

# Compte rendu d'expérience du projet xXx du club FIRE



Test d'ouverture des ailes, la Courtine 2008.

Membres du projet : Romain et Jean-Jacques Boré

# Dossier technique du projet xXx du club FIRE



# Sommaire

Sommaire.....	2
1) Présentation du projet .....	3
1-1) But de l'expérience .....	3
1-2) Moyen retenu.....	3
1-3) Explication détaillée .....	3
1-4) Explication du vol.....	5
1-5) Description technique.....	5
1-6) Aspect Sécuritaire.....	6
2) Mécanique .....	6
2-1) Structure.....	6
2-1-1) Introduction .....	6
2-1-2) Flèche .....	7
2-1-3) Fixation de l'aile.....	7
2-1-4) Fixation des ailerons.....	7
2-2) Système d'ouverture des ailes.....	8
2-3) Module .....	8
3) Expérience.....	8
3-1) Introduction .....	8
3-2) Mesure et capteurs .....	9
3-2-1) Mesure d'altitude .....	9
3-2-2) Accéléromètres.....	9
3-2-3) Tube de Pitot .....	9
3-3) Pic et programmation .....	10
3-4) Télémessure .....	10
4) Système de sécurité .....	11
4-1) Introduction .....	11
4-2) Fonctionnement .....	11
Annexe 1.....	12
Annexe 2 .....	13
Annexe 3 .....	17
Annexe 4 .....	18
Annexe 5 .....	19
Annexe 6 .....	20
Annexe 7 .....	23
Annexe 8 .....	24
Annexe 9 .....	26
Annexe 10.....	27

# **1) Présentation du projet**

## **1-1) But de l'expérience**

-Premièrement, réaliser un retour automatique au sol, c'est-à-dire que la phase sous ralentisseur est asservie par le projet et si possible de maîtriser son lieu d'atterrissage.

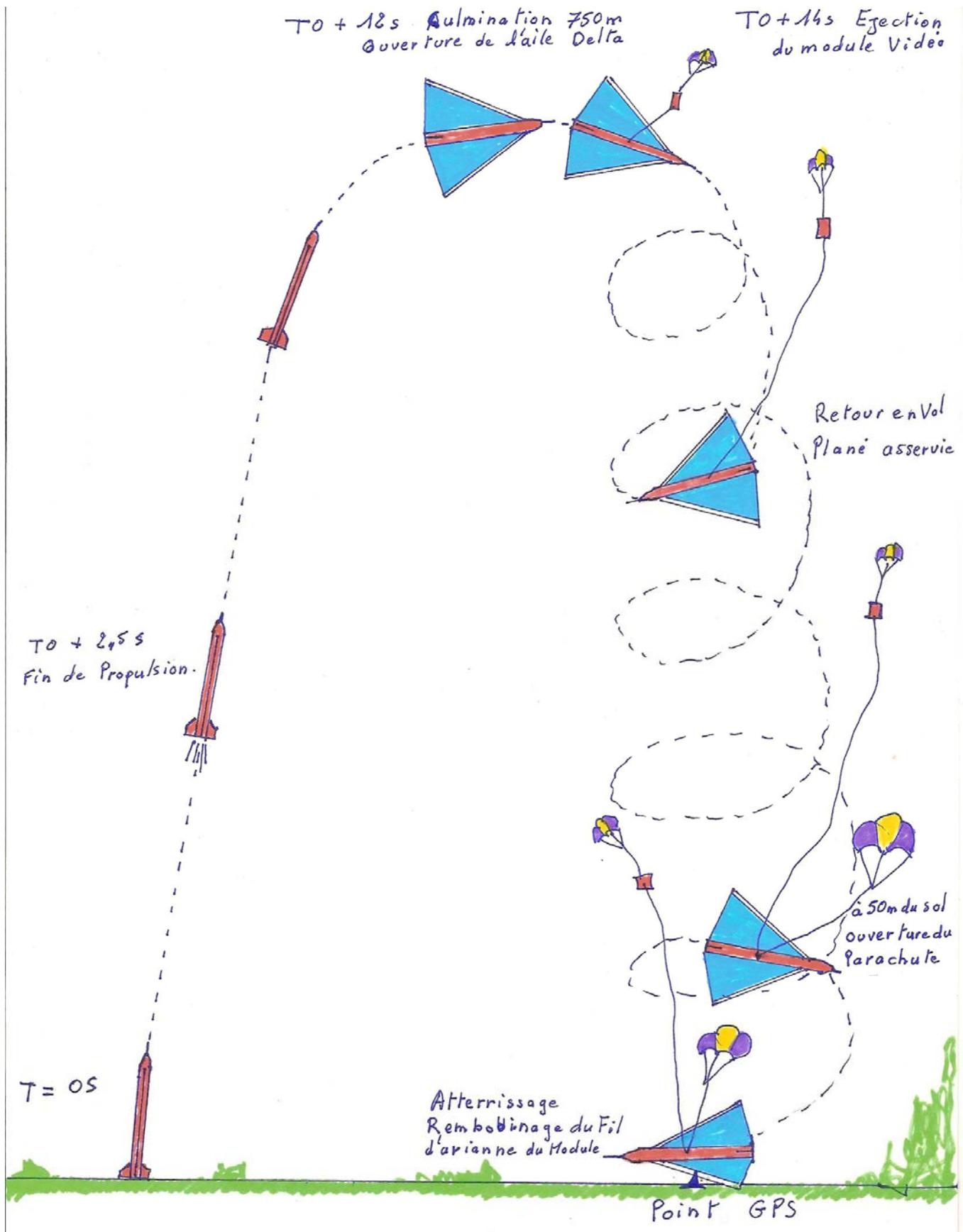
-Deuxièmement, visualiser la phase de retour automatique.

## **1-2) Moyen retenu**

-Pour contrôler la descente du projet nous utiliserons une aile delta qui s'ouvrira à culmination. Cette aile sera asservie en modifiant l'ouverture d'une demi aile. Pour que l'asservissement soit efficace nous utiliserons un GPS (pour connaître sa position), un capteur de pression (pour en déduire l'altitude et la vitesse de descente) et un accéléromètre (pour en déduire le rayon de sa trajectoire).

-Pour visualiser le projet, nous éjecterons un module vidéo qui filmera (stocké sur carte mémoire) la descente du projet, donc sa vitesse de descente sera inférieure à celle de la fusée. Pour ne pas perdre ces données le module sera relié au projet par un « fil d'Ariane » (bobine de 200m de fil de pêche) qui sera rembobiné par la fusée après que celle-ci se soit posée.

## **1-3) Explication détaillée**



## 1-4) Explication du vol

T0 : décollage

T0+3.6s : fin de propulsion

T0+12.5s : culmination, ouverture ailes

T0+14.5s : ailes déployer, éjection du module

T0+~110s : ouverture parachute (altitude : 50m)

T0+~117s : atterrissage, rembobinage du module

A 80°, lors de la culmination le projet a parcouru 285m (407m à 75°), la séquence de mise en rotation s'effectuera comme suit :

-attendre un certain temps, pour être au milieu du gabarit.

-ensuite seulement on commence la rotation et l'asservissement.

## 1-5) Description technique

Une capture de trajectoire est disponible en annexe 1. Comme vous pouvez le constater nous sommes juste au niveau de la portance et nous avons une marge statique élevée, du fait que notre Centre de gravité est imposé par l'aile. Le produit  $C_m = C_n \times MS$  reste inférieur à 100 mais cela n'empêche pas qu'il faudra des conditions de lancement particulier : pas de rafale de vent et vent constant faible (<5m/s). Pour avoir une vitesse de descente relativement faible (<10m/s) nous avons du utiliser une grande surface d'aile : 2m50 de haut et 2m95 de large. Elle est composée de deux épaisseurs de toile spi cousu entre elle en forme de quadrillage.

Hauteur : 2m80

Diamètre : 15cm

Poids : ~14Kg

Vecteur : Pro54-5G

Peau : alu 75 dixième

Ogive : polyester 2mm

Ailerons : alu 2mm

Envergure ailerons max : 520mm

Surface des ailes : 3.5m<sup>2</sup>

Vitesse de redescende sous ailes : ~6m/s

Surface du parachutes : 4m<sup>2</sup>

Vitesse de redescende sous parachute : ~7m/s

Vitesse de redescende module : ~5m/s

D'après trajec la vitesse en sortie de rampe avec une masse de 15Kg serait de 20m/s et avec une masse de 14Kg de 21m/s.

## **1-6) Aspect Sécuritaire**

Ce projet comporte des risque aux niveau des biens et des personnes, c'est pour cela que nous avons fais un dossier de sécurité ainsi qu'une analyse de sécurité (analyse par phases, cas de panne simple).

## **2) Mécanique**

### **2-1) Structure**

#### **2-1-1) Introduction**

Pour des raisons d'intégration de l'aile, nous avons choisi d'utiliser une structure à peau non porteuse. La fusée est composée de six bagues de séparation en aluminium (voir les plan des bagues et la structure détailler en annexe 2), ces bagues sont reliev entre elle par six profilé aluminium de 2mm d'épaisseur : 1 carré de 25x25 (qui va de la bague de pousser a la bague ogive) + 1 T de 20x20 et 4 L 20x10 (qui vont de la bague ailerons a la bague ogive). Le bas de cette structure (vue longitudinal) est réservé à l'électronique, aux piles et aux moteurs qui commandent l'aile (voir sous paragraphe 2-2). Au dessus ce trouve la case para, le module et le récepteur GPS.

L'émetteur Kiwi Me est situé dans l'ogive et l'antenne (qui sert aussi de tube de pitot) sort de l'ogive.

### 2-1-2) Flèche

Nous avons effectué quelque calcul de flèche sur cette structure, pour des raisons de temps nous avons considéré que les 6 profilés :

Flèche statique = 45mm

Flèche max autorisé par le CDG = 28mm

Flèche dynamique (MEC2 +800g) = +19mm

Flèche max autorisé par le CDG (MEC2 +800g) = +28mm

Nous voyons que la structure se comporte très bien au rajout de 800g, en revanche on dépasse en flèche statique de 60%, mais une fois la structure assemblée (bagues + profilés) nous serons bien en dessous des 28mm imposé par le Cahier des charges.

### 2-1-3) Fixation de l'aile

L'aile est d'une seule pièce et est fixée au dessus du carré alu, donc l'aile est 12mm au dessus du centre de la fusée. Au niveau du propulseur, elle est séparé et tenu de chaque coté par un profilé rond. Des découpes (renforcé par des doubles ourlets) sont prévues au milieu de l'aile pour faire passer les fils électrique du coté électronique au coté ou se trouve le parachute, le module ainsi que le récepteur GPS.

### 2-1-4) Fixation des ailerons

Les ailerons sont en aluminium 2mm et seront fixés à la structure par deux cornières alu 20x20x2mm qui elle-même seront fixé sur la bague ailerons ainsi que sur la plaque de pousser.

## **2-2) Système d'ouverture des ailes**

Chaque actionneur des demi ailes est composé d'un moteur électrique à courant continu fixé à une tige fileté, sur lequel se situe un écrou qui est relié au bord d'attaque de l'aile par une tige d'acier. Le bord d'attaque sera découpé (et renforcé par un double ourlet) pour laisser passer la liaison mécanique (voir annexe 3). L'avantage de ce système c'est qu'il ne peut pas s'ouvrir si le moteur ne tourne pas.

## **2-3) Module**

Le module est composé d'une caméra vidéo du commerce, d'une bobine de fil de pêche de 200ml (7Kg à la rupture) et d'un parachute qui lui donnera une vitesse de descente d'environ 5m/s. La bobine de fil est libre ce qui évite tout problème de blocage lors de l'éloignement du module de la fusée. L'ouverture du module est assuré par une ventouse électromagnétique (il faut envoyer du courant pour que le module s'éjecte) commandée par l'électronique de l'expérience. Vu que le terrain de La Courtine est très accidenté et boisé, nous avons décidé de motoriser le fil d'ariane : un petit moteur électrique permet de rembobiner le fil une fois le projet arrivé au sol; ce qui éviteras que le module se pose a la cime des arbres et qu'on ne puisse pas l'atteindre. Un plan est disponible en annexe 4.

## **3) Expérience**

### **3-1) Introduction**

Cette partie du projet gère l'asservissement de l'aile et la génération des trames SNR pour la télémessure. Elle est constitué d'un PIC18F458 qui s'occupe de tout les calculs pour le retour automatique : regarder l'altitude, en déduire la vitesse, regarder le rayon du vol, convertir les trame GPS en données exploitables et les comparer au point GPS du gabarit stocké dans la mémoire interne du PIC. Voir tout les schémas électroniques en annexe 6 ainsi qu'un schéma bloc en annexe 5.

## **3-2) Mesure et capteurs**

### **3-2-1) Mesure d'altitude**

Le capteur utilisé est le même que pour notre précédent projet, c'est un capteur de pression absolu déjà amplifié MPX4115, ce qui évite des problèmes de CEM. Nous avons juste réalisé un conditionneur de mise à l'échelle, en effet la plage de mesure du capteur est 15-115kPa !!! Ensuite cette tension est directement envoyée au PIC pour y être numérisée. La précision minimum attendue sera de 1bit = 1m et maximum 1bit = 0,75m.

### **3-2-2) Accéléromètres**

L'accéléromètre est un composant du commerce (ADXL311) ce qui nous donne une mesure assez fiable et avec peu d'erreur. La plage du capteur est -2g/+2g suivant deux axes et l'erreur maximum est de 2%! Nous nous servons de ce capteur pour en déduire l'accélération normale de la fusée quand elle planera pour redescendre. Toute la partie calcul et démonstration se trouve en annexe 9.

### **3-2-3) Tube de Pitot**

Pour connaître le rayon du cercle que décrit le projet il nous faut l'accélération normale mais aussi la vitesse longitudinale. Pour cela nous utilisons un tube de Pitot placé au milieu de l'ogive et qui servira aussi d'antenne. Sur ce tube il n'y a pas de prise de pression statique, la mesure de celle-ci est faite directement au niveau du capteur différentiel. C'est un MPX2010DP, qui a une plage de mesure de 0 - 10kPa. Étant donné que ce capteur n'est pas amplifié (comme celui de l'altitude), nous utilisons un amplificateur AD627 et nous avons dimensionné la carte en fonction des problèmes de CEM que ces types d'amplis peuvent induire. Tous les calculs relatifs à la mesure de vitesse se trouvent en annexe 10.

### 3-3) Pic et programmation

Pour réaliser toutes les opérations nécessaires au vol plané automatique (comparer les données GPS par rapport au gabarit, réguler le rayon de courbure, générer les trames SNR et gérer le module) nous utilisons un microcontrôleur PIC 18F458 cadencé à 40MHz. Le programme est réalisé en C pour plus de facilité et gain de temps. La programmation du composant se fait par liaison série (bootloader) ce qui facilitera le débogage de la carte. Chaque partie de programme sera faite en sous-programme : conversion analogique numérique, envoi d'une trame SNR, réception des trames GPS, retour automatique etc... Bien sûr nous utiliserons les interruptions pour réaliser toutes ces tâches « simultanément ».

### 3-4) Télémétrie

Pour ce projet nous avons choisi d'utiliser une télémétrie FSK à 4800Bauds. Comme indiqué plus haut, le PIC se chargera de numériser et de faire la trame SNR qui sera envoyée à l'émetteur KIWI ME à travers le modulateur FSK.

Trame envoyée par notre projet : (cette trame n'est pas définie à 100%, donc elle risque d'évoluer avant la campagne)

FF, altitude, vitesse, accélération x, accélération y, rayon, latitude, longitude, altitude, précision, nombre de satellite, position ailes1, position ailes2, phase de vol n°1, phase de vol n°2.

Ce qui nous fait environ 15 octets par trame et donc nous recevrons 32 trames SNR par seconde.

## 4) Système de sécurité

### 4-1) Introduction

Voir tout les schéma électronique en annexe 8 ainsi qu'un schéma bloc en annexe 7. Il est composé de deux timers, un pour empêcher toute ouverture (aile, module ou parachute) avant la culmination ( $t=12s$ ) et l'autre pour ouvrir le parachute si le GPS n'a pas été acquis avant que la fusée ne sorte du gabarit : voire en Annexe 11 les calculs se rapportant au vitesse de déplacement en vol plané.

### 4-2) Fonctionnement

Ce système est basé sur un compteur binaire de 0 à 127, le signal d'horloge est réalisé à partir d'un ampli-op monter en astable de fréquence variable par potentiomètre. Ensuite ce compteur est relié à une bascule RS qui elle-même est reliée à un transistor qui alimente ou non la ventouse électromagnétique. Cette ventouse est dite « à émission de courant », c'est-à-dire qu'elle est aimanté au repos, et qu'elle se désaimante quand un courant la traverse. Aucun problème d'autonomie donc.

# Annexe 1

ca I:\TRAJEC-2\Trajec25.exe

F1 : Trajectoire F2 : Stabilité F3 : Fichiers F4 : Moteurs F5 : Vent

FUSEE: <b>xxx</b>	CLUB:	MOTEUR: PRO54-5G	PAS: 10 %
-------------------	-------	------------------	-----------

virole: NON Xcg: 50  
 masse: 1.0000

↑ prop:2330

← 250 → D ← Xcg vide:1385 → — Xcg:1519 →

150

↓ L=2500

masse:15.000 kg

coiffe:conique

jupe/rétréint : NON

sortir du programme

déplacements: ←↑→ valid.: RETURN variations: +-

Produit Ms x Cn : vide= 83.0 plein= 75.3

biétage : NON

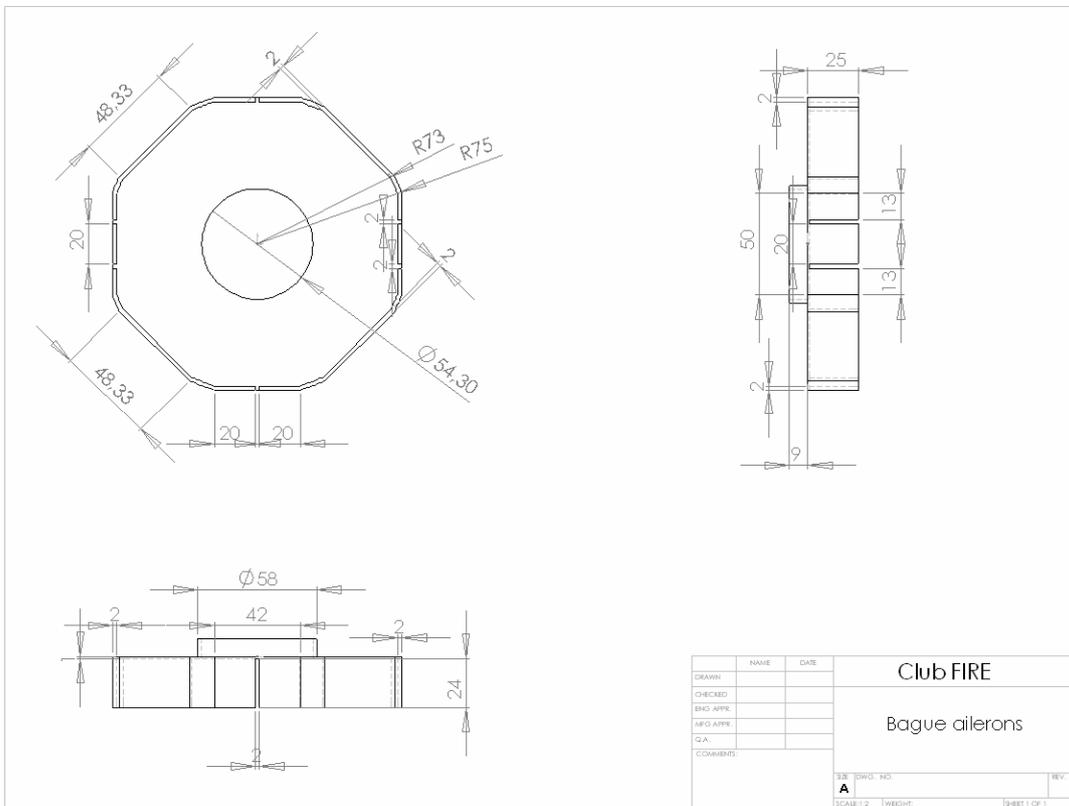
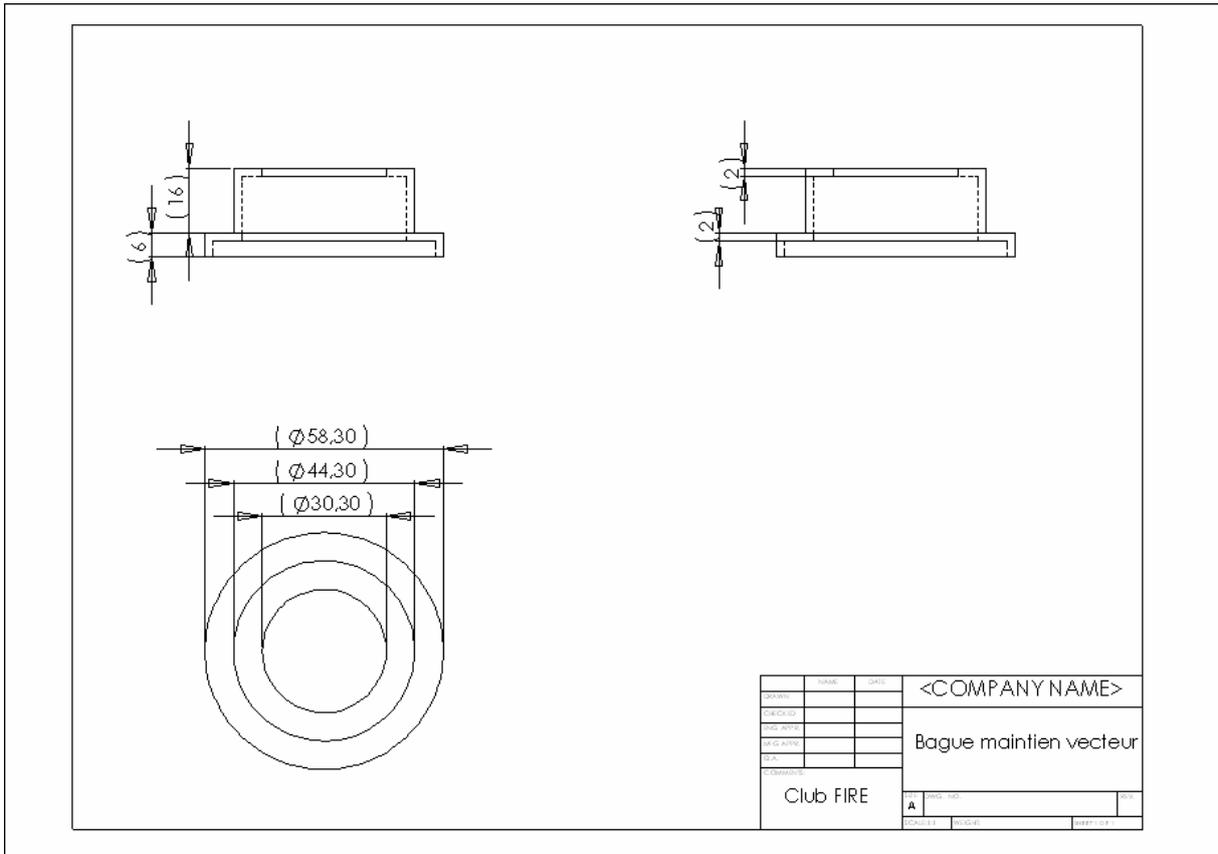
épaisseur ailerons : 2.0

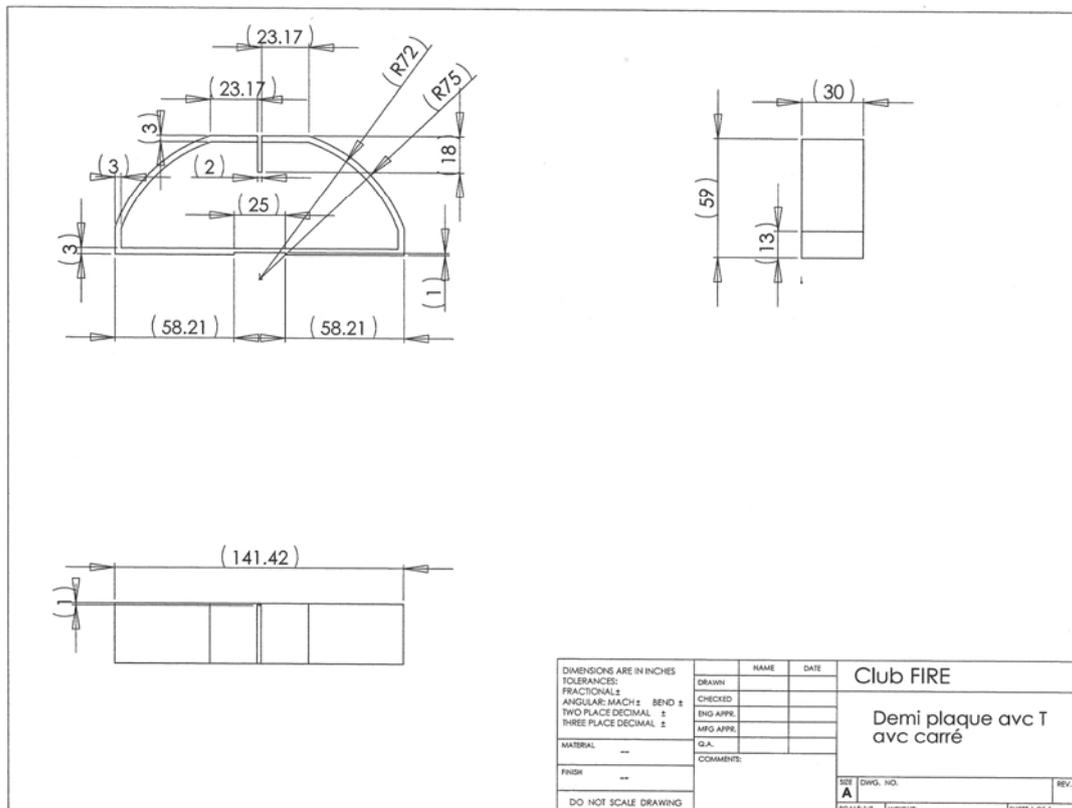
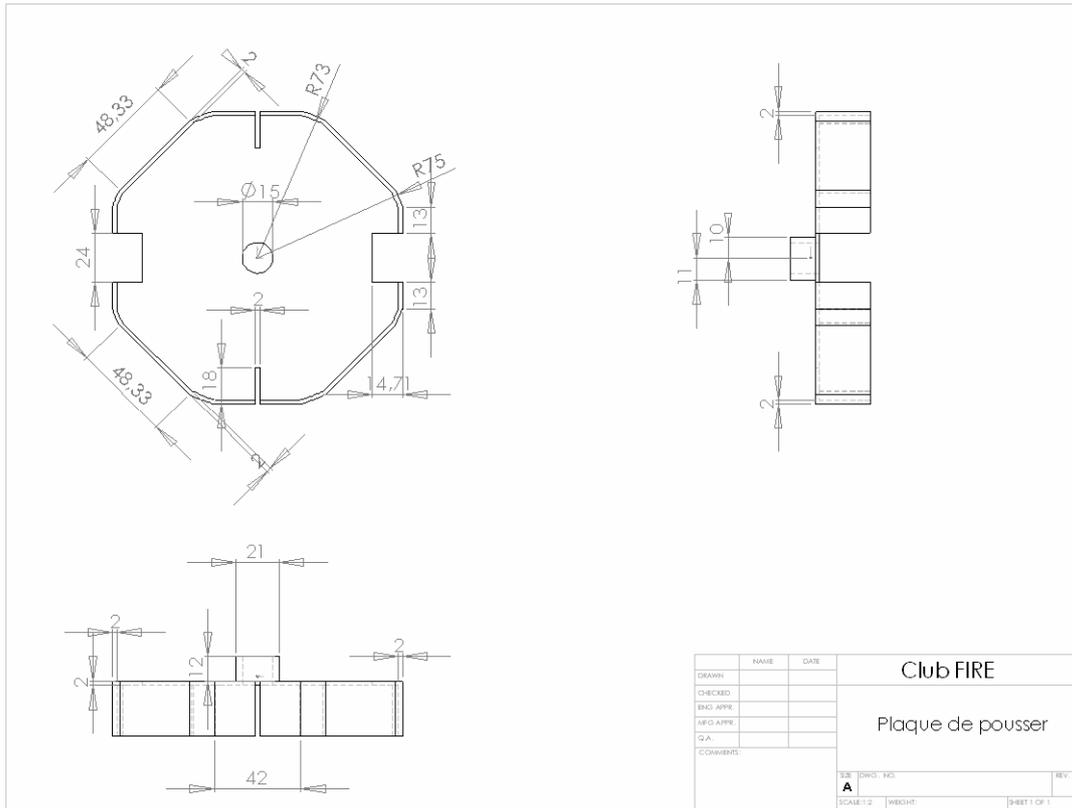
nombre d'ailerons : 4

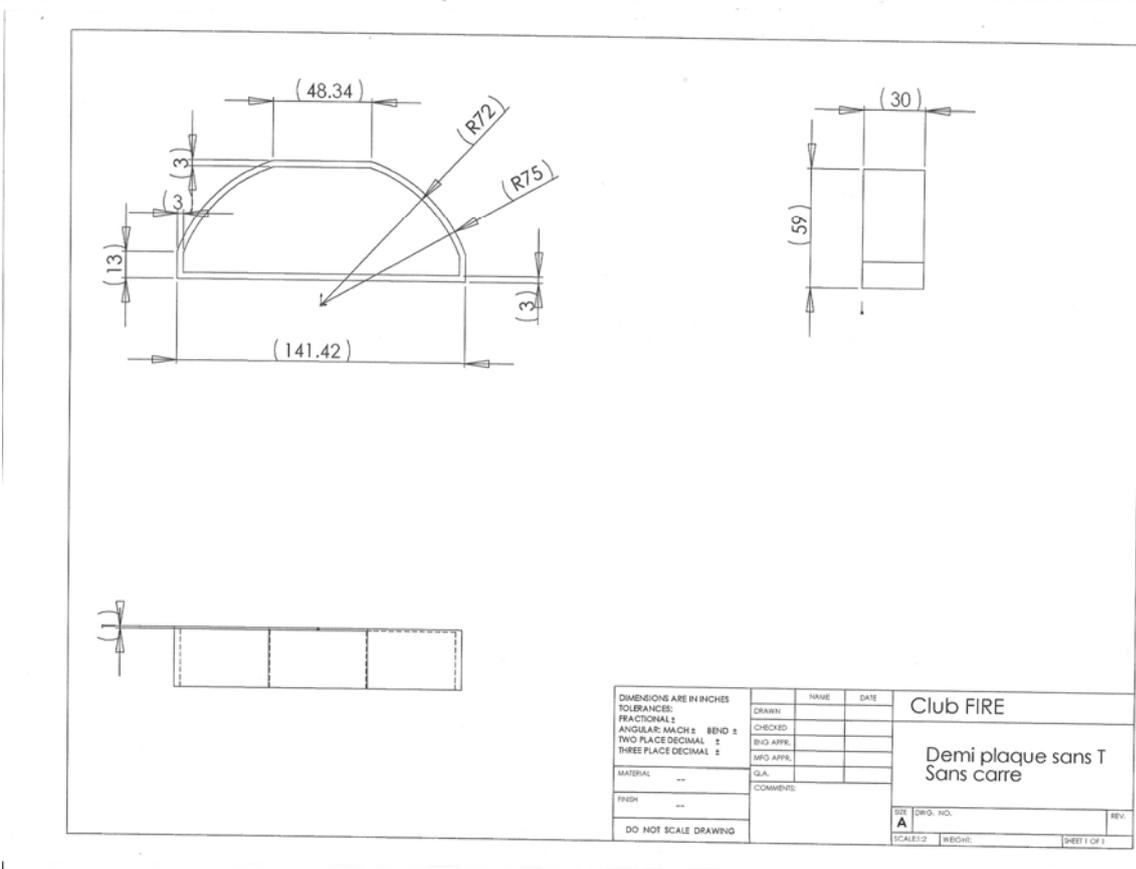
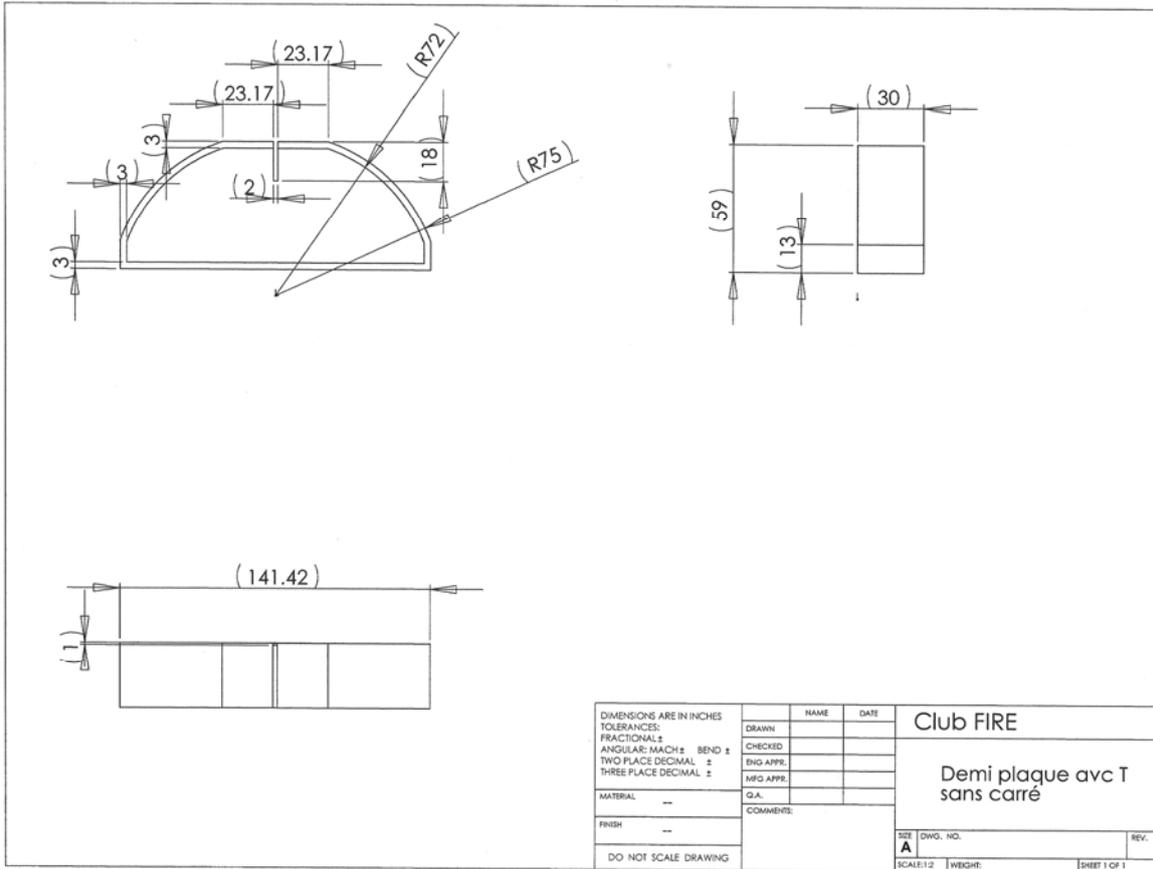
nom de la fusée

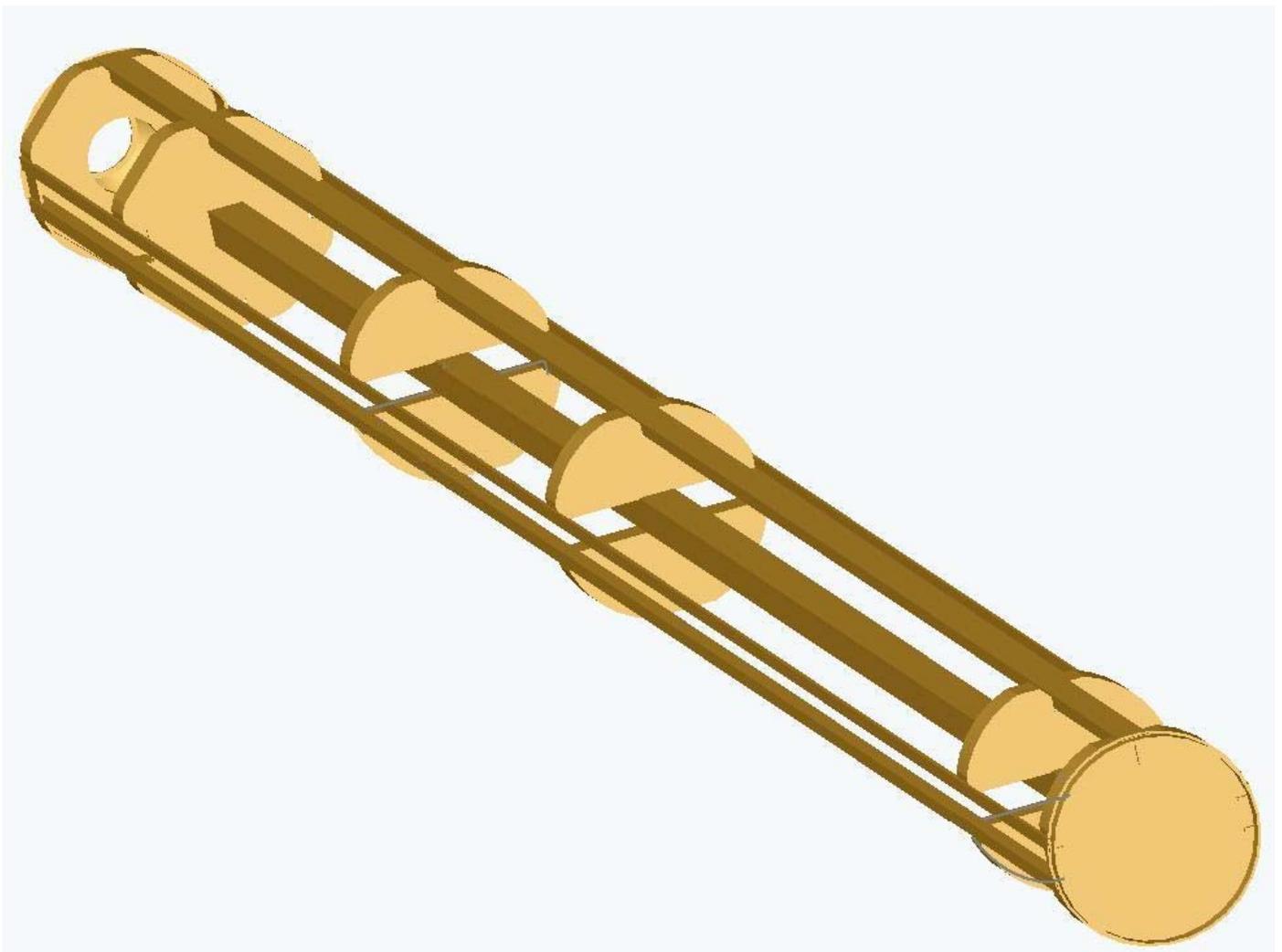
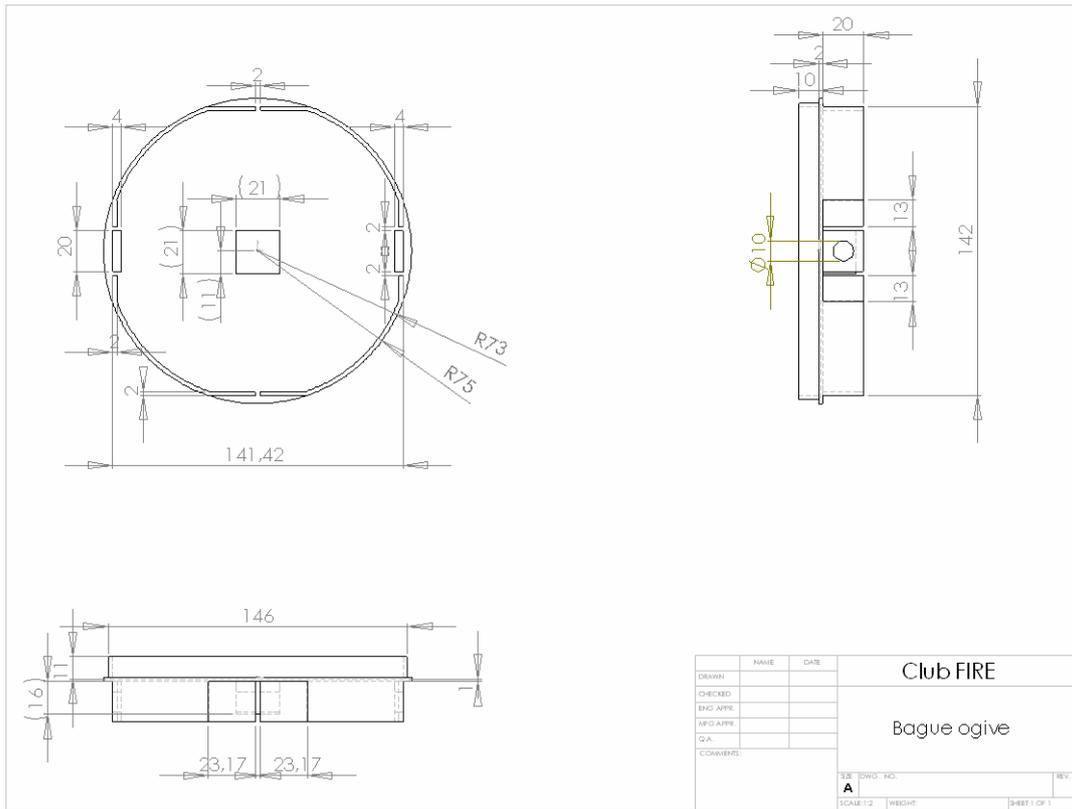
Cn=15.3 ||Xcp:2259 ||marge statique:de 4.9 à 5.4 STABLE

# Annexe 2

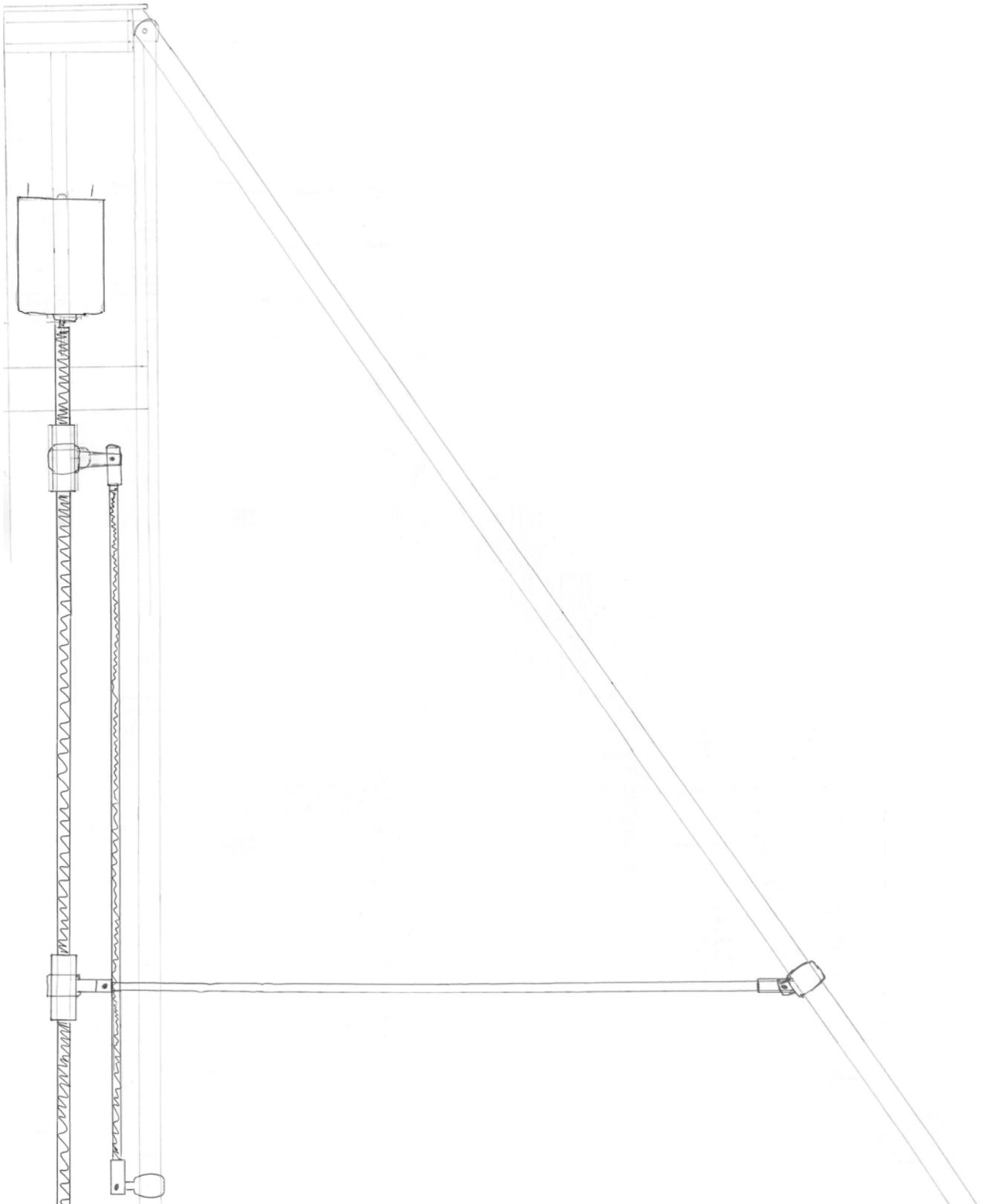




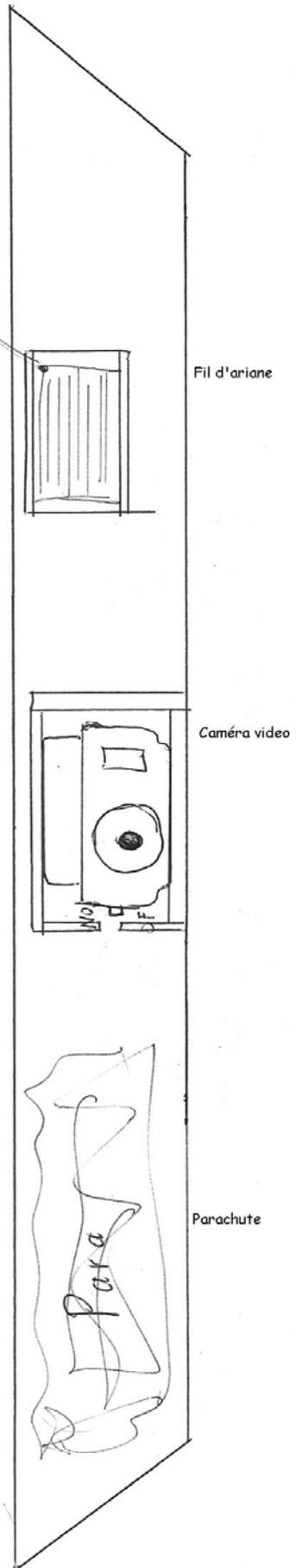




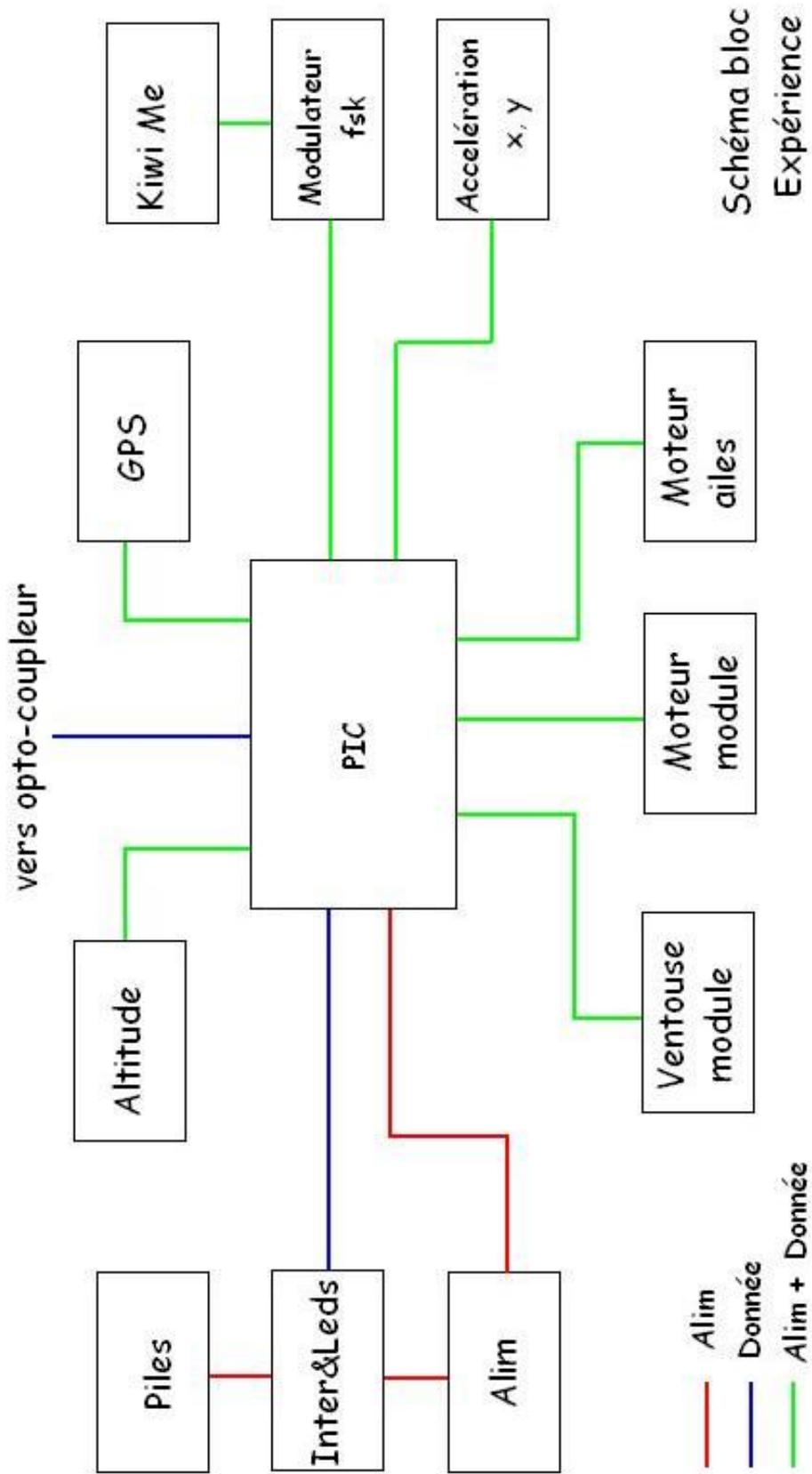
## Annexe 3



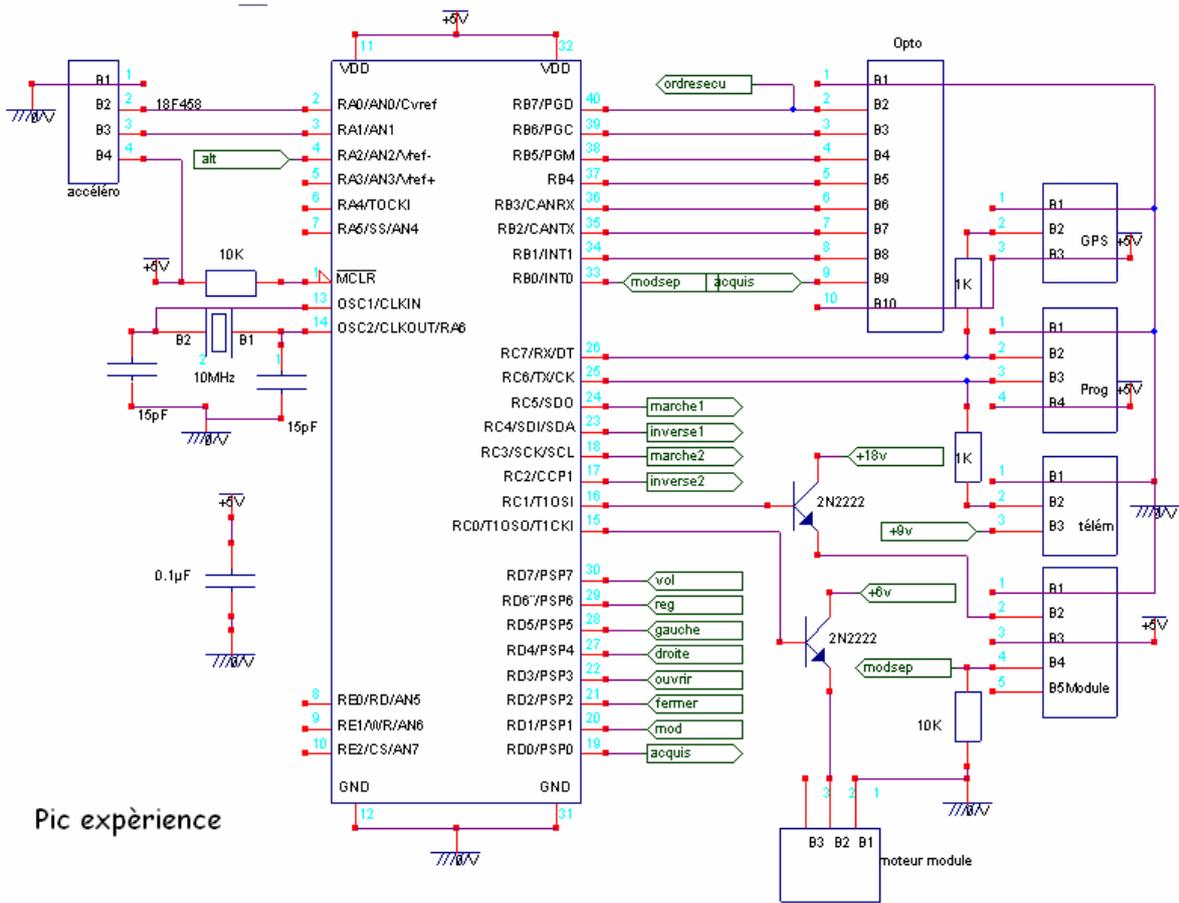
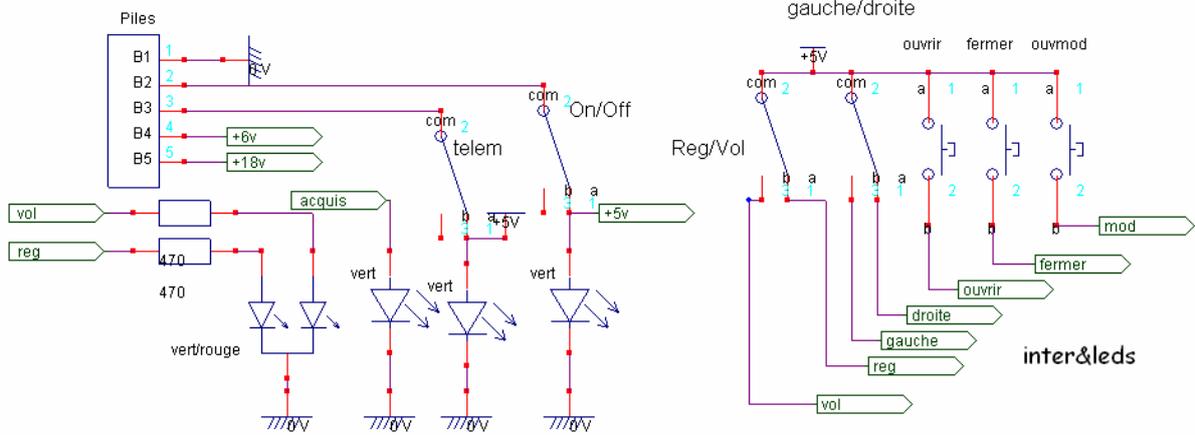
# Annexe 4

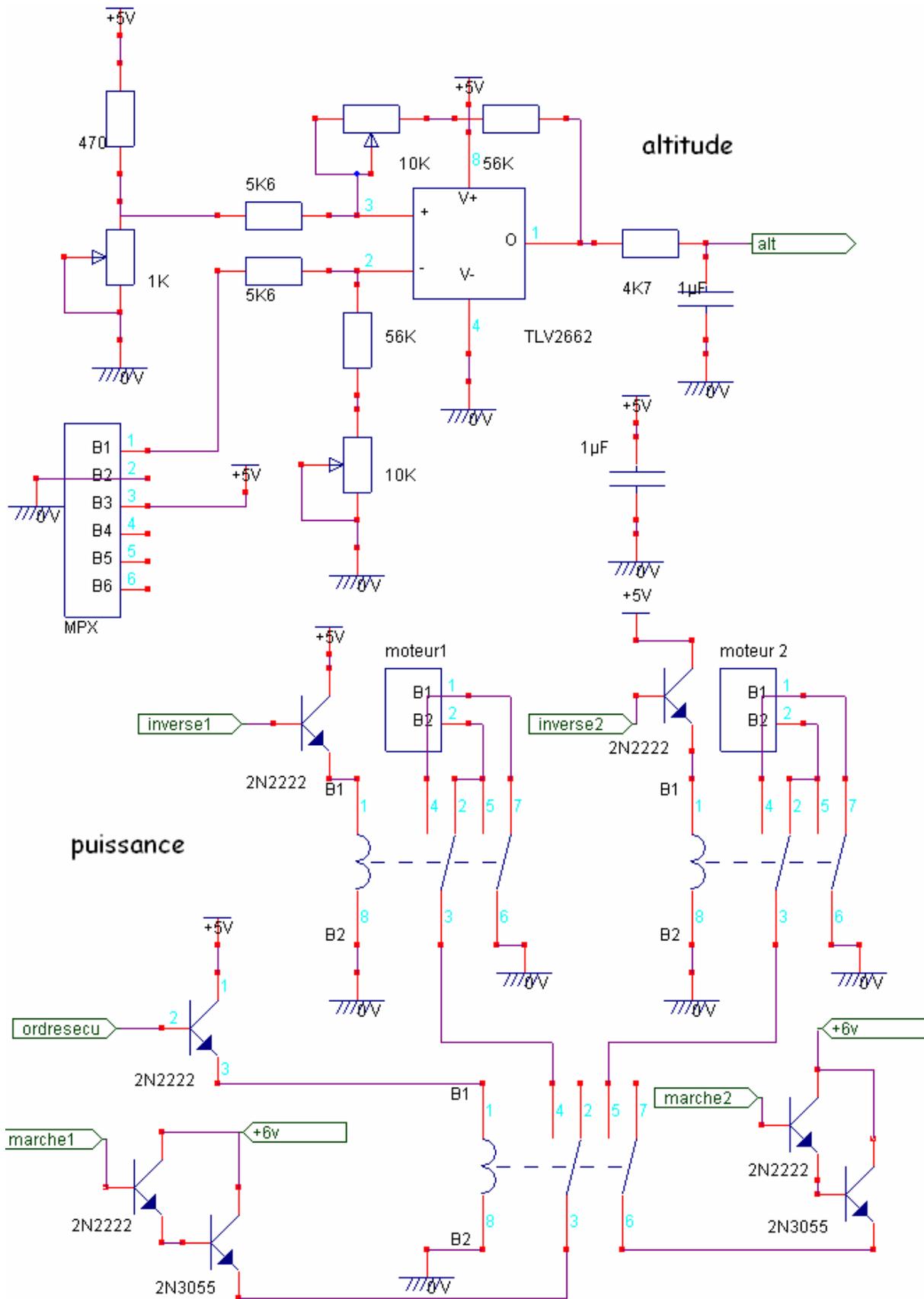


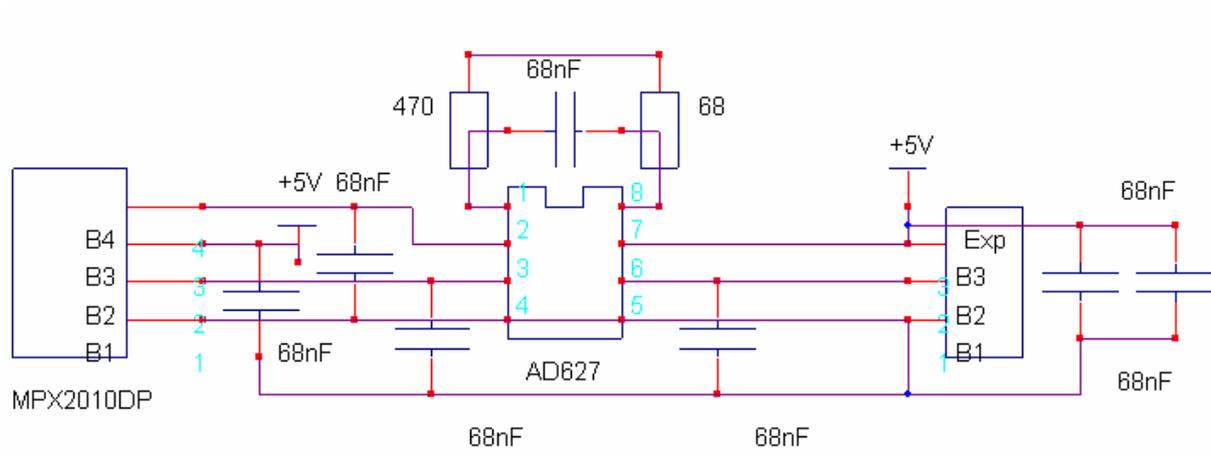
# Annexe 5



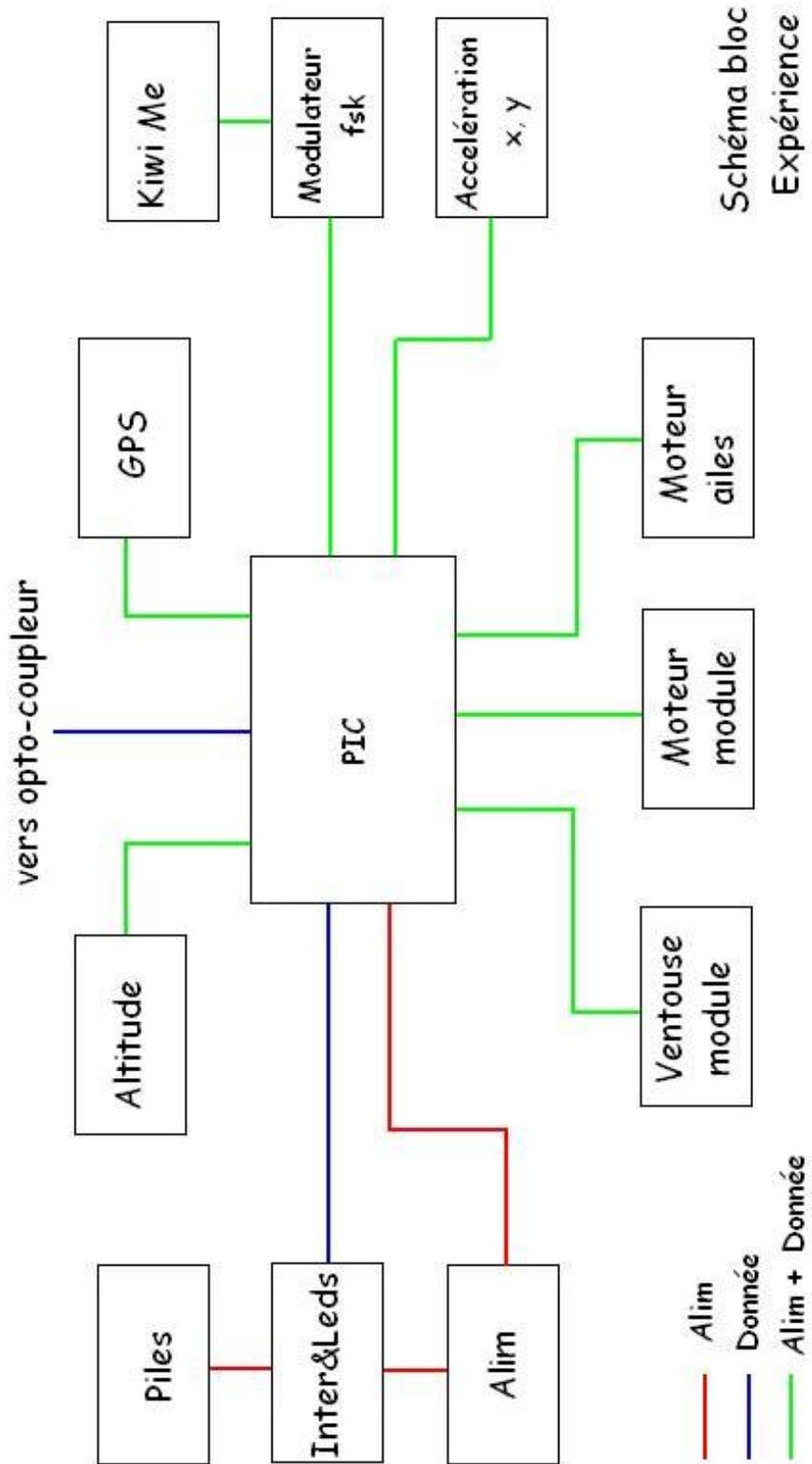
# Annexe 6



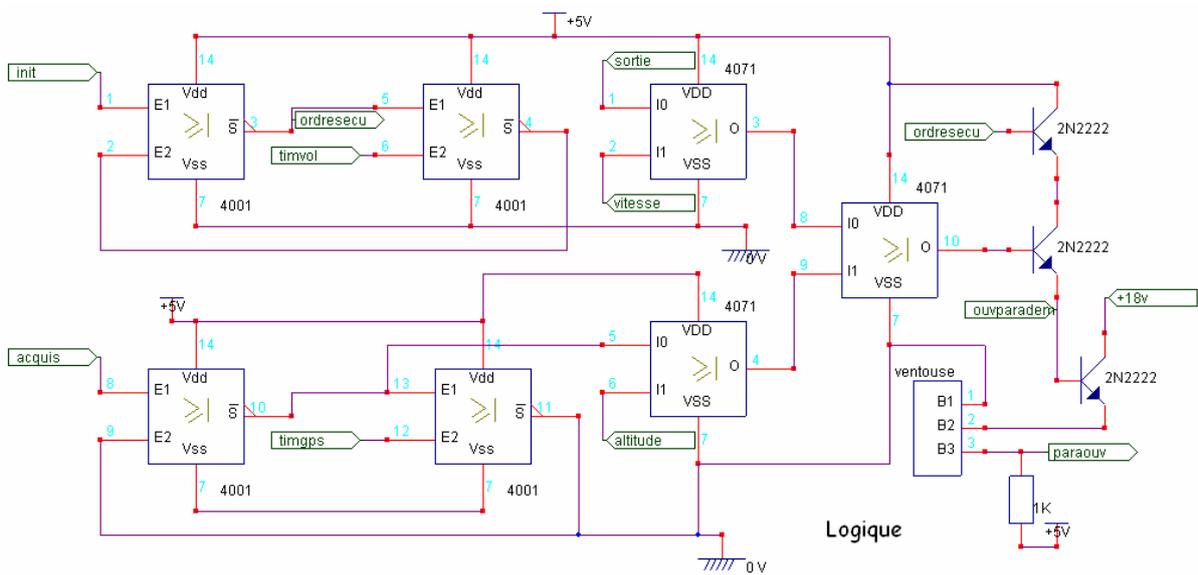
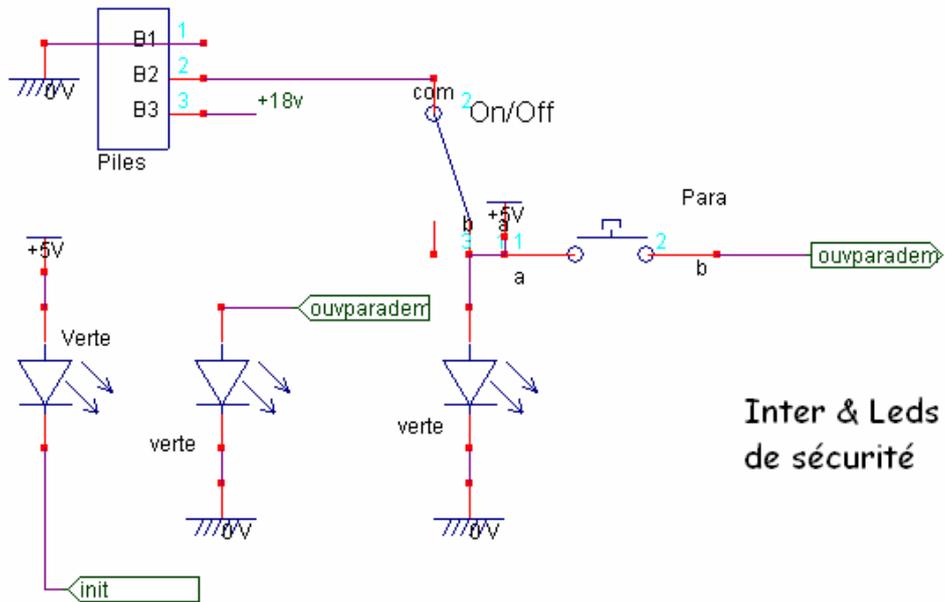


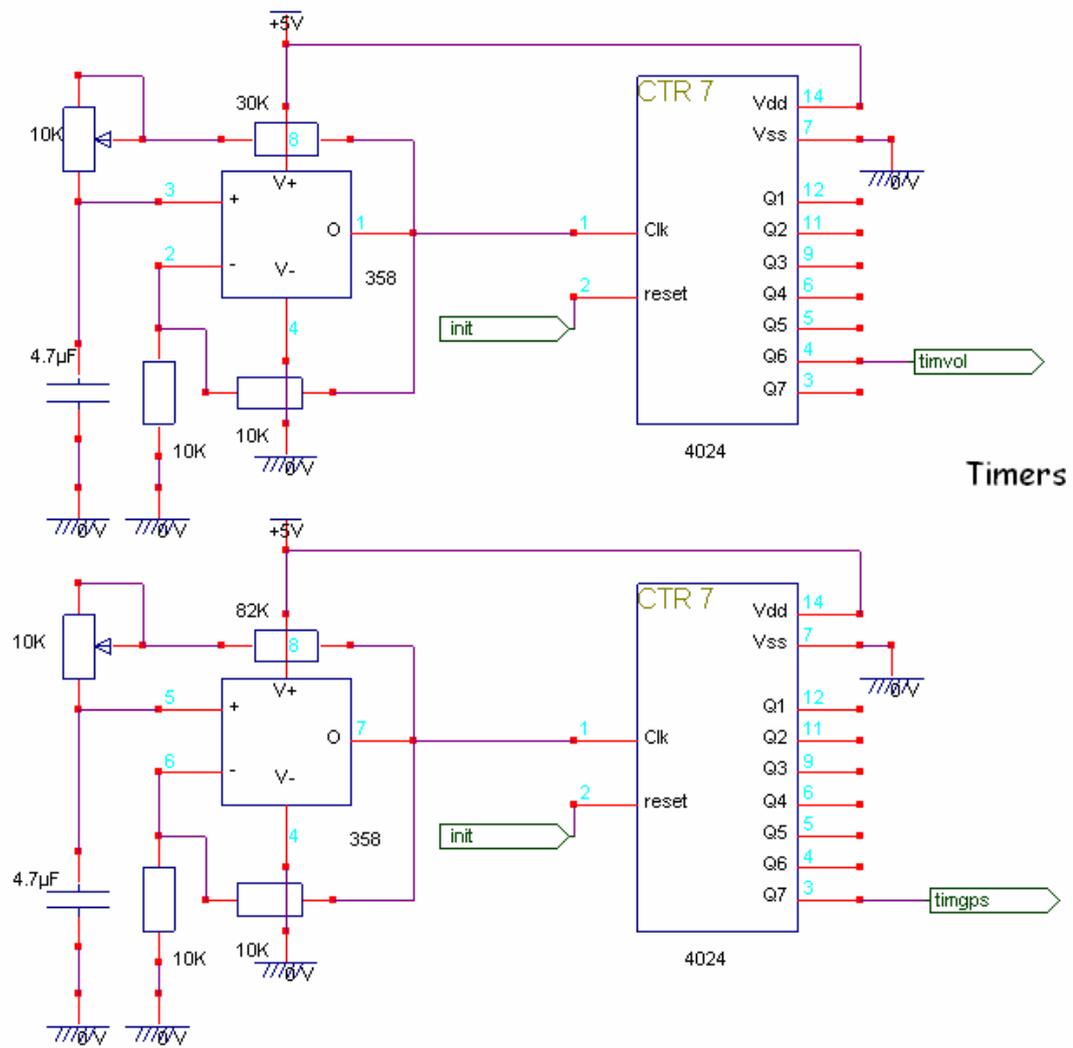


# Annexe 7



# Annexe 8

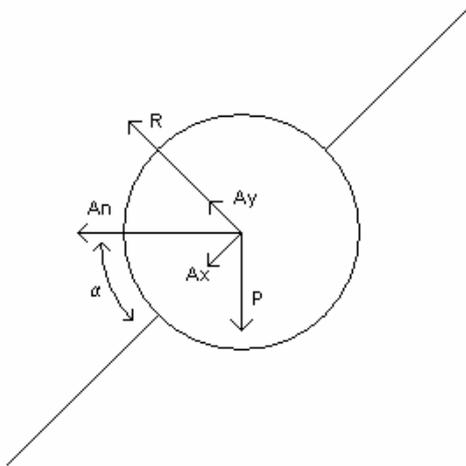




Timers

## Annexe 9

Légende :



R : Portance des ailes

P : Poids de la fusée

An : Accélération normale

Ax : mesure de l'accélération suivant l'axe Ox

Ay : mesure de l'accélération suivant l'axe Oy

$\alpha$  : Angle entre An et Ax

On fait le bilan des forces :

$$Ax = -g.\sin\alpha$$

$$Ay = -g.R.\cos\alpha/m$$

$$An = R.\sin\alpha/m$$

On veut An en fonction de Ax et Ay :

$$\sin\alpha = Ax/g$$

$$\alpha = \arcsin(Ax/g)$$

$$R/m = Ay + g.\cos\alpha$$

$$An = Ax/g.(Ay + g.\cos\alpha)$$

$$\cos\alpha = \cos(\arcsin(Ax/g))$$

$$= \sqrt{(g^2 - Ax^2)}/g$$

$$\text{Donc ce qui nous donne : } An = Ax/g(Ay + \sqrt{(g^2 - Ax^2)})$$

La tension de sortie pour chaque voie ira de 1.876V à 3.124V, cette tension sera directement numérisée par le Pic sur 10bit => 384 à 639. Ensuite il nous suffira de faire un « offset numérique » (enlevé 384 à cette valeur) et donc notre accélération sera stockée sur un seul octet (de 0 à 255 pour An de -2g à 2g).

## Annexe 10

On utilise l'équation qui nous donne la pression dynamique :

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2$$

Notre capteur à une plage de mesure de 10kPa, donc

$$V_{\max} = \sqrt{(2 \cdot 10^4) / \rho} = 125 \text{ m/s}$$

D'après Trajec, la vitesse maximum atteinte par le projet serait de 109m/s.

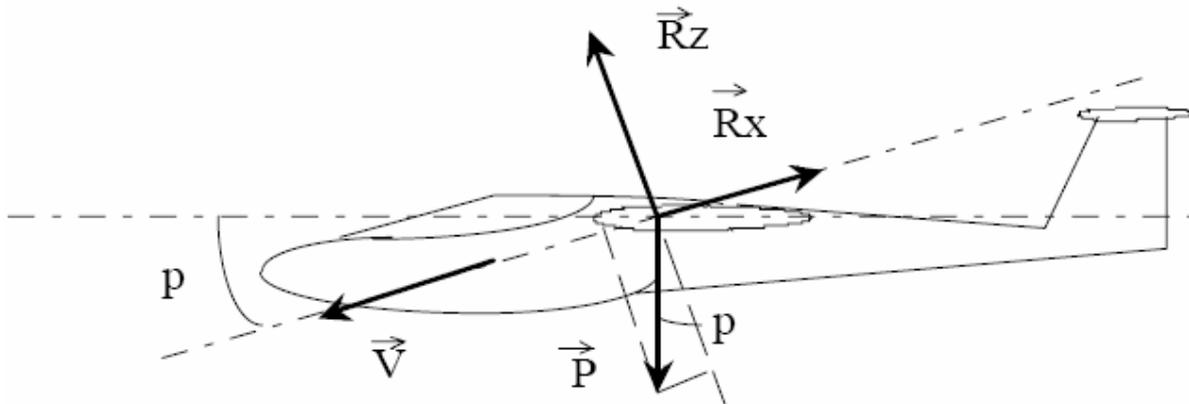
Donc notre capteur est adapté pour la mesure que l'on veut faire.

L'amplificateur est constitué d'un AD627, le gain est réglé par des résistances, on s'arrange pour avoir 5V → 125m/s, car trajec n'est pas précis à 100%.

Le 18F458 est constitué d'un CAN 10bit, ce qui fait 0.122m/s/Bits.

## Annexe 11

De par sa nature, notre projet se rapproche plus d'un planeur que d'un avion a aille delta (ex : Mirage 2000).



Bilan des forces :

$$R_z = m.g.\cos(p) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_z \cdot V^2$$

$$R_x = m.g.\sin(p) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^2$$

$$\tan(p) = R_x/R_z = C_x/C_z \Rightarrow C_z = C_x/\tan(p)$$

On connait  $C_x$ ,  $p$  (grâce aux nombreux démonstrateur lancé) donc on peut en déduire  $C_z$  puis  $V$  :  $C_x = 0.6$  et d'après les vols effectués  $p \sim 40^\circ \Rightarrow C_z \sim 0.7$

$$\Rightarrow V_l = \sqrt{(2 \cdot P \cdot \sin(p)) / (\rho \cdot S \cdot C_x)} = \sqrt{(2 \cdot P \cdot \cos(p)) / (\rho \cdot S \cdot C_z)} : \text{vitesse longitudinale}$$

$$\Rightarrow V_h = V_l \cdot \sin(p) : \text{vitesse horizontale}$$

$$\Rightarrow V_z = V_l \cdot \cos(p) : \text{vitesse vertical}$$

Application numérique :  $m = 14\text{Kg}$ ,  $S = 3.5\text{m}^2$ ,  $\rho = 1.225\text{Kg/m}^3$ ,  $g = 9.81\text{m/s}^2$

$$\Rightarrow V_l = 8.3 \text{ m/s} \quad \Rightarrow V_h = 6.3 \text{ m/s} \quad \Rightarrow V_z = 5.4 \text{ m/s}$$

Pour calculer le temps avant de sortir du gabarit, on prend la distance minimum entre le projet et le public (donc les rampes sont situés à 500m du public et à culmination le projet est à 285m de la rampe suivant l'axe  $Ox$ ) et on le divise par la vitesse de descente fois un coefficient de sécurité :

$$t = (500+285)/(1,5 \cdot 6.3) \sim 90\text{s}$$

Donc si au bout de 90s le GPS n'est pas acquis, il faudra ouvrir le parachute.

# Dossier de sécurité du projet xXx du Club Fire



Démonstrateur du projet xXx numéro 4.

# Sommaire

Sommaire	2
1) Présentation du projet	3
1-1) But de l'expérience	3
1-2) Moyens retenus	3
1-3) Explication détaillée	3
1-3-1) Description du vol nominal	3
1-3-2) Explication du vol	5
1-4) Description technique	5
2) Etude de sécurité	6
2-1) Introduction	6
2-2) Analyse par phase, cas de panne simple	6
2-3) Interprétation des systèmes de sécurité	6
2-3-1) Introduction	6
2-3-2) Descente trop rapide du projet	7
2-3-3) GPS non acquis	7
2-3-4) Sortie de gabarit	7
2-3-5) Altitude de redescente inférieure ou égale à 50m	8
2-3-6) Parachute	8
3) Description du projet final	8
3-1) Electronique	8
3-1-1) Systèmes de sécurité	8
3-1-2) Expériences	9
3-2) Mécanique	9
3-2-1) Structure	9
3-2-1-1) Introduction	9
3-2-1-2) Flèche	10
3-2-1-3) Fixation de l'aile	10
3-2-2) Système d'ouverture des ailes	10
3-2-3) Module	11
4) Conclusion	11

# **1) Présentation du projet**

## **1-1) But de l'expérience**

- Premièrement, réaliser un retour automatique au sol, c'est-à-dire que la phase sous ralentisseur est asservie par le projet et si possible de maîtriser son lieu d'atterrissage.
- Deuxièmement, visualiser la phase de retour automatique.

## **1-2) Moyens retenus**

- Pour contrôler la descente du projet nous utiliserons une aile delta qui s'ouvrira à culmination. Cette aile sera asservie en modifiant l'ouverture d'une demi aile. Pour que l'asservissement soit efficace nous utiliserons un GPS (pour connaître sa position), un capteur de pression (pour en déduire l'altitude et la vitesse de descente) et un accéléromètre (pour en déduire le rayon de sa trajectoire).
- Pour visualiser le projet, nous éjecterons un module vidéo qui filmera (stocké sur carte mémoire) la descente du projet, donc sa vitesse de descente sera inférieure à celle de la fusée. Pour ne pas perdre ces données le module sera relié au projet par un « fil d'Ariane » (bobine de 300m de fil de pêche) qui sera rembobiné par la fusée après que celle-ci se soit posée.

## **1-3) Explication détaillée**

### **1-3-1) Description du vol nominal**

T0 + 18s Culmination 750m  
ouverture de l'aile Delta

T0 + 14s Ejection  
du module Vidéo

T0 + 2,5s  
Fin de Propulsion.

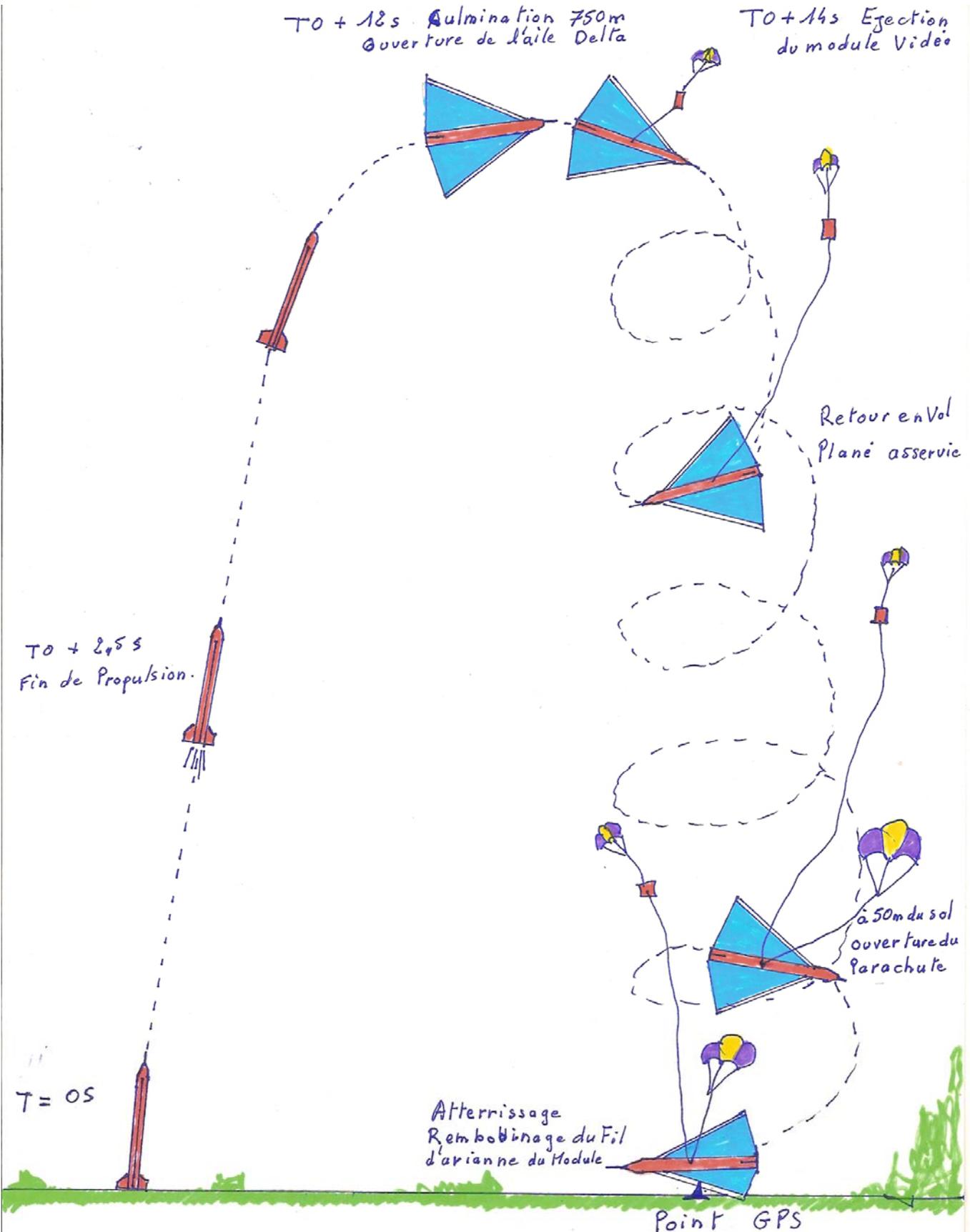
T = 0s

Retour en Vol  
Plané asservi

à 50m du sol  
ouverture du  
Parachute

Atterrissage  
Rembobinage du Fil  
d'arienne du Module

Point GPS



## 1-3-2) Explication du vol

T0 : décollage

T0+3.6s : fin de propulsion

T0+12.5s : culmination, ouverture ailes

T0+14.5s : ailes déployées, éjection du module

T0+~110s : ouverture parachute (altitude : 50m)

T0+~117s : atterrissage, rembobinage du module

A 80°, lors de la culmination le projet a parcouru 300m (400m à 75°), la séquence de mise en rotation s'effectuera comme suit :

- attendre un certain temps, pour être au milieu du gabarit.
- ensuite seulement on commence la rotation et l'asservissement.

## 1-4) Description technique

Une capture de trajectoire est disponible en annexe. Comme vous pouvez le constater nous sommes juste au niveau de la portance et nous avons une marge statique élevée, du fait que notre centre de gravité est imposé par l'aile. Le produit  $C_m = C_n \times MS$  reste inférieur à 100 mais cela n'empêche pas qu'il faudra des conditions de lancement particulières : pas de rafale de vent et vent constant faible (<5m/s).

Pour avoir une vitesse de descente relativement faible (<10m/s) nous avons dû utiliser une grande surface d'aile : 2m50 de haut et 2m80 de large. Elle est composée de deux épaisseurs de toile spi cousue entre elles en forme de quadrillage.

Hauteur : 2m80

Diamètre : 15cm

Poids : 14Kg

Vecteur : Pro54-5G

Peau : alu 75 dixième

Ogive : polyester 2mm

Ailerons : alu 2mm

Envergure ailerons max : <550mm

Surface des ailes : 3.5m<sup>2</sup>

Vitesse de redescence sous ailes : ~6m/s

Surface du parachute : 4m<sup>2</sup>

Vitesse de redescence sous parachute : ~7m/s

Vitesse de redescence module : ~5m/s

D'après trajec la vitesse en sortie de rampe avec une masse de 15Kg serait de 20m/s et avec une masse de 14Kg de 21m/s.

## **2) Etude de sécurité**

### **2-1) Introduction**

Notre projet respecte le cahier des charges fusée expérimentale mono étage, mais il présente un risque beaucoup plus élevé en cas de panne comparé à une « fusex » normale.

Du fait d'utiliser une aile et non un parachute, le projet revient sur terre en planant et donc il peut dévier de sa trajectoire initiale et sortir du gabarit ou pire se dirigé vers le public.

### **2-2) Analyse par phase, cas de panne simple**

Nous avons réaliser une analyse de sécurité (voire annexe 2), cela nous a permis d'adapter l'électronique et la mécanique suivant ces contraintes.

### **2-3) Interprétation des systèmes de sécurité**

#### **2-3-1) Introduction**

La sauvegarde du projet est assurée par son parachute, il s'ouvre dans quatre cas :

- Descente trop rapide du projet
  - Au moins une des ailes ne c'est pas ouverte
- GPS non acquis au bout d'un certain temps
- Sortie de gabarit
- Altitude de redescente inférieure ou égale à 50m (cas nominal)

Toutes les communications entre le système de sécurité et l'expérience sont assurées par des opto-coupleurs.

### **2-3-2) Descente trop rapide du projet**

Nous calculons la vitesse du projet suivant l'axe Oz en dérivant la mesure de l'altitude, puis nous la comparons à une valeur fixe enregistrée dans le microcontrôleur. Cette valeur sera de 20m/s car si le projet est pris dans une rafale de vent il va être déstabilisé et prendra de la vitesse, et le temps qu'il se stabilise sa vitesse peut être assez grande ; donc nous mettons une valeur importante pour éviter qu'il redevienne stable et que le parachute s'ouvre. Cette valeur peut être changé à tout moment par simple reprogrammation du Pic. La communication de cette information avec le système de sécurité se fait par opto-coupleur, dès que ce bit passe à 1 le parachute s'ouvre.

### **2-3-3) GPS non acquis**

Si le GPS n'est pas acquis au bout d'un certain temps, le système de sécurité ouvre le parachute. Typiquement le temps nécessaire au projet pour sortir du gabarit en planant vers l'extrémité la plus proche. Ce temps sera réglable par potentiomètre, c'est-à-dire que le jour du lancement, si il y a beaucoup de vent en altitude on pourra diminuer ce temps (en tente club) pour éviter de sortir du gabarit. L'expérience fait passer un bit à 1 pour dire au système de sécurité que le GPS est acquis, si ce bit reste à 0 le parachute s'ouvre.

### **2-3-4) Sortie de gabarit**

Une fois le GPS acquis ! Le PIC compare à chaque envoi de nouvelles données du GPS, les coordonnées reçues avec les coordonnées du gabarit stockées dans sa mémoire. Pour cela nous avons défini trois zones :

- Zone verte, zone à l'intérieur du gabarit où le projet peut voler librement.
- Zone orange, zone assez proche des limites du gabarit, le projet modifiera sa trajectoire (en agissant sur ses ailes) pour sortir de cette zone.
- Zone rouge, zone très proche des limites du gabarit, le parachute s'ouvre.

Uniquement le bit de zone rouge est envoyé au système de sécurité, dès que ce bit passe à 1 le parachute s'ouvre.

### **2-3-5) Altitude de redescende inférieure ou égale à 50m**

Cas nominal, l'aile a correctement joué son rôle, le GPS a été acquis et le projet est resté dans le gabarit. Nous ouvrons le parachute pour garantir l'intégrité physique du projet, ceci n'est pas une mesure de sécurité à proprement parler.

### **2-3-6) Parachute**

Dans le cas le plus dégradé nous ouvrons le parachute à une vitesse verticale d'environ 20m/s, la vitesse longitudinale du projet est supérieure : prenons le cas où le parachute s'ouvre quand la fusée fait un angle de 45° avec l'horizontale (angle où la vitesse est maximum pour une fusée). Sa vitesse réelle est donc de  $20/\cos(45^\circ)$  ce qui nous donne 28m/s qu'on arrondit à 30m/s. Le CDG Fusex (Règles REC13) nous dit que notre ralentisseur doit supporter une charge de  $\frac{1}{2} * 1.3 * S * V^2$  ; ce qui nous donne une valeur d'environ 250Kg. Le parachute est de type cruciforme avec 8 suspentes, chacune des suspentes utilisées résiste à 240Kg à la rupture et la sangle utilisée résiste à 500Kg.

La formule utilisée surestime les efforts à l'ouverture du parachute c'est pour cela que nous n'avons pas mis de coefficient de sécurité sur la vitesse.

## **3) Description du projet final**

### **3-1) Electronique**

#### **3-1-1) Systèmes de sécurité**

Le schéma bloc du système de sécurité se trouve en annexe 3. Il est composé de deux timers, un comptant jusqu'à 12s (temps de culmination), agissant sur l'alimentation des actionneurs de l'aile et du module via un opto-coupleur et l'autre agissant sur l'ouverture du parachute si le GPS n'a pas été acquis au bout d'un certain temps (voir sous paragraphe 2-3-2)). Ce système est sensé garantir le bon retour sur terre du projet ; donc nous allons le faire le plus simple possible pour éviter qu'il tombe « en panne ».

## 3-1-2) Expériences

Ce système regroupe tous les capteurs (GPS, altitude et accéléromètre) pour pouvoir guider la fusée quand elle planera.

- GPS : pour savoir où nous nous trouvons dans le gabarit du terrain.
- Altitude : pour en déduire la vitesse de descente du projet et aussi pour savoir quand ouvrir le parachute (en mode nominal).
- Accéléromètre : pour en déduire le rayon du cercle qu'elle décrit.

Les tensions des capteurs sont numérisées par un microcontrôleur (PIC18F458 cadencé à 40MHz pour calculer rapidement) puis traitées pour asservir l'aile de façon optimale : pour qu'elle tourne autour d'un axe virtuel.

Le microcontrôleur s'occupe aussi de générer les trames SNR pour la partie télémétrie, elle sera composée de la mesure de l'altitude, du calcul de la vitesse, des mesures des accéléromètres, du calcul du rayon, des trames du GPS traitées et des phases de vol.

Le débit utilisé sera de 4800 Bauds ce qui nous fera une quarantaine de trames par seconde.

## 3-2) Mécanique

### 3-2-1) Structure

#### 3-2-1-1) Introduction

Pour des raisons d'intégration de l'aile, nous avons choisi d'utiliser une structure à peau non porteuse. La fusée est composée de six bagues de séparation en aluminium (voir la structure détaillée en annexe 4), ces bagues sont reliées entre elles par six profilés aluminium de 2mm d'épaisseur : 1 carré de 25x25 (qui va de la bague de poussée à la bague ogive) + 1 T de 20x20 et 4 L 20x10 (qui vont de la bague ailerons à la bague ogive). Le bas de cette structure (vue longitudinale) est réservé à l'électronique, aux piles et aux moteurs qui commandent l'aile (voir sous paragraphe 3-2-2)). Au dessus se trouve la case parachute, le module et le récepteur GPS.

L'émetteur Kiwi Me est situé dans l'ogive et l'antenne sort de l'ogive.

### **3-2-1-2) Flèche**

Nous avons effectué quelques calculs de flèche sur cette structure, pour des raisons de temps nous avons considéré que les 6 profilés :

Flèche statique = 45mm

Flèche max autorisé par le CDG = 28mm

Flèche dynamique (MEC2 +800g) = +19mm

Flèche max autorisé par le CDG (MEC2 +800g) = +28mm

Nous voyons que la structure se comporte très bien au rajout de 800g, en revanche on dépasse en flèche statique de 60%, mais une fois la structure assemblée (bagues + profilés) nous serons bien en dessous des 28mm imposé par le cahier des charges.

### **3-2-1-3) Fixation de l'aile**

L'aile est d'une seule pièce et est fixée au dessus du carré alu, donc l'aile est 12mm au dessus du centre de la fusée. Au niveau du propulseur, elle est séparée et tenue de chaque côté par un profilé rond. Des découpes (renforcées par des doubles ourlets) sont prévues au milieu de l'aile pour faire passer les fils électriques du côté électronique au côté où se trouvent le parachute, le module ainsi que le récepteur GPS.

### **3-2-1-4) Fixation des ailerons**

Les ailerons sont en aluminium 2mm et seront fixés à la structure par deux cornières alu 20x20x2mm qui elle-même seront fixé sur la bague ailerons ainsi que sur la plaque de pousser.

### **3-2-2) Système d'ouverture des ailes**

L'aile est d'une seule pièce et est fixée au dessus du carré alu, donc l'aile est 12mm au dessus du centre de la fusée. Au niveau du propulseur, elle est séparé et tenu de chaque côté par un profilé rond. Des découpes (renforcé par des doubles ourlets) sont prévues au milieu de l'aile pour faire passer les fils électrique du coté électronique au coté ou se trouve le parachute, le module ainsi que le récepteur GPS

### **3-2-3) Module**

Le module est composé d'une caméra vidéo du commerce, d'une bobine de fil de pêche de 200ml (7Kg à la rupture) et d'un parachute qui lui donnera une vitesse de descente d'environ 5m/s. La bobine de fil est libre ce qui évite tout problème de blocage lors de l'éloignement du module de la fusée. L'ouverture du module est assurée par une ventouse électromagnétique (il faut envoyer du courant pour que le module s'éjecte) commandée par l'électronique de l'expérience.

## **4) Conclusion**

Cette première étude de sécurité, nous a permis de comprendre le risque lié à notre projet afin de pouvoir le minimiser, en concevant l'électronique et la mécanique une fois toutes les sécurités trouvées et applicables. Grâce à ce dossier nous pouvons lancer notre projet dans des conditions de sécurité optimum (tant en personne qu'en bien) lors de la campagne nationale de La Courtine 2007.

# Annexe 1

EX I:\TRAJEC - 2\Trajec25.exe
\_ □ X

---

F1 : Trajectoire
F2 : Stabilité
F3 : Fichiers
F4 : Moteurs
F5 : Vent

---

FUSEE: **xxx**

CLUB:

MOTEUR: PRO54-5G

PAS: 10 %

---

virole: NON    Xcg: 50  
masse: 1.0000

biétage : NON

↑ prop:2330    ↓ te=185  
← Xcg vide:1385 →    ← Xcg avec moteur et virole:1519 →  
150    ↓ L=2500    ↓ m=250    ↓ n=150  
masse:15.000 kg    p=50

---

coiffe:conique

sortir du programme

déplacements: **←↑→ valid.: RETURN variations: +-  
Produit Ms x Cn : vide= 83.0 plein= 75.3**

nom de la fusée

jupe/rétréint : NON    épaisseur ailerons : 2.0    nombre d'ailerons : 4

---

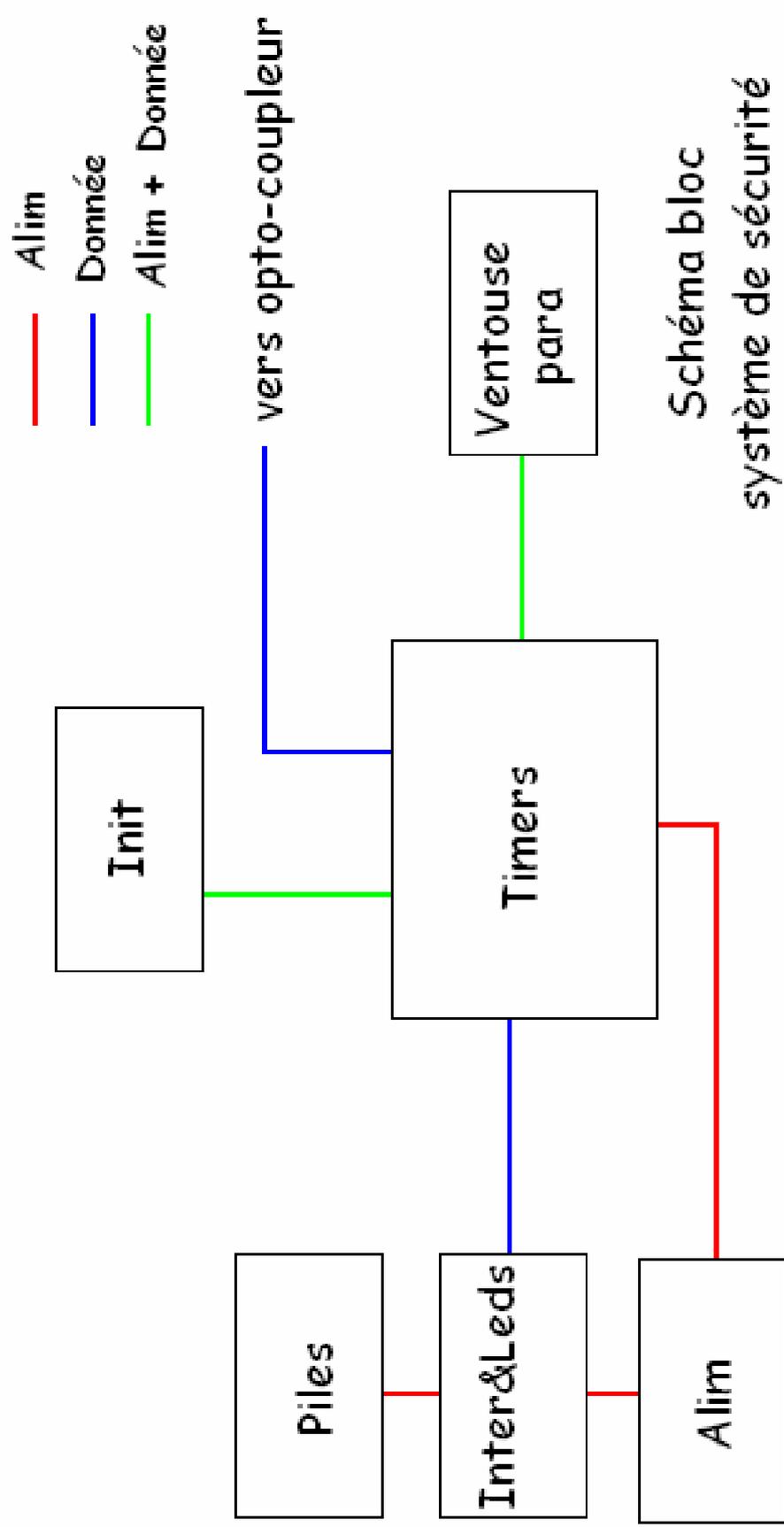
**Cn=15.3** || Xcp:2259 || marge statique:de 4.9 à 5.4 STABLE
cotes en mm

## Annexe 2

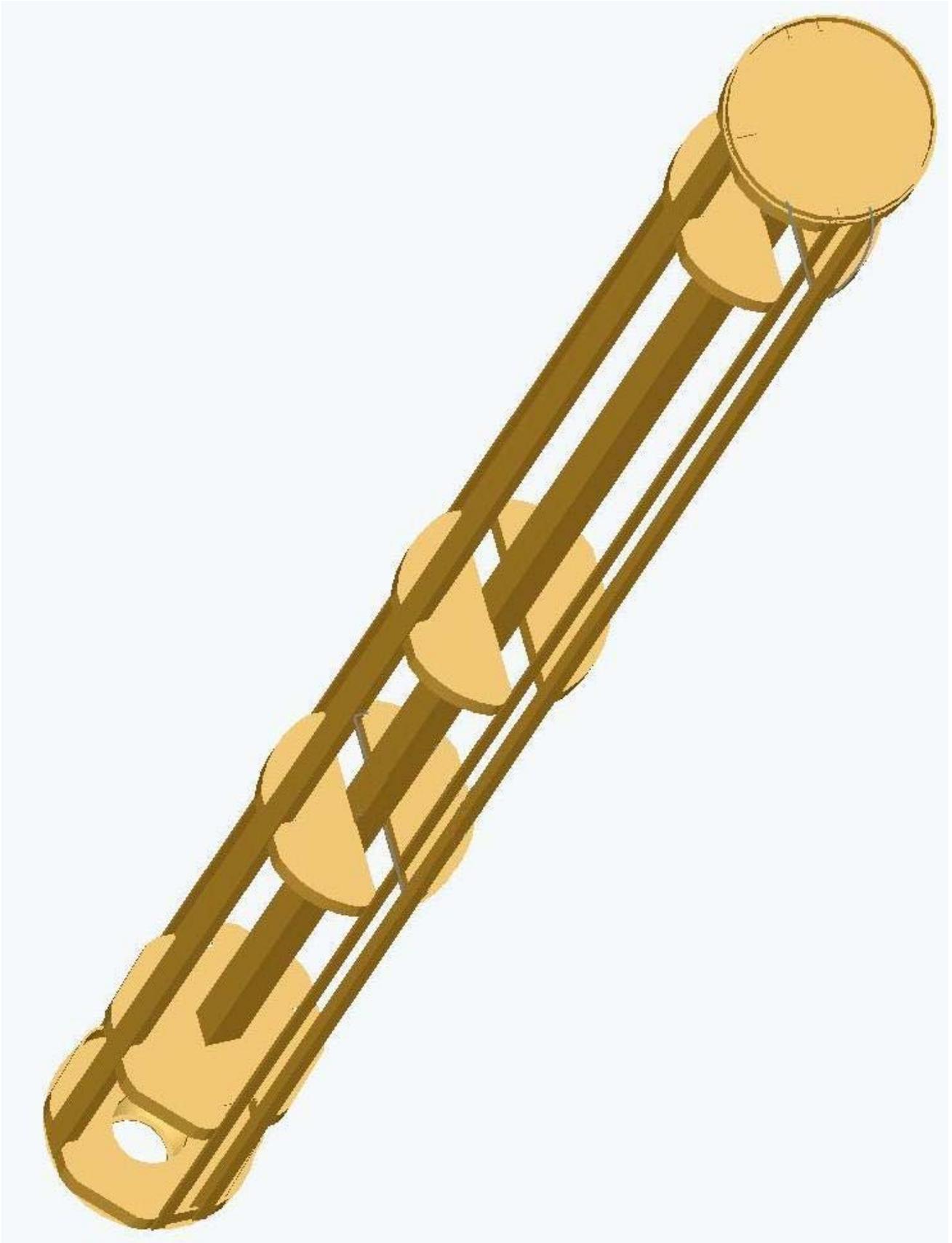
<b>Phase de vol nominal :</b>	<b>Panne possible :</b>	<b>Risque :</b>	<b>Parade :</b>
De la mise en œuvre jusqu'à culmination	Jack mal mis	Ouverture en rampe	Voyant indiquant l'état du projet
	Ouverture de l'aile	Changement de trajectoire	Le système de sécurité (par timer) agit sur l'alimentation des actionneurs au travers d'un relais, et le système méca vis sans fin assure le maintien
	Ejection du module	Changement de trajectoire	Même système que pour l'aile
Culmination	Module & aile ne s'ouvre pas	Balistique	Dès que la fusée atteint une certaine vitesse, le parachute s'ouvre
	Module ne s'éjecte pas	Centre de graviter non optimum	Module le plus près possible du CG, module léger et prise en compte dans le calcul du CG
	Aile ne s'ouvre pas	Balistique	Le parachute s'ouvre dès qu'une certaine vitesse de descente est atteinte
L'aile s'ouvre	Le module ne s'éjecte pas	Centre de graviter non optimum	Module le plus près possible du CG, module léger et prise en compte dans le calcul du CG
	Le module s'enroule autour de l'aile	L'aile ne peut pas s'ouvrir correctement	Le module s'ouvre une fois l'aile complètement déployer
	L'aile ne rempli pas sa tache	Trajectoire de retour hasardeuse, possibilité de retombé sur le public	Le parachute s'ouvre, dès que la vitesse de descente dépasse une certaine valeur et si on sort du gabarit

Ejection module	Dérouleur se coince	Perturbe la stabilité du projet	Dérouleur non freiner
	Ejection sous la fusée	Perturbe la stabilité du projet ou endommage l'aile	Le parachute s'ouvre, dès que la vitesse de descente dépasse une certaine valeur et si on sort du gabarit
	Le module s'enroule autour de la case parachute	Balistique en dehors du gabarit	Quand la fusée redescend la case parachute est devant le module
Vol plané	Pas de signal GPS	Aucune indication sur la position du projet dans le gabarit	Le parachute s'ouvre au bout d'un certain temps si le GPS n'est pas acquis
	Zone orange	Sorti de gabarie Retombé du projet sur le public	Le système de sécurité indique a l'expérience le changement de trajectoire a suivre:retour en zone verte
	Zone Rouge	Sorti de gabarie Retombé du projet sur le public	Ouverture du parachute et l'aile se replie
	Le parachute ne s'ouvre pas en phase atterrissage	Intégrité physique du projet non garantie	Aucune
Ouverture parachute à 50 m	Le parachute s'emmêle dans le fil d'Ariane	Torche	Aucune
	Le parachute se prend dans les ailerons	Torche	Aucune

### Annexe 3



## Annexe 4





# Compte rendu d'expérience du projet xXx du club FIRE



Test d'ouverture des ailes, la Courtine 2008.

Membres du projet : Romain et Jean-Jacques Boré

## Sommaire

Sommaire.....	2
Remerciements .....	2
1) Présentation du projet .....	3
1-1) Objectif du projet.....	3
1-1-1) But de l'expérience.....	3
1-1-2) Moyens retenus .....	3
1-2) Description du vol nominal :.....	4
1-3) Historique, V1.0, V1.1, 2.0.....	4
1-4) Rappel technique.....	5
1-5) Réalisation .....	5
1-5-1) Mécanique .....	5
1-5-2) Électronique.....	6
2) Contrôle et lancement.....	7
2-1) Contrôle.....	7
2-2) Lancement.....	7
3) Dépouillement télémesure.....	11
3-1) Introduction .....	11
3-2) Expériences.....	11
3-2-1) Altitude.....	11
3-2-2) Vitesse.....	13
3-2-3) Accélération.....	13
3-3) Voie numérique.....	14
3-4) Module vidéo .....	14
4) Conclusion.....	16
4-1) Expérience/vol .....	16
4-2) Équipe projet, déficit relevé.....	16
Annexe 1 : Capture Trajec .....	17
Annexe 2 : Données vol.....	18
Annexe 3 : Tube composite.....	19
Annexe 4 : Peigne de fils.....	20

## Remerciements

Nous voudrions tout d'abord remercier Planète Sciences et le CNES pour nous avoir permis de lancer notre projet. Nicolas Chaléroux, grâce à lui, la version 2.0 a vu le jour. Jérôme Hamm qui nous a beaucoup aidé sur toute la partie électronique depuis le début il y a trois ans. Ainsi que Thierry Stillace, qui nous a permis de résoudre certains problèmes lors de la campagne.

# 1) Présentation du projet

## 1-1) Objectif du projet

### 1-1-1) But de l'expérience

- Expérience principale, réaliser un retour automatique au sol, c'est-à-dire que la phase sous ralentisseur est asservie par le projet et si possible de maîtriser son lieu d'atterrissage.
- Expérience secondaire, visualiser la phase de retour automatique.

### 1-1-2) Moyens retenus

- Pour contrôler la descente du projet nous utiliserons une aile delta qui s'ouvrira à culmination. Cette aile sera asservie par servomoteur. Pour que l'asservissement soit efficace nous utiliserons un GPS (pour connaître sa position), un capteur de pression (pour en déduire l'altitude et la vitesse de descente) et un accéléromètre (pour en déduire le rayon de sa trajectoire).
- Pour visualiser le projet, nous éjecterons un module vidéo qui filmera (stocké sur carte mémoire) la descente du projet, donc sa vitesse de descente sera inférieure à celle de la fusée. Pour ne pas perdre ces données le module sera relié au projet par un « fil d'Ariane » (bobine de 300m de fil de pêche) qui sera rembobiné par la fusée après que celle-ci se soit posée.

## 1-2) Description du vol nominal :

T0 : décollage

T0+3.6s : fin de propulsion

T0+9s : éjection coque

T0+10s : culmination, coque éjectée, ouverture ailes

T0+15s : ailes déployées, séparation vecteur

T0+16s : vecteur séparé, éjection du module, début asservissement

T0+~100s : ouverture parachute (altitude : ~75m)

T0+~110s : atterrissage, rembobinage du module

Le vecteur est largué juste avant la culmination, là où la vitesse est la plus faible pour minimiser l'instabilité lors du largage. Ensuite, éjection de la coque, ouverture des ailes après vérification de l'éjection de celle-ci, puis libération du module et asservissement de l'aile.

## 1-3) Historique, V1.0, V1.1, 2.0

Ce projet a été démarré en août 2005 après avoir lancé la fusée Optima. Le premier jet a été pensé sur l'autoroute lors du retour de La Courtine. Ceci a donné la version 1.0 qui a été abandonnée lors de la revue de conception en Mars 2006, aucune fabrication n'avait été lancée, cette version était purement informatique. Après cette revue, on a conçu la version 1.1 (qui est en fait une évolution de la 1.0) qui elle devait être lancée à La Courtine 2007. Malheureusement, une conception mécanique et électronique à peine assez poussée, nous a empêché de lancer notre projet. Notamment nous avons rencontré des problèmes de centre de gravité de place pour loger les ailes, de dimensionnement du système d'ouverture des ailes, de la conception de la partie de puissance de l'électronique, du volume du parachute (suspente trop volumineuse) et surtout de surpoids.

Après cet échec, nous avons repensé le projet dans son ensemble tout en gardant les expériences et les moyens retenus. Cette nouvelle version est un grand pas en avant pour le club puisque le tube utilisé sur ce projet est en composite fibre de verre/époxy/nid d'abeille.

## 1-4) Rappel technique

Une capture de trajectoire est disponible en annexe 1 et les données relatives au vol sont données en annexe 2.

Hauteur : 3200mm	Diamètre : 154mm
Poids : 14,2Kg	Vecteur : Pro54-5G
Ogive : polyester 2mm	Ailerons : composite 4mm
Surface des ailes : 3,75m <sup>2</sup>	Vitesse sous ailes : ~6m/s
Surface du parachute : 4m <sup>2</sup>	Vitesse sous parachute : ~5m/s
Vitesse module : ~5m/s	Envergure ailerons max : <550mm

## 1-5) Réalisation

### 1-5-1) Mécanique

La structure du projet étant à tube porteur, la réalisation a vraiment démarré avec la fabrication du tube. Après plusieurs visites chez Polyplan Composite (entreprise de modélisme et de re-vente de résine et fibre en tout genre basé à Corbeil-Essonnes), pour, ainsi comprendre et réaliser le tube. En effet, c'était la première fois pour le club utilisait de la résine époxy et du nid d'abeille.

**Le tube** a été réalisé en une seule fois au milieu du mois d'avril, nous avons utilisé un moule en polystyrène découpé au fil chaud, une plaque ogive et une plaque assemblage vecteur ont été fixées aux extrémités du tube avec un T en alu de renfort, des photos relatives au tube sont disponibles en Annexe 3.

**La coque** des ailes de la grandeur de la fusée a été réalisée comme le tube en sandwich nid d'abeille et fibre de verre polyester, pour la maintenir fermée un servomoteur au milieu de la coque actionnait 2 tiges fixés à chaque extrémité, une banderole collée a servi de ralentisseur.

**Les ailes** ont été réalisées en toile spi avec deux joncs carbone de 12 mm de diamètre, un seul moteur actionnait les deux ailes en même temps par une tige filetée de 10 mm de diamètre reliée à une bielle pour chaque bord d'attaque.

**Le vecteur** a été réalisé par deux bagues en alu tournées et assemblées par 8 équerres de 20 mm X 20 mm fixant les 4 ailerons en fibre de verre époxy et nid d'abeille. Un servomoteur avec trois tiges rentrantes permettait de désassembler les deux parties puis deux ressorts servaient à éjecter le vecteur.

## 1-5-2) Électronique

Nous sommes partis sur la base de la version 1.1, en améliorant les points difficiles que l'on avait relevés lors de la campagne de 2007. Le système de sécurité a été légèrement repensé pour accueillir un système hardware de réglage des plages de temps, ainsi que la gestion de l'actionneur, puisqu'on est passé d'une ventouse à un servomoteur. La partie expérience a été aussi légèrement modifiée, du fait d'apparition de nouvelle commande : séparation coque, éjection vecteur. La grande différence vient de l'agencement des cartes dans le tube. Pour simplifier le câblage et le débogage des cartes, nous avons réalisé un rack pour y fixer toutes les cartes. Ce rack est relié au projet par un connecteur 60 broches, ce qui permet d'avoir une seule liaison. Les Leds et interrupteurs ont été déportés et fixés directement au tube et non plus sur les cartes comme sur l'ancienne version. Lors de la mise en œuvre en rampe, l'accès aux commandes étaient grandement facilité.

Tout ceci n'a pas empêché d'avoir un paquet de spaghettis au niveau du connecteur et de poser quelques problèmes à chaque fois que nous voulions intervenir sur les cartes (voir Annexe 4).

La partie commande de puissance a été totalement repensée, puisque sur l'ancienne version, c'était une des raisons de l'échec du projet. Nous avons utilisé des relais de puissance pour commander l'ouverture de l'aile. Cette carte se trouvait au niveau du moteur et de l'accu pour avoir les fils les plus court possible et ainsi diminuer les pertes par effet joule.

Les cartes ont été conçues sous CAO et ont été gravées par une entreprise spécialisée. Nous avons commencé à les souder fin mai, et à les tester début juin. La sous-traitance des pièces nous a permis de gagner du temps et de pouvoir utiliser des cartes doubles faces. Ceci nous a permis de limiter le nombre de strap sur les cartes et ainsi d'augmenter leur fiabilité.

## **2) Contrôle et lancement**

### **2-1) Contrôle**

Les contrôles se sont bien déroulés en début de semaine, avec juste quelques problèmes de faux contact sur l'initialisateur et quelques réglages aux niveaux de la télémesure. Le « premier » vol simulé a eu lieu mardi soir, ce qui était assez encourageant car les lancements commençaient le lendemain et, par rapport à l'année dernière, nous avons trois jours d'avance. Ce vol simulé s'est conclu par un échec de l'expérience mais un succès du système de sécurité, puisque l'aile ne s'est pas déployée mais le parachute s'est ouvert en mode sécurité : aile non déployée au bout de 18s. Ce test a permis au responsable des contrôles de prendre conscience (d'un point de vue sécurité) dans le projet puisque deux autres vols simulés se sont soldés par le même résultat. Le problème venait de la carte expérience et de la puissance nécessaire à activer le relais de sécurité. En début de semaine tout fonctionnait correctement et ensuite, en actionnant le relais une chute de tension se produisait sur le PIC ce qui le faisait redémarrer. Une solution a été trouvée en découplant l'alimentation des actionneurs de la commande. Ceci est une règle dans la conception de ce type de système mais étant donné le poids du projet il a été décidé de mettre qu'un pack de piles et de mettre plusieurs capacités pour bien filtrer/lisser la tension au borne du PIC. Mais cette solution n'a marché qu'un certain temps. Le quatrième et dernier vol simulé s'est déroulé le vendredi soir. Tout s'est passé comme prévu, pour le plus grand bonheur de tout le monde et surtout pour nous, membres du projet.

### **2-2) Lancement**

Le lancement a eu lieu le samedi 3 août 2008 à 14h15. La mise en oeuvre du projet s'est déroulé comme prévu, aucun retard n'est venu perturber le lancement. Le vent était assez fort ce qui a contraint l'équipe opérationnelle à donné un angle de lancement de 75° au lieu de 80° comme prévu. Le décollage s'est parfaitement bien déroulé, malgré des rafales de vent, la sortie de rampe s'est fait sans changement de trajectoire.



La coque devait s'éjecter juste avant la culmination, mais celle-ci s'est déclenchée après, quand la fusée était presque tête en bas. Ensuite les ailes ont commencé à s'ouvrir mais à cette vitesse la force exercée sur les ailes a fait pivoter le système d'ouverture qui est venu s'encastrer dans un écrou qui tenait le servomoteur pour l'ouverture du parachute situé de l'autre côté du tube (voire cercle rouge ci après).



En conséquence, les ailes ne se sont ouvertes qu'à 25%, de toute manière le projet était tête en bas, même avec les ailes déployées correctement, le projet ne se serait sûrement pas redresser et planer.

Puis le projet à continuer à tomber, sa vitesse allant en augmentant, le système de sécurité devait ouvrir le parachute si l'aile ne s'était pas ouverte au bout de 18s, la question que l'on se posait à ce moment là était : « est-ce que le parachute va avoir le temps de s'ouvrir avant quelle s'écrase? ». Le parachute s'est finalement ouvert à 20m au dessus du sol et nous a permis de récupérer le projet en un seul morceau. Malgré la vitesse lors de l'ouverture, toute la chaîne de récupération a tenu, le projet s'est « banané » mais cette contrainte est restée dans le domaine élastique du tube composite (voir photo suivante).



La partie propulseur + ailerons (appeler vecteur) devait s'éjecter à 16s, mais le système de séparation était dimensionnée pour éjectée cette partie fusée horizontale. Quand l'ordre de séparation a été donné la fusée était tête en bas et les ressorts n'ont pas pu éjecter le vecteur. Celui-ci s'est finalement séparé juste après l'ouverture du parachute, en effet, après l'ouverture du parachute le projet a basculé, ce qui a permis au vecteur de s'éjecter. On peut voir sur les photos prises lors de la récup' que le vecteur se trouve éloigné du projet et qu'il est assez endommagé du à la chute, son parachute n'ayant pas eu le temps de se déployer.



### **3) Dépouillement télémessure**

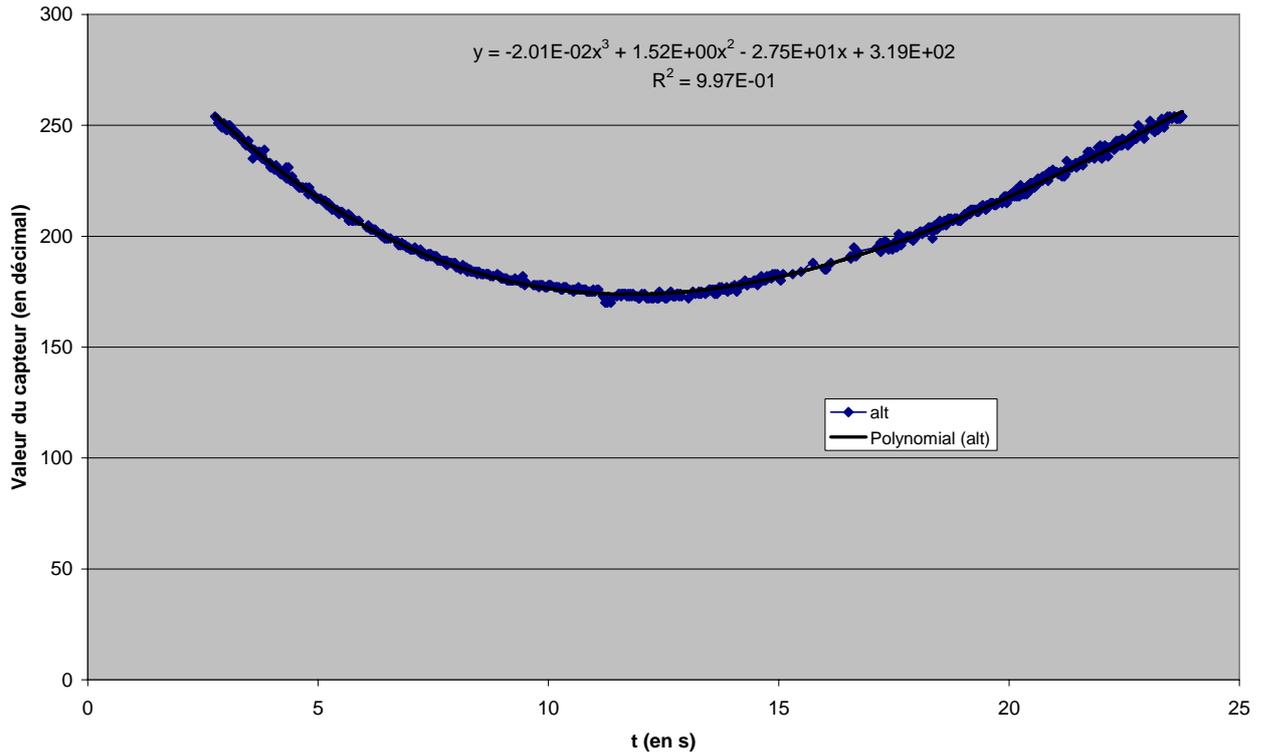
#### **3-1) Introduction**

La télémessure était de type numérique, standard SNR, modulation FSK. Le débit était de 4800Baud, la trame comportait 13 octets soit un débit de 37octet/s. Cette trame était composée de 10 voies analogiques et de 2 voies numériques pour les phases de vol. Malheureusement, les phases de vol relatives à l'expérience n'ont pas fonctionné alors que celles du système de sécurité ont été correctement reçues. Parmi les 10 voies analogiques, se trouvaient les 4 voies des capteurs embarqués à bord : Altitude, Vitesse, Accélération X, Accélération Y ; le reste des voies étant des calculs faits en interne du PIC.

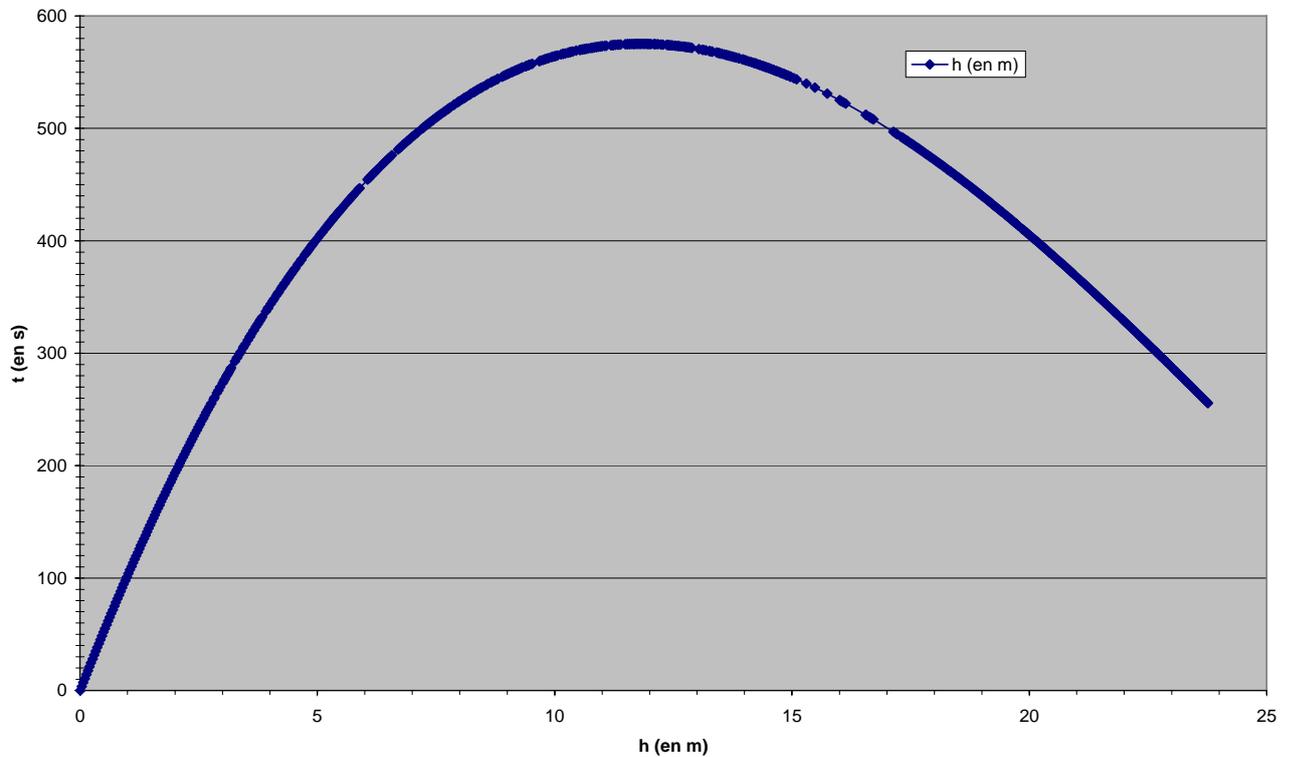
#### **3-2) Expériences**

##### **3-2-1) Altitude**

La mesure de l'altitude se faisait à l'aide d'un capteur de pression absolue, voici les données reçues par la télémessure :



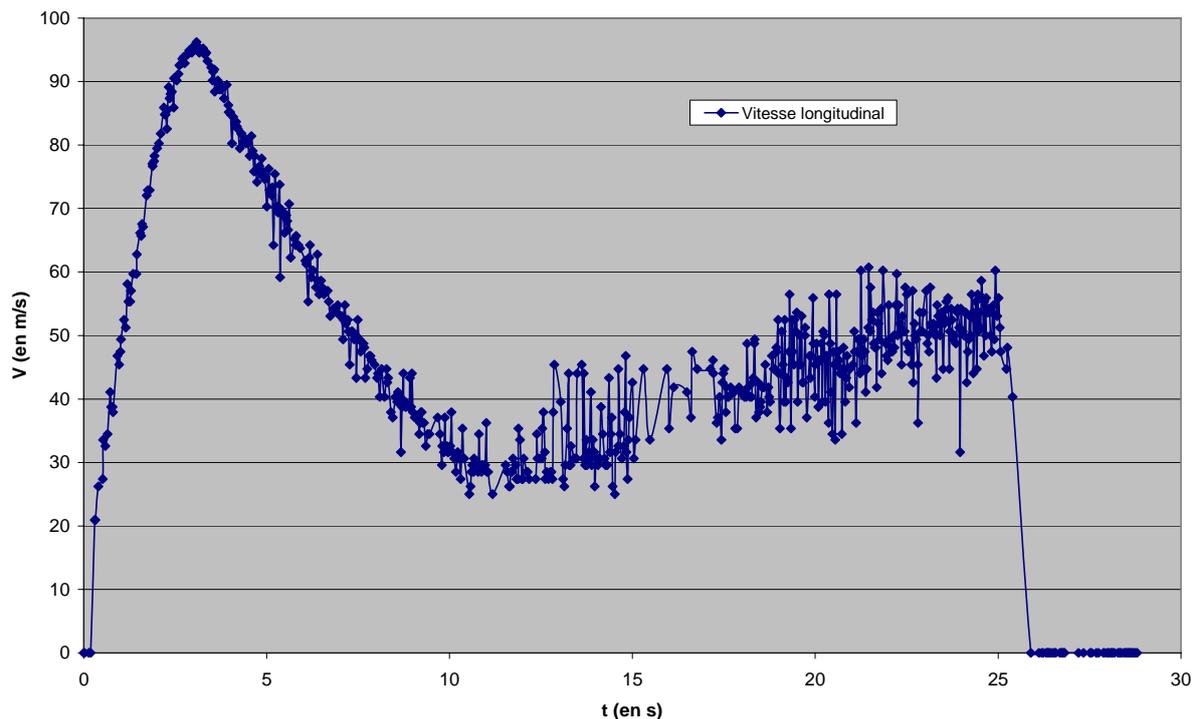
Une mauvaise modélisation de la pression ambiante sur le camp et le manque de mesure de pression atmosphérique fiable, on rendu l'étalonnage faux, et donc nous avons mesuré qu'une partie de la variation de pression. Nous avons extrapolé cette courbe à partir d'un polynôme et en plaçant la courbe à 0m à 0s. Voici le nouveaux graph avec les valeurs en mètre :



Le projet a atteint une altitude maximum de 575m, Trajec prévoyait 562m ce qui fait une erreur de 2,3%. Un temps de culmination de 11,8s et 11,55s pour Trajec, soit une erreur de 2,1%.

### 3-2-2) Vitesse

La mesure de vitesse était effectuée par un capteur de pression différentiel relié à un tube de pitot. Voici les données traitées du capteur :



Le projet a atteint une vitesse maximale de 96m/s (prévoiais 104, soit 8,3% d'erreur) au bout de 3,1s de vol, 3,24 pour Trajec, 4,5% d'erreur. Après la culmination, les ailes se sont partiellement déployées mais suffisamment pour freiner le projet. On peut voir que le parachute s'est ouvert à une vitesse de 50m/s, on peut voir sur les photos du vol, les efforts lors de cette ouverture. La fusée est toute bananée, mais est restée dans son domaine élastique (merci au composite fibre de verre qui a une limite élastique très haute).

### 3-2-3) Accélération

Le capteur d'accélération deux axes ont été choisis pour la partie sous aile du vol. Etant donné que les ailes se sont ouvertes trop tard, les données enregistrées ne représentent rien d'exploitable.

### **3-3) Voie numérique**

Aucune voie numérique n'a sorti de résultats concordants, une des voies s'est apparemment superposée avec une voie d'un des capteurs tandis que les autres sont totalement aberrantes. Ceci est d'autant plus dommage que les calculs ont été vérifiés au sol et que lors des tests de télémétrie, les octets reçus étaient corrects. De plus les valeurs reçues pour les capteurs analogiques sont bonnes ce qui laisse un peu perplexe.

Enfin les phases de vol du système de sécurité ont bien été envoyées, alors que celles de l'expérience (éjection coque demandée, coque éjectée, ouverture aile, séparation module etc...) étaient beaucoup plus intéressantes.

L'ordre sécurité (qui permet d'alimenter les actionneurs) était codé à 8s, mais s'est déclenché à 11,1s, soit 7 dixième avant la culmination. Dans le vol nominal, les ailes devaient commencer à s'ouvrir à 10s. Ce qui fait qu'il était trop tard, puisqu'au mieux les ailes se seraient ouvertes pendant le basculement du projet.

Grâce aux photos du vol, nous avons déduit l'éjection de la coque à 12,6s, soit 3.6s de retard par rapport au timing prévu. Une fois la coque éjectée les ailes commençaient à se déplier jusqu'à ce que le système se bloque. Puis le parachute s'est ouvert 24,575s après le vol et a permis de récupérer le projet en un seul morceau. La valeur codée dans le système de sécurité était de 18s. Nous remarquons que tout les tempos ont divergé d'environ 40%, ceci est peut être dû à l'accélération ???

### **3-4) Module vidéo**

Le module devait s'éjecter 16s après le lancement, grâce aux photos, nous voyons qu'il s'éjecte après la sortie du parachute. Est-ce que l'ordre a été donné avant, mais il est resté bloqué ? Est-ce que l'ordre n'a jamais été donné et le choc de l'ouverture l'a fait s'ouvrir ? Autant de questions sans réponse, les seules choses que l'on peut affirmer, c'est qu'à l'éjection de celui-ci, le choc a arraché la caméra de son support et l'a fait tomber juste à coté du projet :



La vidéo commence à la mise en rampe du projet, on y voit la mise en site de la rampe, l'installation du propulseur, la mise en place de la canne, l'allumage du projet (avec le chant des servomoteurs) et le raccordement de la ligne de mise à feu. La vidéo s'arrête quand le module s'éjecte. La caméra n'ayant pas pu finir d'enregistrer correctement le fichier vidéo, un logiciel spécial a dû être utilisé pour la récupérer.

## **4) Conclusion**

### **4-1) Expérience/vol**

-A cause des divergences des tempos, l'expérience n'a malheureusement pu être validée. Si aucune base de temps n'avait bougé, nous ne sommes pas sûrs que le système d'ouverture des ailes ne se serait pas bloqué. Dans tout les cas le système de sécurité a parfaitement rempli son rôle puisqu'il a « sauver » le projet d'une destruction certaine. La chaîne de récupération n'a pas été dimensionnée pour s'ouvrir à 50m/s, mais elle a quand même parfaitement résisté au choc. Nous remercions le projet PERSEUS et plus particulièrement Badr et Julien, pour nous avoir donné gracieusement ce parachute. Car le parachute fait maison, qui devait initialement volé, n'aurait peut être pas résister au choc.

- Pour finir, Trajec sous estime légèrement les valeurs de culmination d'environ 2% pour des fusées de grandes tailles. Ceci est une très bonne information pour nos futurs projets et pour tous les autres clubs fusex.

### **4-2) Équipe projet, déficit relevé**

Sur ce projet, le club a relevé pas mal de défi :

- Refaire une passe de conception et la réalisation en moins d'un an
- Tube porteur en composite, réalisé sous vide et semi étuvé
- Utilisation de carte électronique double face
- Séparation du moteur sans engendrer une flèche prohibitive

La réalisation a commencé très tard, on peut dire que tout est parti vers mi avril, avec la réalisation du tube. Puis tout s'est enchaîné, avec quasiment pas de retard. Sauf pour l'électronique (comme d'habitude...) ou nous avons dû nous rabattre sur le microcontrôleur de l'an dernier. Pour finir, nous pouvons dire que le club comprend une partie des problématiques de la sécurité, puisque avec ce vol, nous avons démontré que notre projet était tolérant à la simple panne (Fail Safe, pour les puristes !).

# Annexe 1 : Capture Trajec

**ca I:\TRAJEC-1\TRAJEC26.EXE**

**F1 : Trajectoire F2 : Stabilité F3 : Fichiers F4 : Moteurs F5 : Vent**

FUSEE: xxx	CLUB:	MOTEUR: PRO54-5G	PAS: 10 %
------------	-------	------------------	-----------

biétagé : NON

↑ prop: 2600  
 <←250 → D — Xcg vide: 1800 → — Xcg: 1936 →  
 154 avec moteur  
 — L=2850 —  
 ←m=250 →  
 p=75 → → n=100 →  
 fe=210

masse: 13.000 kg

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

sortir du programme déplacements: ←↑→ valid.: RETURN variations: +- nombre d'ailerons : 4  
 Produit Ms x Cn : vide= 80.2 plein= 71.9

abaisse du centre de gravité sans moteur en millimètres

**Cna=16.7 || Xcp=2598 || marge statique=de 4.3 à 4.8 STABLE** cotes en mm

## Annexe 2 : Données vol

I:\TRAJEC-1\TRAJEC26.EXE
- [ ] X

F1 : Trajectoire
F2 : Stabilité
F3 : Fichiers
F4 : Moteurs
F5 : Vent

calcul de trajectoire en cours

t=0.000s	z-z0= 0m	v= 0m/s	x= 0m	y= 0m	g= 0m/s <sup>2</sup>	A= 80°
sortie de rampe						
t=0.360s	z-z0= 4m	v= 22m/s	x= 1m	y= 0m	g= 54m/s <sup>2</sup>	A= 80°
fin de propulsion						
t=3.600s	z-z0= 265m	v= 114m/s	x= 66m	y= 0m	g= 17m/s <sup>2</sup>	A= 74°
culmination						
t=12.76s	z-z0= 720m	v= 23m/s	x= 299m	y= 0m	g= 10m/s <sup>2</sup>	A= 0°
impact						
t=25.80s	z-z0= 0m	v= 98m/s	x= 549m	y= 0m	g= 4m/s <sup>2</sup>	A=-82°

appuyez sur une touche pour retourner au menu

## Annexe 3 : Tube composite



## Annexe 4 : Peigne de fils

