effet, l'interprétation du vol peut être la suivante:

- Au décollage, l'accéléromètre contact s'est écrasé sur lui-même mais a tout de même déclenché l'enregistrement.
- Les données ont bien été enregistrées pendant toute la phase aérienne.
- A l'atterrissage, le choc a déconnecté et reconnecté les piles ce qui a éteint et rallumé la carte d'enregistrement et toutes les données ont été écrasées par des mesures au sol...



# Conclusion

Le projet EDP était une fusée expérimentale notamment destinée à l'enrichissement expérimental des deux associations.

Lancée le 29 juillet 2005 à La Courtine, elle a fait un vol nominal. Les données enregistrées à bord sur les mémoires ont pu être récupérées, mais malheureusement non exploitées par la suite.

Ce projet est donc une parfaite réussite au niveau technique et l'équipe en est fière et heureuse.

Il ne restera finalement qu'un seul regret à l'équipe : De ne pas avoir pu exploité les résultats d'expériences. Mais ce n'est que partie remise !

# **ANNEXES**

## Chronologie d'EDP

Décompte	Opération	Membre	Remarque
H-94	Arrivée Sur zone	Tous	
	Changement de piles	Matthieu et Pierre	
	Ouverture des trappes para	Pierre	
H-92	Test du pic	Matthieu	Led rouge doit clignoter
H-91	Test Ailerons	Tous	
H-90	Test des tempos en simultané	Tous	
H-85	Pliage parachutes / fermeture	Tous	
	Talcage		
	Inter en position sécurité		vers la droite
	Le club est prêt pour la descente sur rampe		
<b>H-70</b>	Descente en rampe	Tous	
H-60	Démontage des coques de menhir	Pierre	
H-44	Test de compatibilité avec la rampe	tous + rampe	
	Test sécurité tempo	matthieu Pyro	
H-39	Demande de descente du propulseur	Accompagnateur	
H-37	Mise en place du propulseur	Pyrotechnicien	
H-32	Insertion de la fusée dans la rampe	Tous	
H-30	Mise en place des jacks	Matthieu	
H-30	Attachage des jacks	Matthieu	
H-28	Erection de la rampe	Matthieu + Rampe	
H-18	Haubannage	Matthieu + Rampe	
H-13	Allumage Pic	Matthieu	Diode rouge clignotante
	Allumage Aérogénérateur	Matthieu	Diode rouge du bas
	Allumage Panneaux solaire	Matthieu	Diode rouge du haut
	Allumage tempo numérique (inters du bas)	Matthieu	Verifier les afficheurs
	Allumage tempo analogique (inters du haut)	Matthieu	Verrifier leds Bleu, vert et rou
H-11	Evacuation de la zone vers le pupitre	Tous	
H-9	Mise en place de la canne d'allumage	Pyro	
H-6	Basculer inter de sécurité vers la gauche	Matthieu	
H-4	Raccordement à la ligne de mise à feu	Pyro	
H-2	Retour du pyro	Pyro	
H-10s	Décompte	PC fusex	
H-0	Mise à feu	Marielle	

