

ANAÏS

(Prix du CNES pour la meilleure innovation et réalisation technique)

Dossier de clôture

CLES FACIL - INSA de Lyon



L'équipe du CLES FACIL pendant l'année scolaire 2005/2006

Ignazi Pascual Fernandez (*Catalugne*)

Rafik Mezziani (*France & Kabilie*)

Paul Acquatella (*Vénézuella*)

Firmin Nkengue Kana (*Cameroun*)

Tien-Duc Nguyen (*Vietnam*)

Morgane Chevalier (*France*)

Sylvain Rouard (*France*)

Stanislaw Ostoja-Starjewski (*Pologne*)

Nicolas Perier (*France*)

Jérôme Sebbag (*France & Israël*)

Raphaël Antoine (*France*)

Volker Eiselein (*Allemagne*)

Marc Dal-Molin (*France & Italie*)

Charles Doucet (*France*)

Mohamed Serraye (*France & Algérie*)

Spas Balinov (*Bulgarie*)

Le bureau :

Spas BALINOV – président

Firmin NKENGUE KANA – secrétaire

Morgane CHEVALIER - trésorière

N.B. Pendant cette année nous avons décidé d'installer une nouvelle méthode de travail au sein de l'équipe. Cette méthode inspirée par l'organisation du travail dans le monde socialiste consiste en la suppression des postes du chef d'équipe et chef du projet.

SOMMAIRE

I - Les objectifs du projet	Page 5
I.1. l'objectif principal	Page 5
I.2. les objectifs secondaires	Page 6
I.2.1. La balise	Page 6
I.2.2. La vidéo	Page 6
II - Partie électronique	Page 6
II.1. La carte interface gyromètre	Page 6
II.1.1. Principe de l'acquisition de la mesure	Page 6
II.1.2. Fonctionnement de la carte	Page 6
II.1.3. Schéma électronique	Page 7
II.1.4. Test & étalonnage	Page 8
II.2. La carte microcontrôleur « asservissement »	Page 8
II.2.1.Principe de fonctionnement	Page 8
II.2.2. Fonctionnement de la carte	Page 8
II.2.3. Schéma électronique	Page 9
II.2.4. Test & étalonnage	Page 9
II.3. La carte microcontrôleur « Tempos »	Page 9
II.3.1.Principe de fonctionnement	Page 9
II.3.2. Fonctionnement de la carte	Page 10
II.3.3. Schéma électronique	Page 11
II.3.4. Test & étalonnage	Page 11
II.4. La carte interface électrovannes	Page 11
II.4.1.Principe de fonctionnement	Page 11
II.4.2. Fonctionnement de la carte	Page 11
II.4.3. Schéma électronique	Page 12
II.4.4. Test & étalonnage	Page 12
II.5. La carte balise	Page 12
II.5.1.Principe de fonctionnement	Page 12
II.5.2. Fonctionnement de la carte.....	Page 13
II.5.3. Schéma électronique	Page 13
II.5.4. Test & étalonnage	Page 13
II.6. Le séquenceur (la minuterie)	Page 14
II.6.1.Principe de fonctionnement	Page 14
II.6.2. Fonctionnement de la carte	Page 14
II.6.3. Schéma électronique	Page 14
II.6.4. Test & étalonnage	Page 15
II.7. Interconnexion des cartes	Page 15
II.7.1.Principe	Page 15
II.7.2. Fonctionnement de la carte	Page 15
II.7.3. Synoptique interfaçage des cartes	Page 15
II.7.4. Test	Page 16
II.8. Pupitre visualisation	Page 16
II.8.1.Principe	Page 16
II.8.2. Fonctionnement de la carte	Page 16
II.8.3. Schémas électroniques	Page 17
II.8.4. Test	Page 18

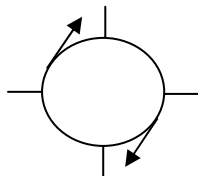
III - Les alimentations	Page 18
III.1. Principe de fonctionnement	Page 18
III.2. Fonctionnement des alimentations	Page 18
III.3. Schéma électronique	Page 19
III.4. Test & étalonnage	Page 19
IV - Les programmes	Page 19
IV.1. Microcontrôleur « Asservissement »	Page 19
V - Partie mécanique	Page 20
V.1. Le pneumatique	Page 20
V1.1. Principe général.....	Page 20
V1.2. Haute pression (PHP).....	Page 21
V1.2.1. Description de la PHP	Page 21
V1.2.2. Montage	Page 21
V1.3. Basse pression	Page 22
V1.3.1 Types de raccords utilisés.....	Page 22
V1.3.2 Type tuyau utilisé	Page 22
V1.3.3 Type électrovannes utilisées.....	Page 22
VI - Structure mécanique	Page 23
VI.1. Description.....	Page 24
VII.1. Conception.....	Page 24
VII.1.1. Premier étage. L'ogive	Page 25
VII.1.2. Deuxième étage. Le « Payload »	Page 26
VII.1.3. Troisième étage. La case parachute	Page 26
VII.1.4. Quatrième étage. La propulsion et les ailerons.....	Page 27
VII.2. Intégration des étages.....	Page 28
VII.3. Système d'éjection du parachute.....	Page 29
VII - Asservissement	Page 31
VII.1. Conception.....	Page 31
VII.2. Sous modèles.....	Page 32
VIII - La vidéo	Page 34
VIII.1. Principe de fonctionnement	Page 34
VIII.2. Le film	Page 34
IX - Procédures de sécurité	Page 34
IX.1. Les Phases	Page 34
IX.2. Montage du système dans la fusée	Page 35
IX.3. Remplissage du réservoir HP	Page 35
X - Analyse fin projet	Page 36
XI - Conclusion	Page 36
XII - Le club	Page 37
XII.1. Photo de l'équipe	Page 37
XII.2. Coordonnées du CLES FACIL	Page 37
XII.3. Horaires de permanence	Page 38
XIII - Remerciements	Page 39

I - Les objectifs du projet :

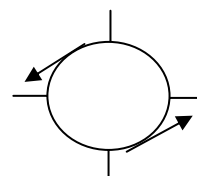
I.1. l'objectif principal :

L'expérience a pour but la réalisation d'un asservissement en rotation de la fusée. Effectivement lors de son ascension la fusée se met à tourner sur son axe vertical. Le système d'asservissement a donc pour but d'empêcher cette rotation.

D'un point de vu électronique l'asservissement sera gérer par un microcontrôleur. Sa tâche principale sera de relever les valeurs provenant du gyromètre de les traiter afin de piloter les électrovannes de manière adéquate. Nous avons choisi d'intégrer deux électrovannes (EV) qui commandent un flux d'air venant d'un réservoir d'air comprimé. Pour contrôler le sens de rotation de la fusée on agira dans un sens ou dans un autre. On intégrera l'algorithme d'asservissement dans le microcontrôleur [μC] principal qui en fonction du comportement de la fusée enverra les ordres adéquats sur les EV.

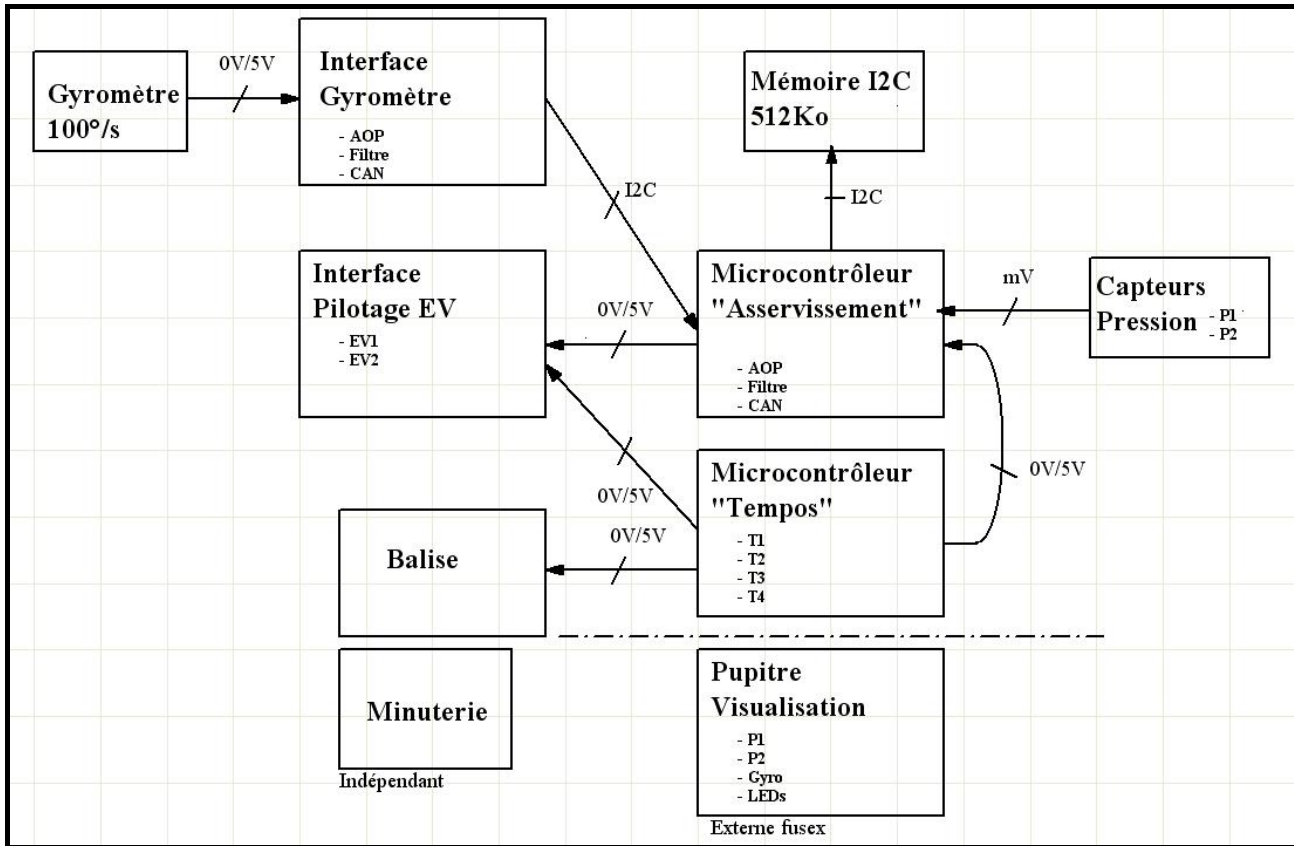


Commande d'air pour rotation antihoraire



Commande d'air pour rotation en sens horaire

Schéma du principe :

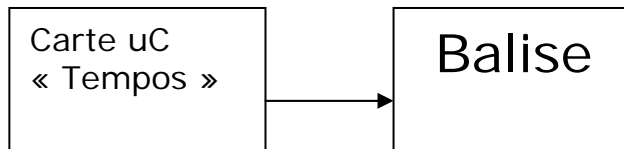


I.2. les objectifs secondaires :

I.2.1. La balise :

Pour faciliter la récupération de la fusée après son vol, nous avons prévu une balise qui émettra des signaux sonores. Celle-ci sera déclenchée par le microcontrôleur dit « Tempos » en phase finale. C'est-à-dire après le vol et après décharge complète de la bouteille d'air comprimée.

Principe :



I.2.2. La vidéo :

Un appareil photo numérique sera chargé de filmer la mise en rampe ainsi que le vol de la fusée. Ce film permettra de valider toutes les expériences.

II - Partie électronique :

II.1. La carte interface gyromètre :

II.1.1.Principe de l'acquisition de la mesure :

La valeur qui nous intéresse est la vitesse angulaire de la fusée pour la mesurer nous utiliseront donc un gyromètre. Celui-ci nous renvoie une valeur analogique qui sera transmise au microcontrôleur par l'intermédiaire d'un bus I2C. Un interrupteur à masselotte déclenchera La prise en compte de ces informations.

- **Le gyromètre** : Le gyromètre qui a été utilisé est un capteur Sensorex

Les caractéristiques sont :

- ✓ Alimentation : 10V
- ✓ Signal : 0-5V
- ✓ Mesure : 100°/s
- ✓ Précision :

II.1.2. Fonctionnement de la carte :

- Le gyromètre, à l'état stable, fournit une tension de 0V. Lorsque celui-ci est en phase de rotation sur son axe horizontal, il fournit une tension analogique pouvant aller jusqu'à 5V. Cela dans les deux sens.
- Ce signal passe par un amplificateur opérationnel (AOP) monté en pont diviseur pour être ensuite amplifié.

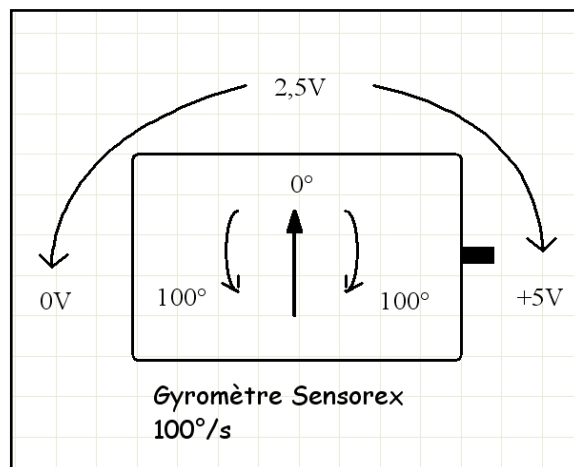
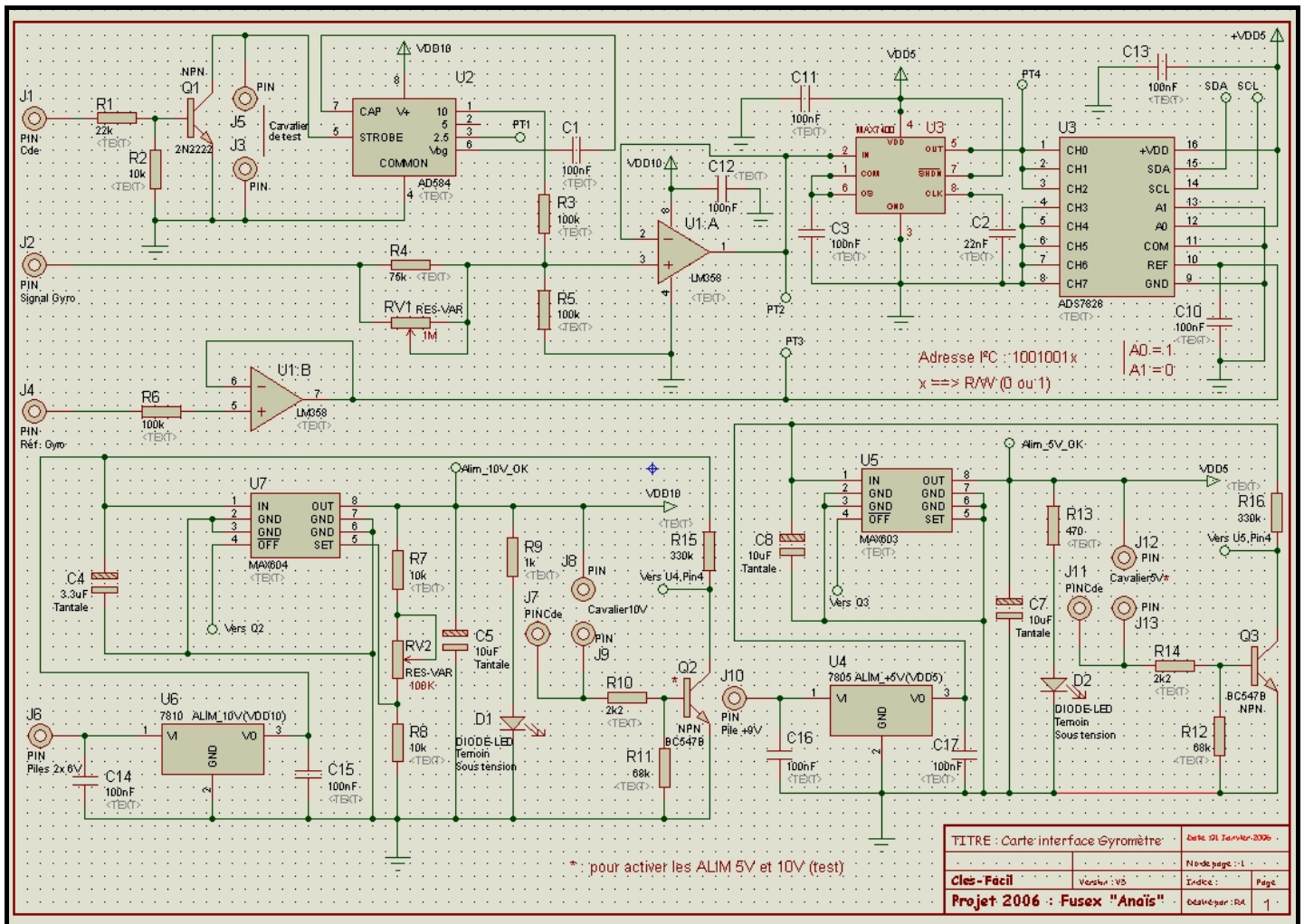


Figure 1 : Principe de mesure après AOP

- Ce signal passe ensuite par un filtre 8^{ième} ordre pour avoir un signal propre.
- Puis celui-ci entre dans un convertisseur (CAN) 12bits. Nous avons utilisé ce signal sur 3 canaux ceux-ci pour faire une bonne moyenne de mesures
- Le signal devient donc un signal numérique transmis par le bus I2C au microcontrôleur dit « asservissement ».
- La partie alimentation de la carte sera expliquée au chapitre III

II.1.3. Schéma électronique :



II.1.4. Test & étalonnage :

Des points tests ont été prévus pour pouvoir mesurer le signal avant et après chaque composant. Ils sont aux nombres de quatre. Les résistances R4 et RV1 permettent d'ajuster la tension 0° à 2,5V.

Des cavaliers ont été aussi prévus pour pouvoir activer/désactiver les alimentations (régulateur LDO U2, U5, U7).

L'étalonnage du capteur a été faite sur une platine disque, manipuler manuellement. Nous avons constaté une différence dans la réactivité de la mesure entre le sens horaire et le sens anti-horaire. Le capteur n'étant pas réglable, la correction de la mesure sera faite par le microcontrôleur dit « asservissement ».

II.2. La carte microcontrôleur « asservissement » :

II.2.1.Principe de fonctionnement :

Cette carte gère l'asservissement. C'est-à-dire sa tâche principale sera de relever les valeurs provenant du gyromètre de les traiter afin de piloter les électrovannes de manière adéquate. Il réalisera des tâches secondaires :

- Stockage de valeurs en mémoires :
 - Temps
 - Etat des électrovannes (ouvertes ou fermées)
 - Pressions TOR

- Gyromètre
- Transmission des valeurs enregistrées vers le PC, après le vol.

Un microcontrôleur de type ATMEGA 32 de chez « Atmel » sera dédié à ces fonctions.

✓ Caractéristiques :

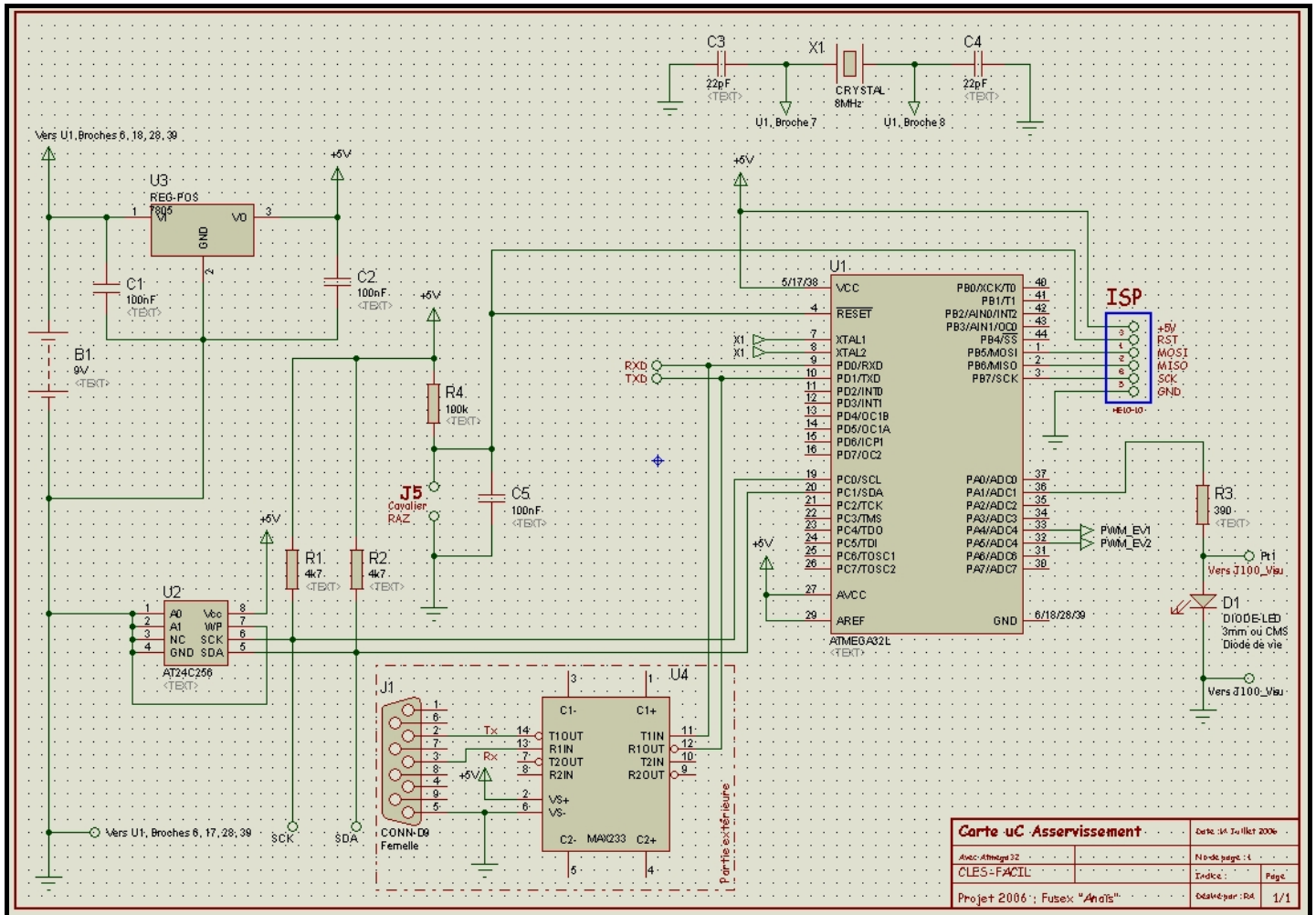
- mémoire programme de 32Ko, un espace RAM de 2 Ko et 1024 octets d'EEPROM.
- 2 Timer/Compteur 8 bits avec facteur de pré-division indépendant
- 1 Timer/Compteur 16 bits avec facteur de pré-division indépendant
- 1 Horloge Temps réel avec quartz externe
- 4 canaux PWM
- 1 Convertisseur Analogique/Numérique 8 voies avec une résolution de 10 bits
- 1 Comparateur Analogique à 2 entrées configurables
- 1 Interface de communication synchrone SPI (servant aussi à la programmation In situ)
- 1 Interface de communication Asynchrone USART
- 1 Compteur Watchdog programmable
- 1 Ports JTAG pour le débogage en temps réel

Il dispose de 40 broches.

II.2.2. Fonctionnement de la carte :

La carte est toute simple. Elle dispose de sa propre alimentation, une seule mémoire I2C de 512Ko, un connecteur ISP pour la programmation In Situ du microcontrôleur, ainsi qu'un connecteur pour la RS232. Une Del clignotante a été prévu pour contrôler le bon fonctionnement du microcontrôleur. La prise en compte des informations est donnée par le microcontrôleur dit « Tempos ». La récupération des données se fera sur un PC sur OS « Linux ».

II.2.3. Schéma électronique :



II.2.4. Test & étalonnage :

Les résultats et l'étalonnage de la carte « asservissement » sont disponibles sur le site du CLES FACIL (clesfacil.insa-lyon.fr) ou au local du club sous demande.

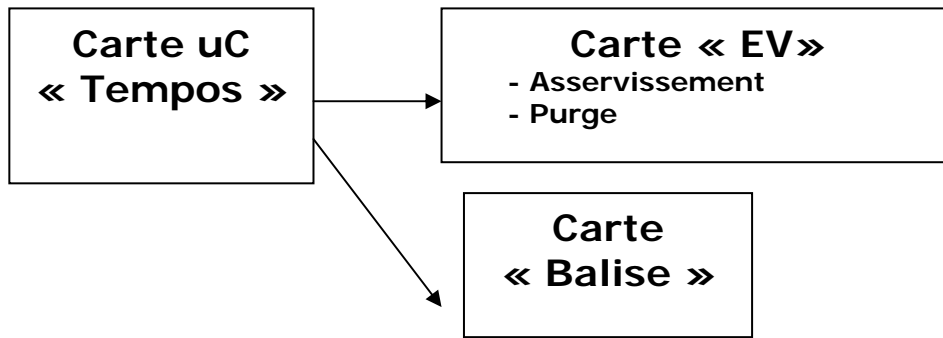
II.3. La carte microcontrôleur « Tempos » :

II.3.1.Principe de fonctionnement :

Ce microcontrôleur aura pour but de :

- Valider l'action des électrovannes après la phase propulsion et jusqu'à la fin du vol.
- Purger la bouteille d'air comprimée à la fin du vol
- Déclencher la balise après la purge complète de la bouteille.

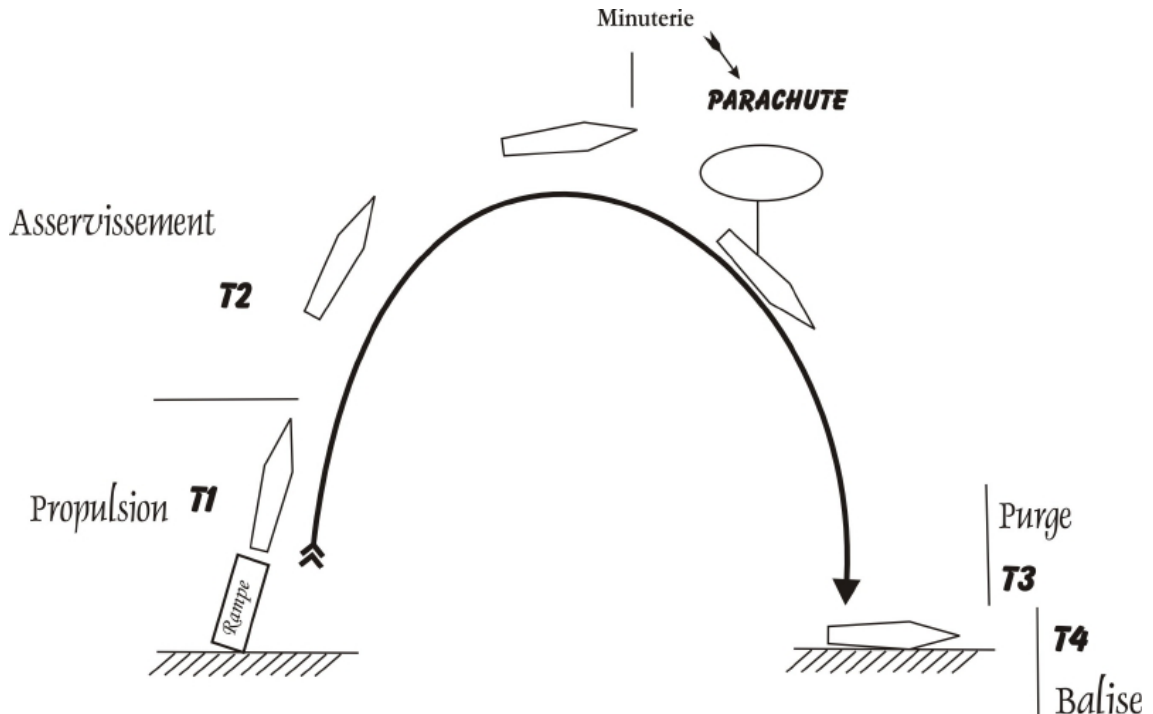
Schéma de principe :



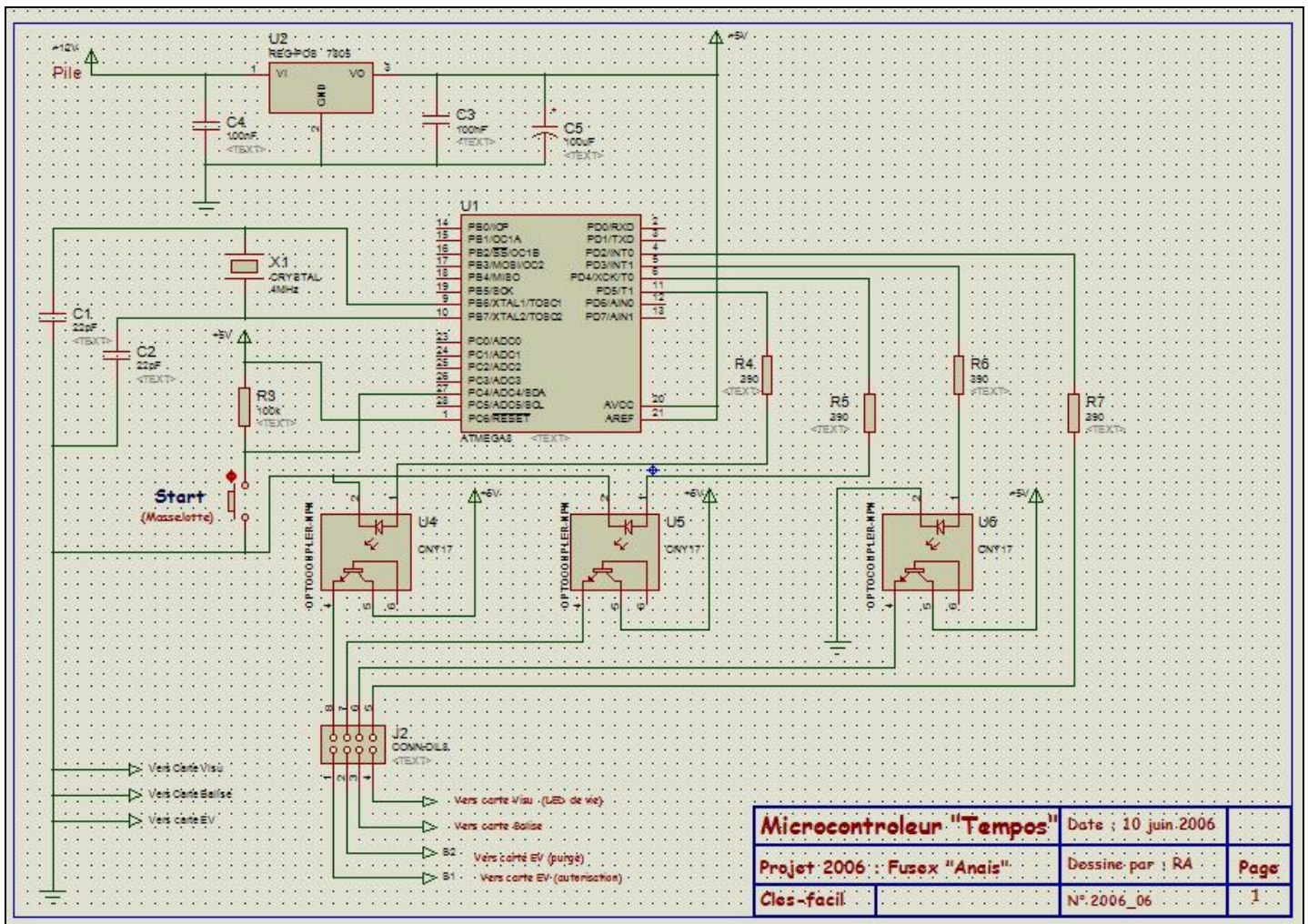
II.3.2. Fonctionnement de la carte :

Comme toutes les cartes la mise sous tension ce fait en rampe par un interrupteur. Le départ cycle du microcontrôleur se fait lors du décollage par un interrupteur à masselotte. Celui-ci gère les temps de cycles de fonctionnement de la fusée, hors fonctionnement de la minuterie. Il y a quatre temps différents :

1. Temps T1 (2,54s): le microcontrôleur « Tempos » bloque la prise en compte des mouvements de rotation de la fusée du microcontrôleur « Asservissement ». Il bloque aussi toutes commande de pilotage des électrovannes. Ceci est le temps de propulsion effectué par le propulseur type « chamois » fournit par le CNES.
2. Temps T2 (environ 10s): le microcontrôleur « Tempos » autorise la prise en compte des mouvements de rotation de la fusée et donc le pilotage des électrovannes.
3. Temps T3 (40s): le microcontrôleur « Tempos » commande la purge au sol pour vider complètement la bouteille d'air comprimée.
4. Temps T4 (30s): le microcontrôleur « Tempos » coupe la purge, et enclenche la balise, ceci jusqu'à épuisement des batterie (cf. chapitre balise).



II.3.3. Schéma électronique :



II.3.4. Test & étalonnage :

Les tests de temps cycles ont été simulés sur une carte de développement « Atmel » STK200. Trois opto-coupleurs ont été prévus pour la protection du microcontrôleur. La DEL de vie est câblée sur le pupitre de visualisation.

II.4. La carte interface électrovannes :

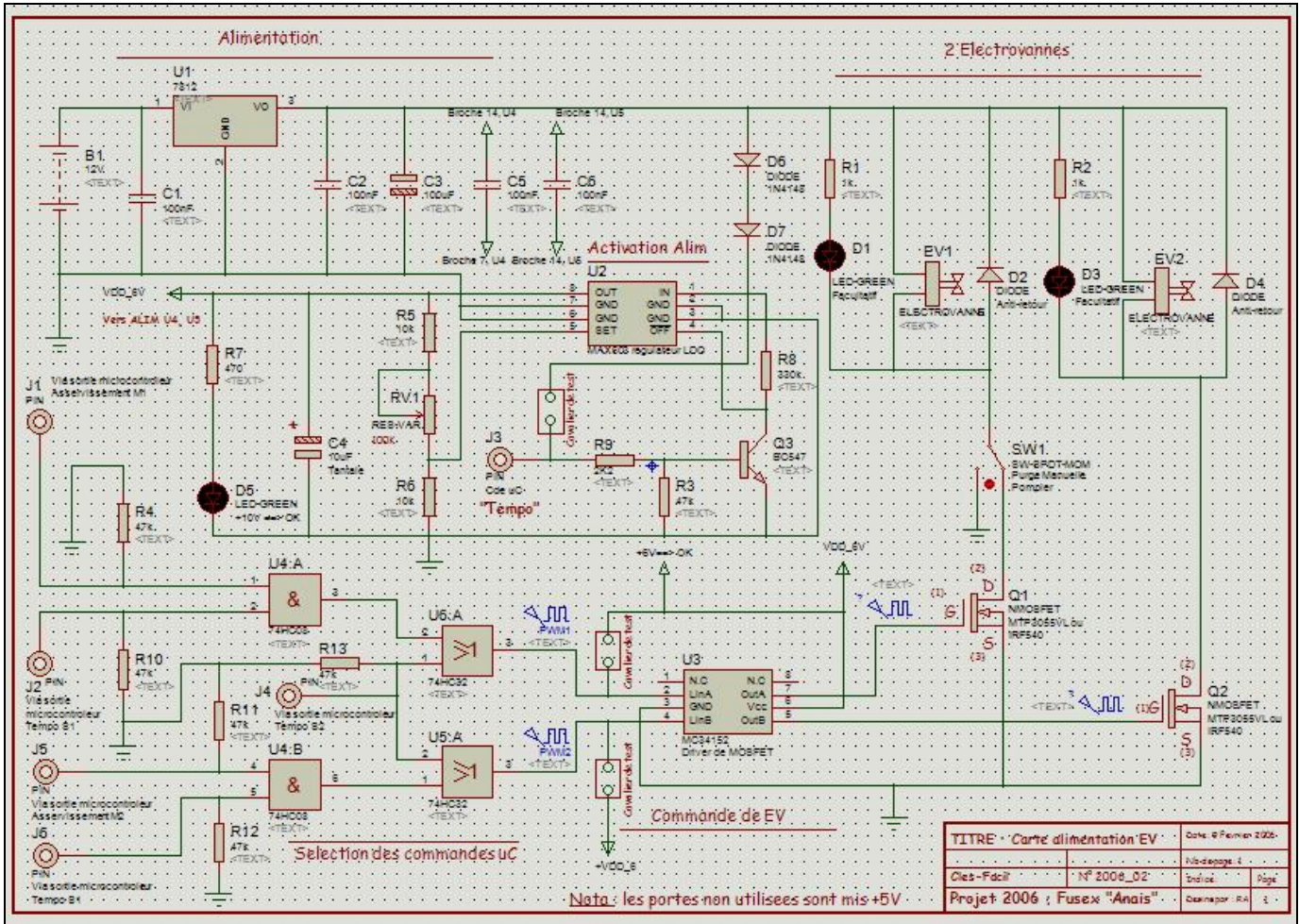
II.4.1.Principe de fonctionnement :

Cette carte permet le pilotage des électrovannes. C'est la partie puissance. La commande est donnée par les deux microcontrôleurs.

II.4.2. Fonctionnement de la carte :

Le pilotage des électrovannes se fait par l'intermédiaire de transistor type MOS FET. Ces derniers sont pilotés par un « driver de MOSFET ». Celui-ci permet une commutation plus franche. La commande du « driver » se fait soit par le microcontrôleur « asservissement » soit par le microcontrôleur « Tempos ». Ce dernier est prioritaire, en effet il autorise la commande des électrovannes au moment voulu. Voir chapitre microcontrôleur « Tempos ».

II.4.3. Schéma électronique :



II.4.4. Test & étalonnage :

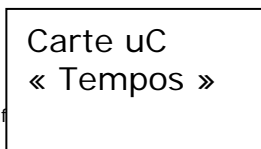
Un cavalier ont été aussi prévus pour pouvoir activer/désactiver l'alimentations (régulateur LDO U2). Deux autres cavaliers ont été aussi prévus pour pouvoir commander le pilotage des électrovannes (U3). Les tests ont été effectués avec un générateur de fonction (signal carré, amplitude 5V). Nous avons constaté que les électrovannes saturaient à partir de 15Hz, c'est-à-dire restaient ouvertes.

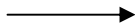
II.5. La carte balise :

II.5.1.Principe de fonctionnement :

Pour faciliter la récupération de la fusée après son vol, nous avons prévu une balise qui émettra des signaux sonores. Celle-ci sera déclenchée par le microcontrôleur dit « Tempos » en phase finale. C'est-à-dire après le vol et après décharge complète de la bouteille d'air comprimée.

Schéma de principe :

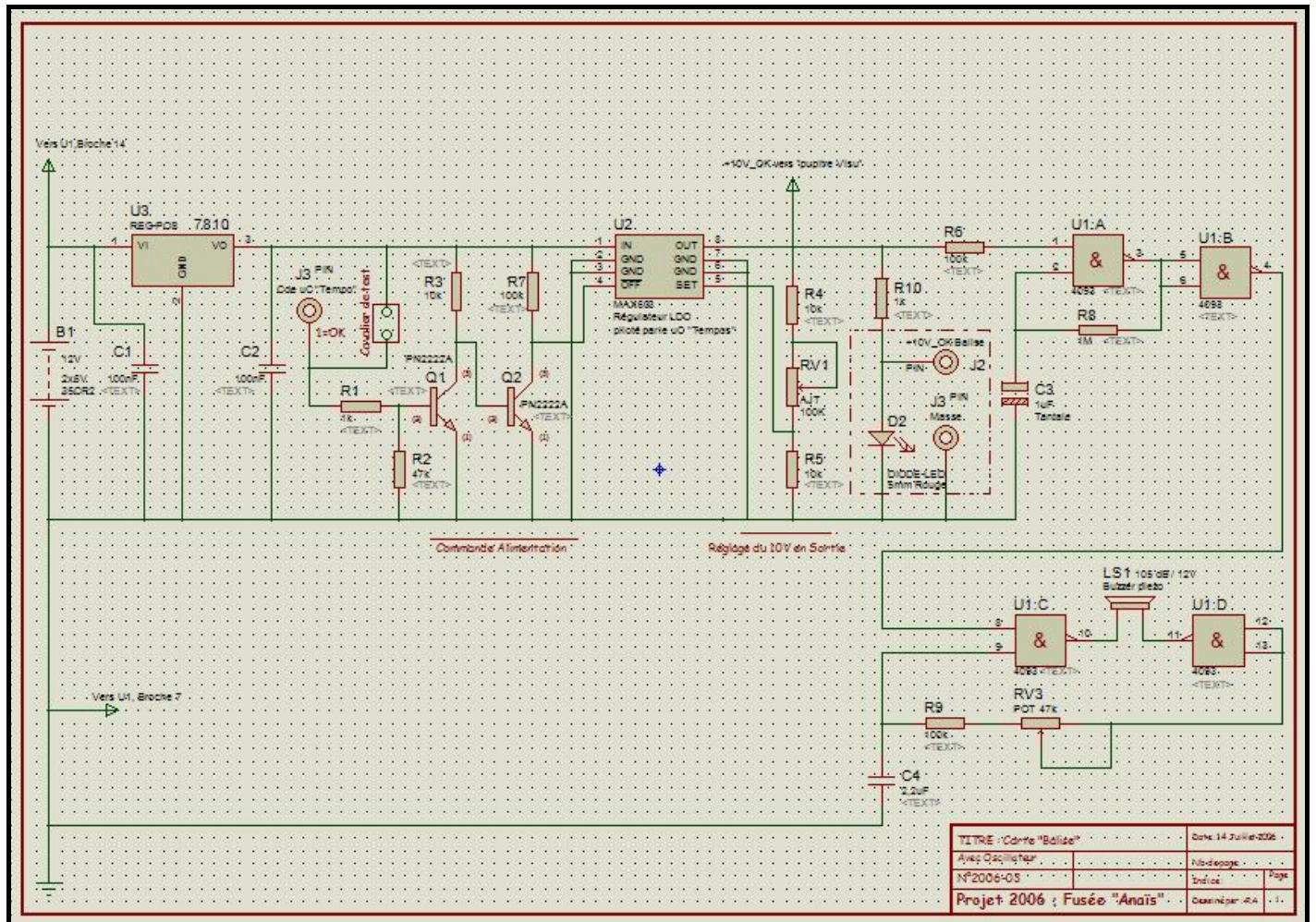




II.5.2. Fonctionnement de la carte :

La balise est commandée par le microcontrôleur « Tempos » en fin de vol. Un signal 5V est envoyé sur le régulateur LDO (U2) pour activer l'alimentation du montage. Quatre portes Et et NON (NAND) sont utilisées pour l'oscillation du buzzer. U1a, U1b servent de fréquence d'oscillation du buzzer ; U1c, U1d gèrent les intervalles entre les cycles d'oscillation. Ceci permet de prolonger au maximum la durée de fonctionnement du montage en « économisant » les piles.

II.5.3. Schéma électronique :



II.5.4. Test & étalonnage :

Le test de la carte a été réalisé selon les conditions suivantes :

- Dans les bois
- Vent sens contraire,
- Buzzer « camouflé »

Les résultats obtenus sont les suivants :

- Distance audible environ 100 m

- Autonomie > 8H de fonctionnement

II.6. Le séquenceur (la minuterie) :

II.6.1.Principe de fonctionnement :

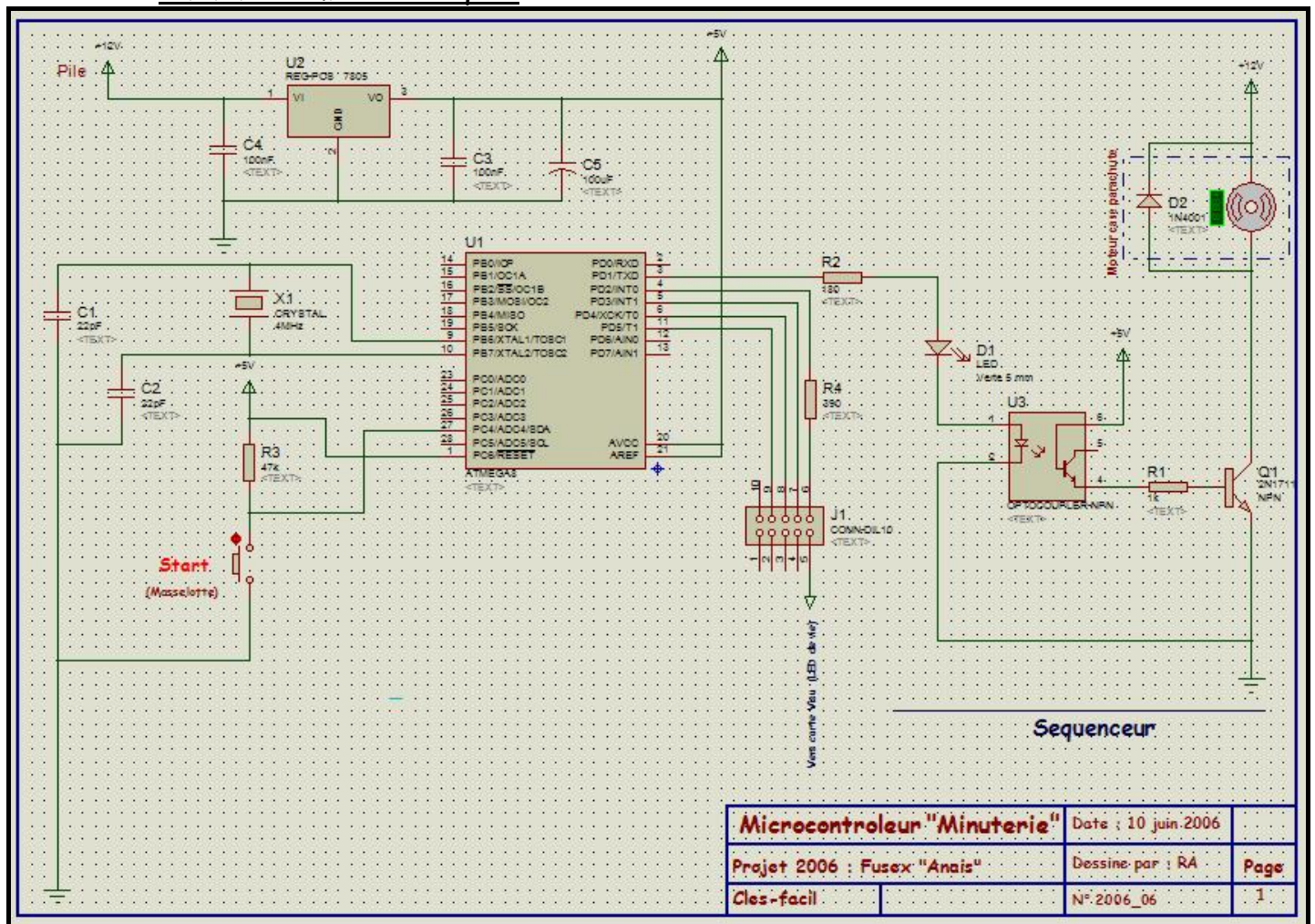
La minuterie, élément essentiel pour récupérer la fusée, permet l'ouverture la case parachute. Le temps de déclenchement varie selon les caractéristiques de celle-ci (poids, longueur ...). La valeur de réglage est donc donnée lors du contrôle de qualification. Celle-ci doit être donc réglable.

II.6.2. Fonctionnement de la carte :

Cette année nous avons utilisé un microcontrôleur Atmega8 de chez Atmel. Le réglage du temps de déclenchement sera donc à programmé après le contrôle de qualification.

Nous avons la même carte que celle du microcontrôleur dit « tempos ». Donc une seule étude pour deux carte !! La DEL D1 est facultatif, elle nous a permis de contrôler le bon fonctionnement de la commande du moteur. L'opto-coupleur sert à l'isolement galvanique entre la commande et la puissance. Les parasites générés par le moteur ne peuvent donc pas parasiter le microcontrôleur.

II.6.3. Schéma électronique :



II.6.4. Test & étalonnage :

Les essais ont été effectués avec un temps de 15 secondes.

II.7. Interconnexion des cartes :

II.7.1.Principe :

La connexion des cartes a été faite avec du fil multibrin de diamètre 0,24 mm² que nous avons torsadé (C.E.M.). Nous avons instauré un code couleur pour chaque type de liaison :

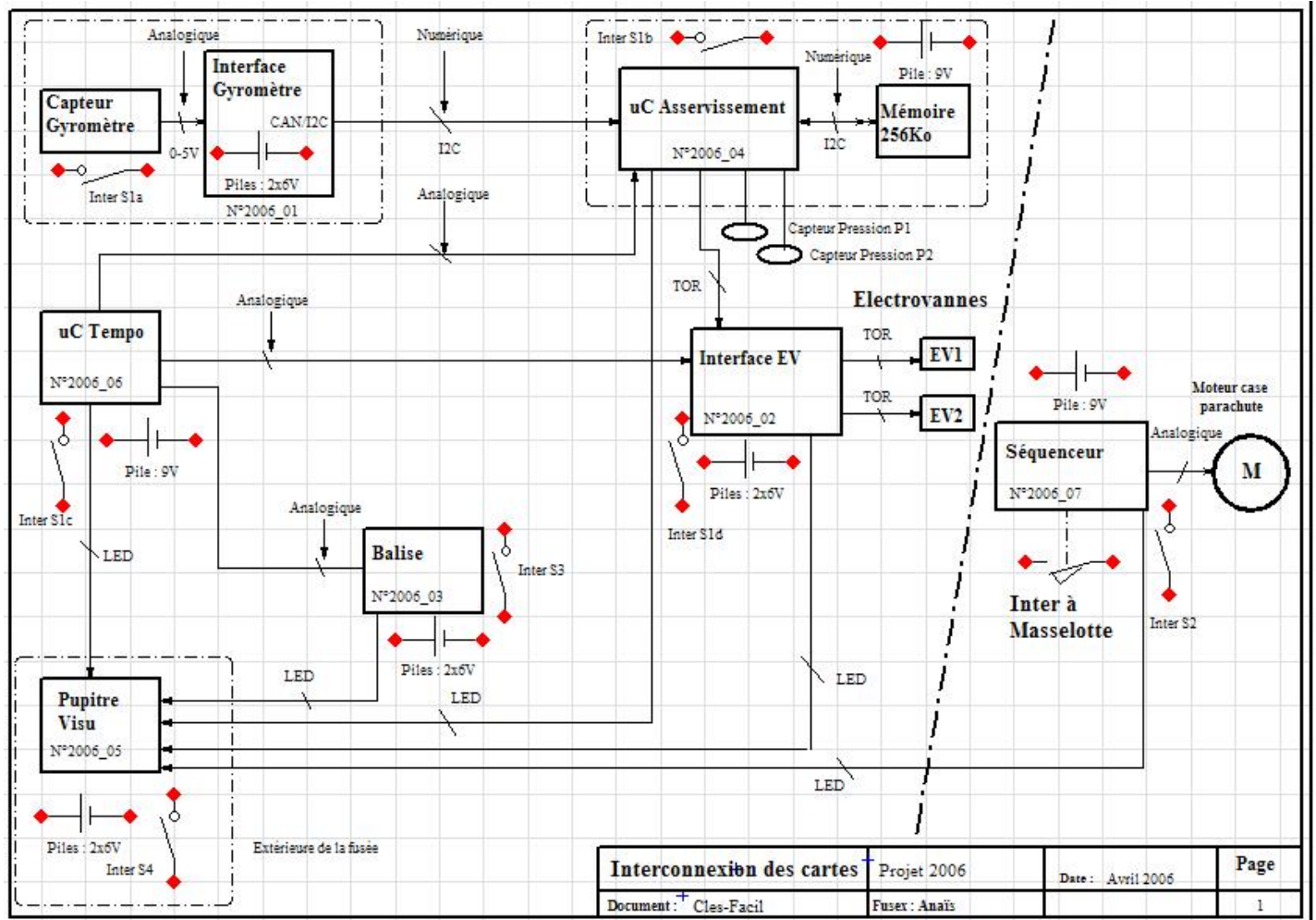
- Rouge : +Vcc
- Noir : 0V (masse)
- Orange : sortie des DELs
- Jaune : entrée signal
- Vert : sortie signal

Pour les capteurs et les bobines nous avons utilisé du câble blindé. Le blindage a été mis à la masse. Toutes les masses sont communes et le châssis de la fusée est mis aussi à la masse.

II.7.2. Fonctionnement de la carte :

Toutes les cartes sont alimentées par une alimentation séparée. Elles sont coupées par deux interrupteurs (un interrupteur tripolaire et un interrupteur tétrapolaire) placés sur la fusée de façon accessible.

II.7.3. Synoptique interfaçage des cartes :



II.7.4. Test :

Une fois les cartes montées sur la fusée nous avons d'abord contrôlé les alimentations. C'est-à-dire commandé manuellement par les cavaliers (pour les cartes qui en étaient pourvus) les alimentations (LDO). Ensuite nous avons interfacé toutes les cartes entre-elles. Nous avons simulé un décollage (en forçant les masselottes) pour contrôler le fonctionnement global.

II.8. Pupitre visualisation :

II.8.1.Principe :

Pour la carte de visualisation, nous avons choisis de ne pas l'intégrer dans la fusée. Ceci pour deux raisons :

1. la visualisation des alimentations n'est utile qu'avant le vol, avant mise en rampe. Ceci permet aussi d'économiser de l'énergie des piles.
2. Le manque de place à l'intérieur de la fusée.

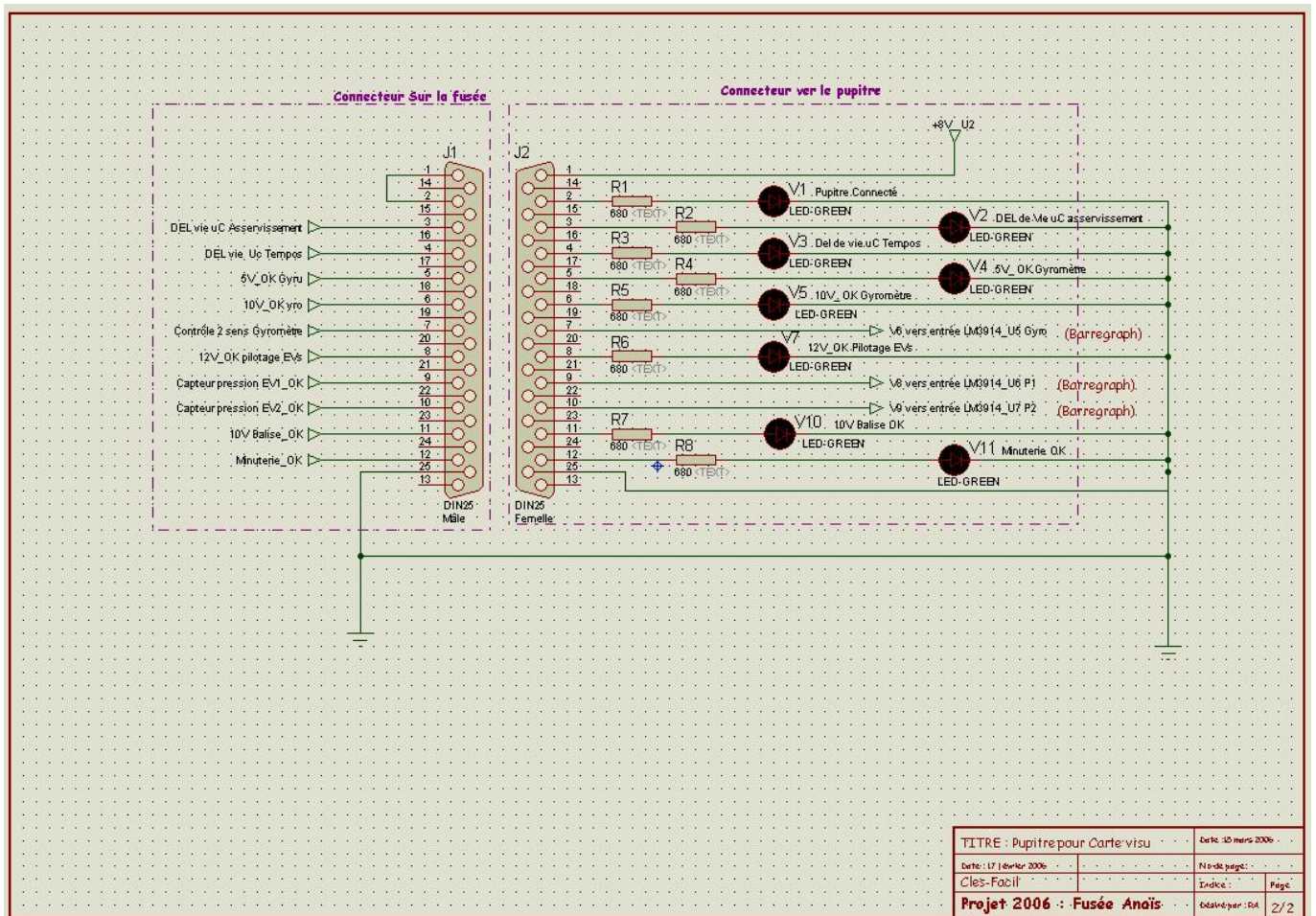
II.8.2. Fonctionnement de la carte :

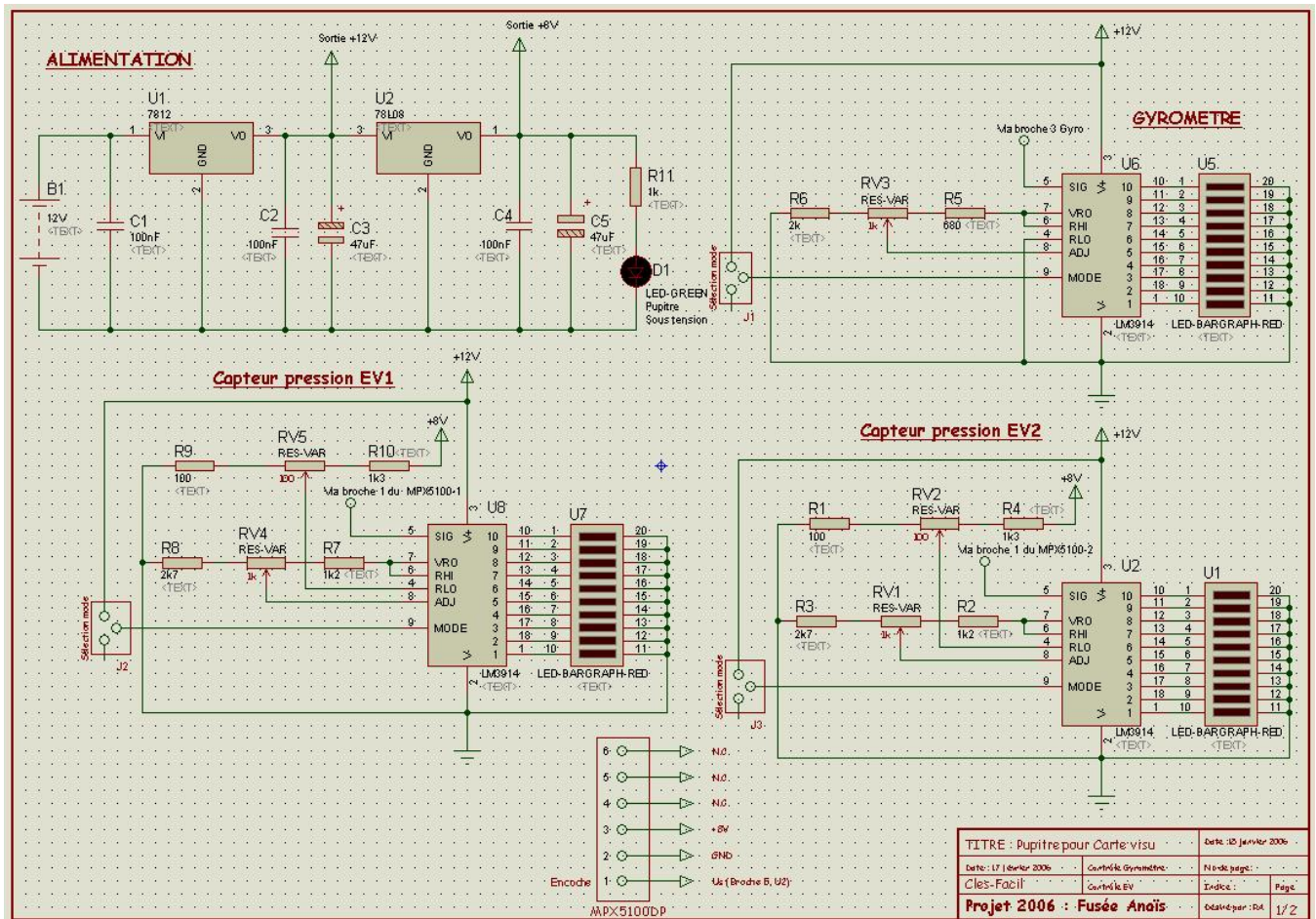
La visualisation des alimentations correctes, de toutes les cartes, se fait sur le pupitre de visualisation. A la mise sous tension des cartes, toutes les diodes électroluminescentes doivent s'allumer, nous indiquant la bonne alimentation des cartes. Sur le pupitre nous avons donc monté toutes les diodes électroluminescentes

Deux connecteurs, un sur la fusée et un autre sur le pupitre ont été prévu pour relier ces signaux « Alim OK » via un câble de 2 mètres.

Sur le pupitre nous avons aussi prévu des interrupteurs pour pouvoir piloter les électrovannes et donc vérifier leur fonctionnement, ainsi qu'un interrupteur pour déclencher la balise. Voir photo ci-dessous.

II.8.3. Schéma électronique :





II.8.4. Test :

Les tests ont été effectués après montage des cartes sur la fusée, sauf pour les capteurs de pression qui ont été montés directement sur la carte. Avec la pression d'air du réseau de l'INSA (6 Bars), j'ai pu calibrer le signal de sortie des capteur MPX5100 (0 à 5V). Le réglage ne nécessitait pas une grande précision, car nous que contrôler en TOR de bon fonctionnement des capteurs et le bon pilotage des électrovannes.

III - Les alimentations :

III.1. Principe de fonctionnement :

Il est prévu que chaque carte électronique possèdera sa propre alimentation. De plus, il sera possible d'activer ou de désactiver ces dernières par l'intermédiaire des deux cartes microcontrôleurs.

Chaque carte possède un régulateur standard type « 78xx » et un régulateur LDO commandé à distance, de référence MAX603-MAX604 de chez MAXIM. Ces régulateurs ont l'avantage de pouvoir être ajustable en tension de sortie. Ceci nous a permis de « standardiser » les composants d'alimentations.

Sur chaque carte un cavalier de test a été prévu pour contrôler le bon fonctionnement de l'activation ou la désactivation de la commande des alimentations

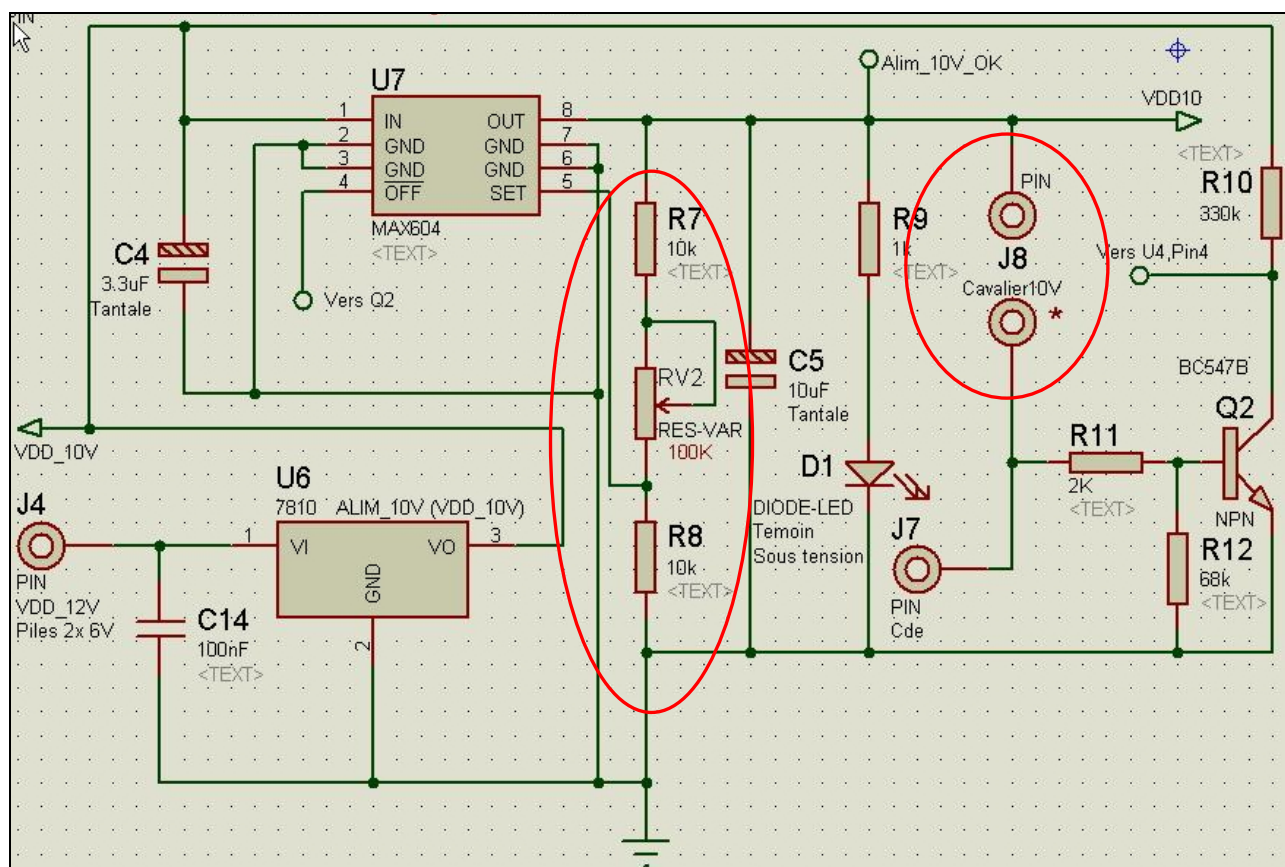
III.2. Fonctionnement des alimentations :

Les régulateur LDO de Maxim peuvent être alimentés jusqu'à 11,5V et donc fournir une tension stable de 11,5V. Ceci par un « jeu de résistances » (Voir schéma chapitre III.3).

Le MAX604, sans « jeu de résistances » fournit 3,3V, le MAX603, sans « jeu de résistances » fournit 5V.

Donc pour les alimentations 5V nous avons utilisé le MAX603 sans « jeu de résistances ». Pour les alimentations 10V nous avons utilisé le MAX603 ou le LMAX604 avec « jeu de résistances ». Dans l'exemple ci-dessous R7, RV2, R8, Rv2 permet d'ajuster la tension de sortie.

III.3. Schéma électronique :



III.4. Test & étalonnage

Un cavalier sur chaque carte a été prévu pour contrôler le fonctionnement de l'activation ou la désactivation de l'alimentation. Le contrôle des alimentations sera visualisé par l'intermédiaire d'un pupitre externe. Dans l'exemple ci-dessus J8 permet de activer le circuit LDO.

IV - Les programmes :

Les programmes sont écrits en langage C.

IV.2. Microcontrôleur « Temps » :

Pour cela nous avons utilisé les logiciels suivants : Sous système d'exploitation Windows XP

- Editeur/ Compilateur : AVRSTUDIO V4 de chez ATMEL
- Le logiciel de programmation du microcontrôleur : PonyProg V2000

Les tests de simulations ont été faites sur une carte de développement de chez ATMEL → STK200

IV.1. Microcontrôleur « Asservissement » :

Pour cela nous avons utilisé les logiciels suivants : Sous système d'exploitation « LINUX »

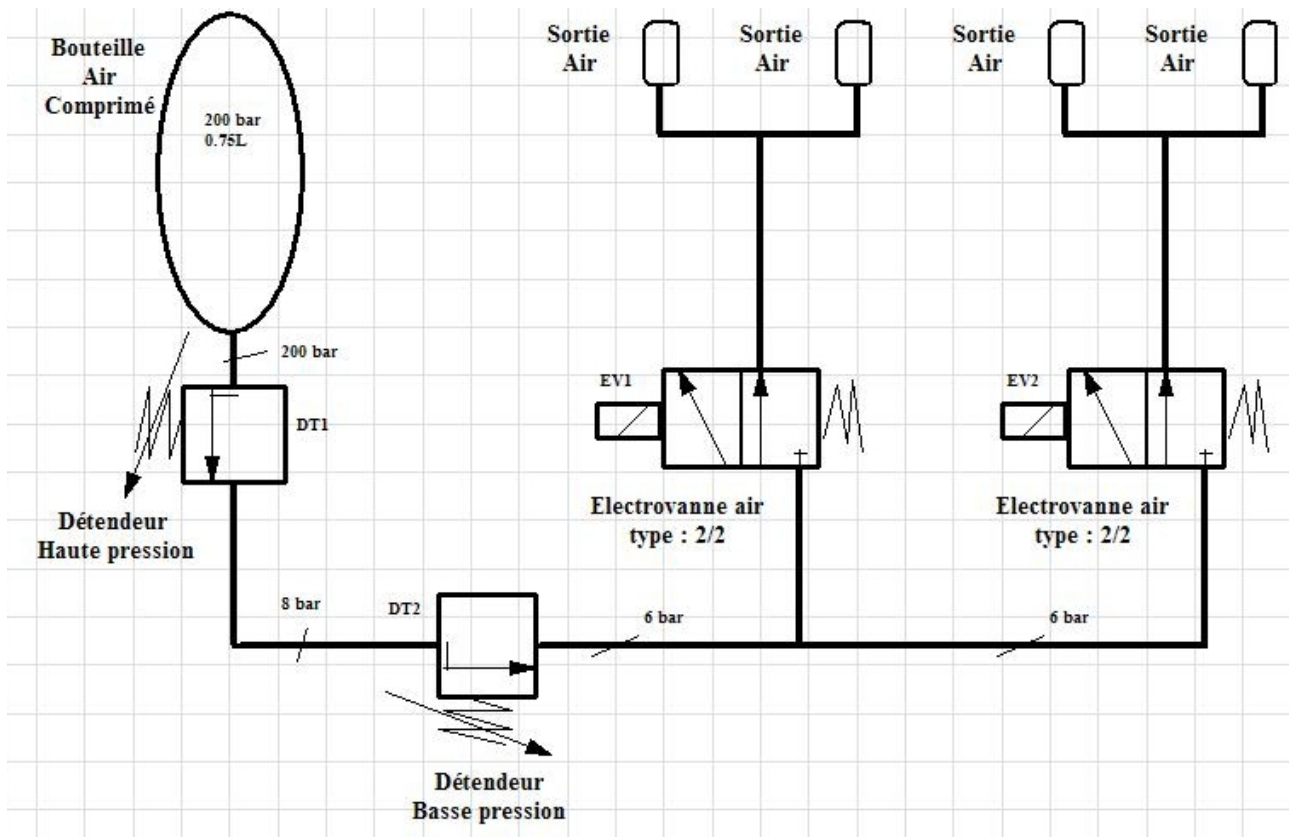
- Editeur/ Compilateur : (information disponible sur le site du club)
- Le logiciel de programmation du microcontrôleur : (information disponible sur le site du club)

Les tests de simulations ont été faites sur une carte de développement faite « maison »

V - Partie mécanique :

V.1. Le pneumatique :

V.1.1. Principe général :



A l'aide d'une bouteille de plongée (~200 bars) nous effectuons le remplissage du réservoir de 0,8L. La vanne 1 est ouverte, la vanne 2 fermée.

Ensuite nous fermons la vanne 1, nous enlevons le tuyau flexible de la bouteille de plongée et nous ouvrons la vanne 2. De cette manière nous activons le détendeur qui sortira une pression de 8,5 bars maxi.

Pendant le remplissage et après l'ouverture de la vanne 2 les deux électrovannes de la partie BP seront fermées. Elles seront activées qu'après la phase propulsée.

V.1.2. Haute pression :

Pour notre expérience nous nous limiterons à l'utilisation d'une pression de 230 bars (pression maximum pour une bouteille de plongée).

Tous les composants de la PHP sont certifiés pour un fonctionnement sous une pression supérieure à 230 bars. Le montage de la partie HP sera réalisé par une **personne habilitée**. Pour cela nous avons contacté un spécialiste dans la manipulation d'appareils HP.

V .1.2.1. Description de la PHP :

La partie HP est constituée :

- d'une bouteille sous haute pression
- de deux vannes manuelles
- la tuyauterie HP
- un détendeur + manomètre HP

✓ **Réservoir HP** : bouteille de paint-ball en aluminium (0.8L), standardisée. Pression d'utilisation de 300bars, pression de test : 450 bars.

✓ **Vannes manuelles HP** : vannes Swagelok, 2 voies, pression d'utilisation : 240 bars.

✓ **Tuyauterie HP** : raccords et tuyaux standardisés. Pression d'utilisation > 200bars.

✓ **Détendeur** : détendeur d'application médicale. Entièrement en Inox. Partie HP - pression d'utilisation 350 bars, partie BP - 8,5 bars maxi. Le détendeur est équipé d'un manomètre HP (0-350 bars).

V .1.2.2. Montage (voir figure ci-dessous):

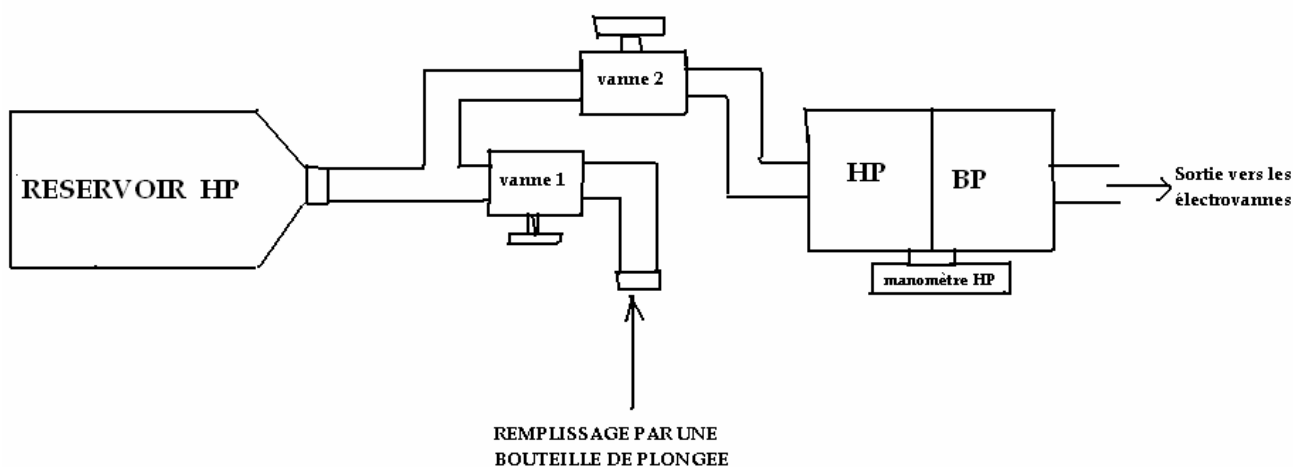


Figure 3 : Montage partie HP



Figure 3.3. - Partie Haute pression

V.1.3. Basse pression :

V.1.3.1 Types de raccords utilisés :

1

- Le réducteur de basse pression peut faire varier la pression de 0 à 8 bar. Celui-ci se place en série sur le circuit d'air. Le réglage de la pression se fait avec une clé « Allen » de 8 mm par la vis repère 1.



- Les raccords des électrovannes sont en laiton droit, dit « instantané », de pression 20 bars max. d'utilisation.



- Les raccords pour la tuyauterie sont en plastique dit « instantané », de pression 20 bars max. d'utilisation.



V.1.3.2 Type tuyau utilisé :

- Les tuyaux sont en **polyuréthane souples**, de pression 20 bars max. d'utilisation.

V.1.3.3 Type électrovannes utilisées :

Les deux électrovannes sont de type 2/2 de marque CAMOZZI. La pression d'utilisation est de 6 bars. Bobine 12V/5W

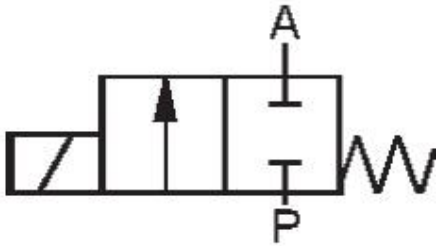


Figure 4 : électrovanne 2/2 (Symbole normalisé)

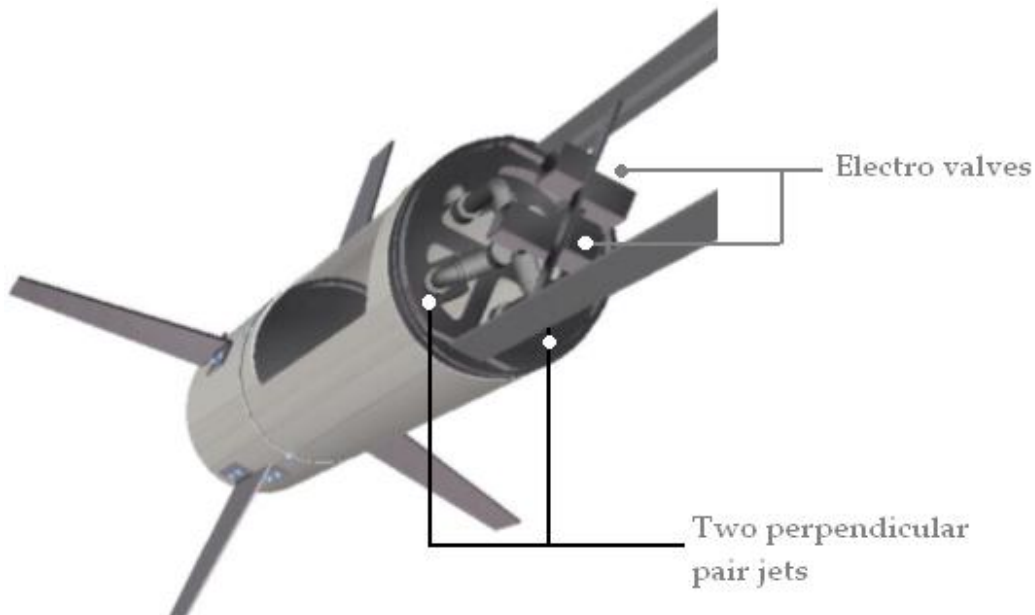


Figure 5. - Partie basse pression

VI. Structure mécanique

L'étude de la mécanique dans la conception de fusées expérimentales semble être la partie fondamentale de l'expérience. Elle détermine non seulement le corps physique de la fusée, mais sa stabilité, sa rigidité, sa performance en vol et surtout sa récupérabilité.

La mécanique de la fusée consiste en trois parties:

- Structure: conception et construction
- Système électropneumatique: conception, construction et intégration
- Asservissement : conception et intégration

Avant de commencer à faire des études en mécanique, il faut tout d'abord commencer par une étude de conception et bien définir l'objectif de l'expérience. Ceci nous donne une première estimation du poids, de la taille et des dimensions de la fusée. Aussi avec cette étude

préliminaire nous définissons des contraintes que l'on peut avoir pendant le vol et au sol, mais également on limite l'espace de la charge utile, selon nos besoins.

Dans un premier temps, on savait que on allait faire un système pour asservir en rotation la fusée. Au début d'année on avait fait un « brain storming » pour chercher des idées et en générale on avait arrivée a ceci :

Idée	Description	Acceptation
Utiliser des petits ailerons asservis en rotation	Projet déjà réalisé par le CLES FACIL sans succès par le faible temps de réaction des actionneurs.	Idée non acceptée pour le fait de vouloir innover avec un autre système d'asservissement en rotation.
Utiliser des volants d'inertie	Avec des volants d'inertie, et avec la mesure de rotation de la fusée, faire un asservissement par l'actionnement de ces volants provoquant un contra couple	Idée non acceptée à cause de l'inexpérience avec des systèmes vibratoires. Faut connaître un modèle assez fiable pour faire de la simulation. C'est une option pour la future.
Utiliser de l'air comprimé pour créer un contre couple.	Avec un réservoir d'air comprimé, guider la sortie de l'air avec des electro vannes pour empêcher la rotation	Acceptée. Idée la plus approfondie et mieux étudiée. C'est notre challenge de l'année

VI.1 Description

La structure d'Anais est très importante car elle doit non seulement représenter un corps rigide, mais elle assure la stabilité de la fusée et offre de la place pour toute l'électronique embarquée et le parachute. De même, elle est importante car le propulseur y est fixé. Le club a eu beaucoup d'expérience en termes de fabrication et de conception, donc la démarche suivie un peu près la tradition.

VI.1.1. Conception

La conception de la fusée est décomposée en plusieurs parties, mais gardant en tête que toutes ces parties sont liées et doivent se concevoir de telle manière pour qu'à la fin on obtienne une intégration correcte et adéquate. Le procès de conception est assez spécifique car toute pièce ou assemblage doit être fait de telle façon qu'il soit automatiquement changé une fois que les paramètres changent. C'est-à-dire que si par exemple le diamètre de la fusée change, la dimension de l'ogive et des bagues changent automatiquement, l'hauteur diminue, etc. Une fois que tout soit fixé, les pièces sont envoyées à usiner.

Pour mieux comprendre le procès de conception, on divise la fusée en étages.

VI.1.1.1. Premier étage. L'ogive

L'ogive c'est une coque en fibre de verre parabolique. Les détails de construction seront donnés dans la section 1.1.2 Construction.

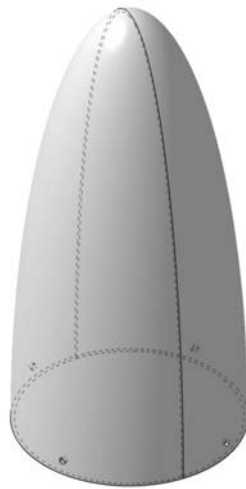


Image 1.1 Ogive

Pour voir un exemple d'intégration, dans l'image suivante on peut voir l'ogive intégrée avec la bague supérieure et le réservoir.



VI.1.1.2. Deuxième étage. Le « Payload »

Ici se situe toute l'électronique embarquée, donc tout le système électropneumatique (y compris le réservoir), les cartes, les électro vannes, le gyroscope, le système de purge, le câblage, la tuyauterie etc. Cet étage intègre également une coque en fibre de carbone et est rigidifié par des profils en T.



VI.1.1.3. Troisième étage - La case parachute

Ici se situent la case parachute et le système d'ouverture. La structure est composée d'une coque en aluminium avec une porte qui sera libérée une fois atteint le point mort de la balistique de la fusée et permettra au parachute de sortir et de se déplier.



VI.1.1.4. Quatrième étage - La propulsion et les ailerons

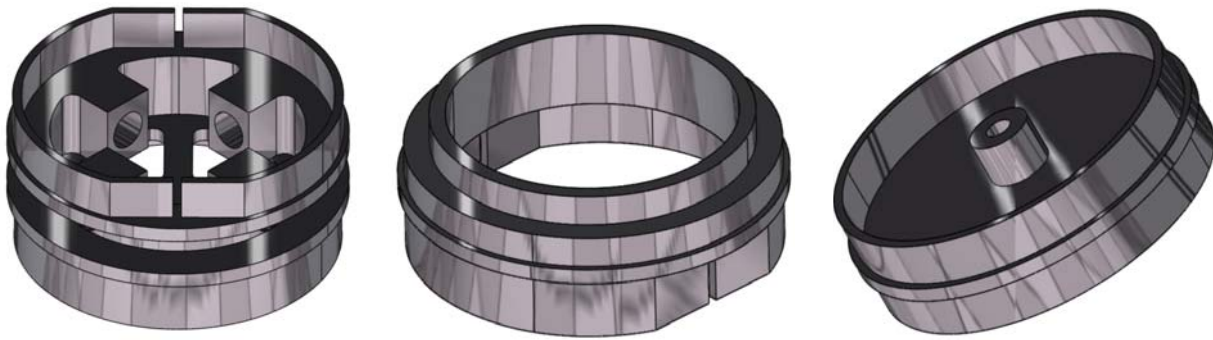
Le quatrième étage est très important car ici se situent le propulseur et les ailerons qui assurent la stabilité. Elle est réalisée en fibre de carbone.



VI.1.2. Intégration des étages

A) Les Bagues

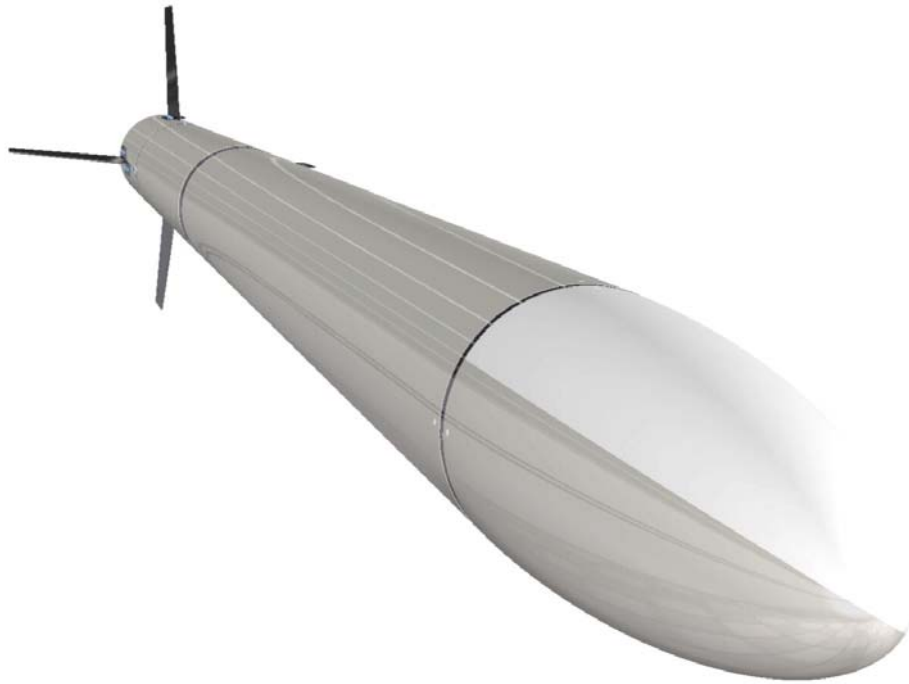
Les quatre étages sont reliés ensemble et intégrés avec des bagues. La bague du milieu possède la particularité d'avoir des trous pour la sortie d'air comprimé. Tous les composants ont été dessinés avec CATIA V5 R14. Cela nous a permis d'optimiser le processus de conception et d'avoir une maquette numérique exacte des parties avant la fabrication.



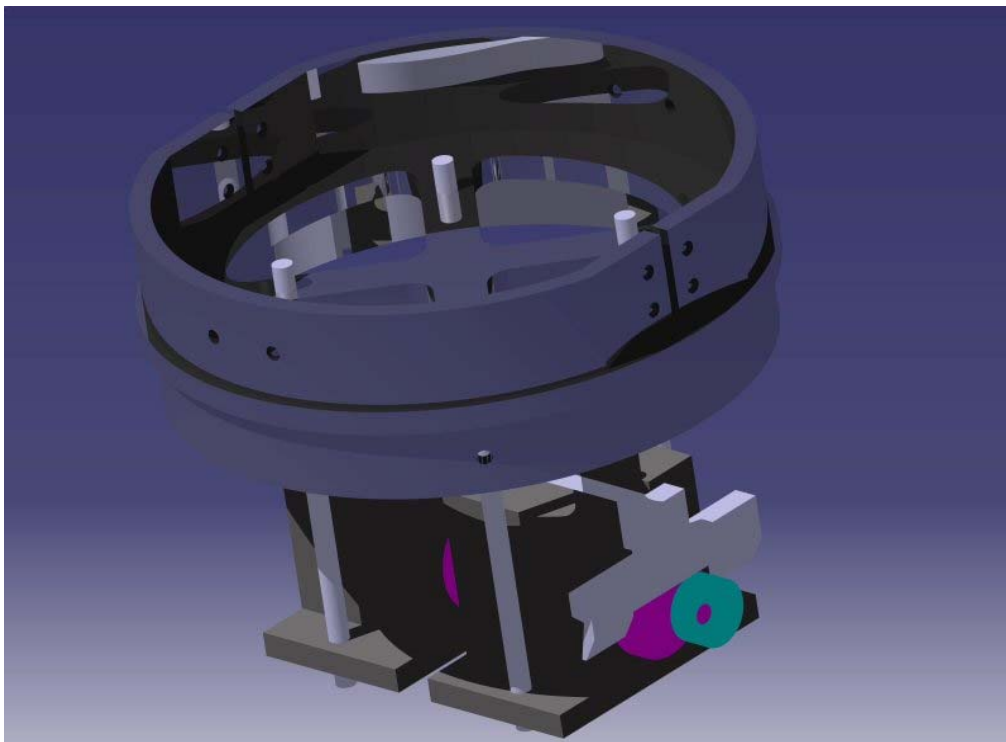
B) Vue de l'ensemble

La fusée consiste en intégration des quatre étages.



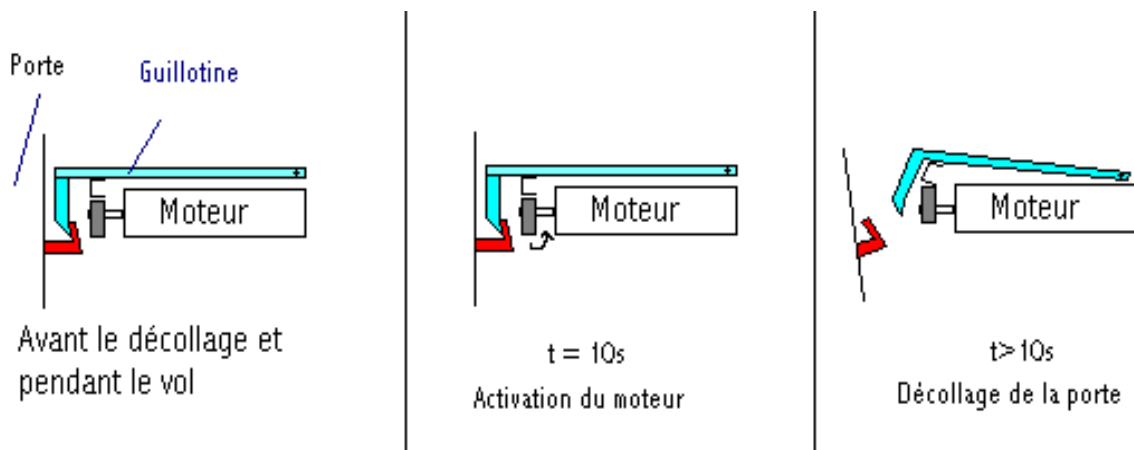


VI.1.3. Système d'éjection du parachute



Description du système :

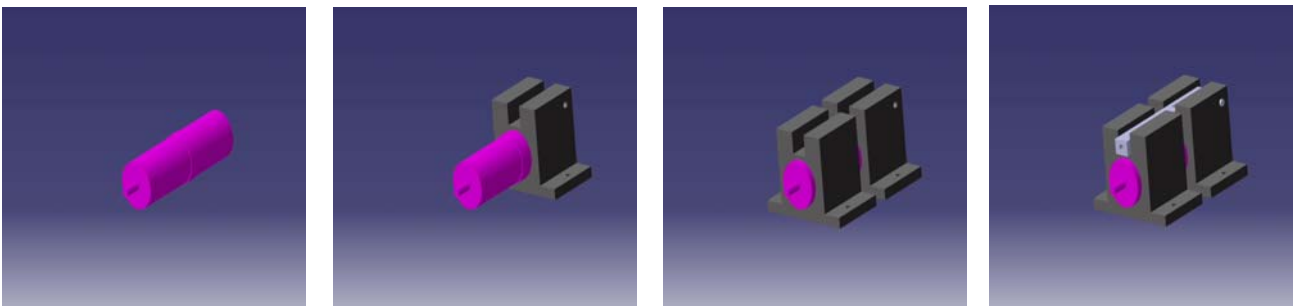
La porte de la case parachute est maintenue, pendant le vol, par une guillotine retenue en position basse par plusieurs élastiques. A la culmination, la carte minuterie permet l'envoi d'un courant actionnant un moteur, placé sous la guillotine. Une came fixée sur l'axe du moteur permet alors de soulever la guillotine et de libérer ainsi la porte et le parachute. Tout ce système est soutenu par deux supports en PVC posés sur une plaque de carbone, et reliés à la bague centrale par quatre tiges filetées.

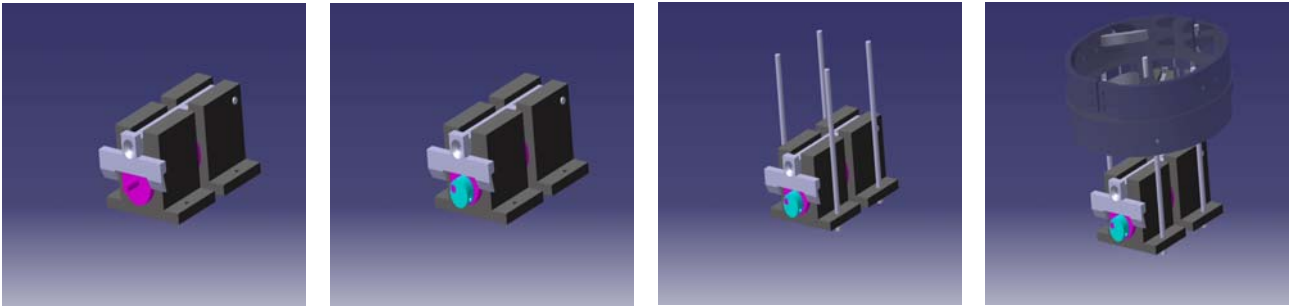


Réalisation :

- Les supports en PVC ont été réalisés à la fraiseuse conventionnelle (cf plans en annexe) à partir d'un bloc de dimensions 100x100x50.
- La came, la guillotine ainsi que le crochet encastré dans la porte de la case parachute ont été réalisés manuellement à l'aide d'outils classiques (scies, limes, perceuse).
- Le moteur et les élastiques proviennent du commerce.

Chronologie du montage :





Difficultés rencontrées :

La plupart des pièces nécessaires ne demandant pas dans leur réalisation une précision d'horlogerie, elles ont été façonnées manuellement à la lime. Cependant ce travail s'est révélé fastidieux, compte tenu de l'ancienneté de notre matériel, ainsi que des nombreuses fois où le travail a dû être repris, faute de bonne compatibilité entre les différentes pièces.

Bilan du fonctionnement :

Durant le vol, l'ouverture de la porte et le déploiement du parachute se sont déroulés parfaitement.

VII. Asservissement

VII.1. Conception

La partie automatique - asservissement s'avère vitale pour l'expérience. L'asservissement de la fusée est développé de façon à commander les électrovalves, d'où le flux d'air éjecté. Il est important à noter que les électrovannes sont de type ouvert/fermé. Une boucle fermée prenant en compte toutes les perturbations externes est créée. Le gyroscope détecte, dans un premier temps, la rotation absolue de la fusée autour de son axe de roulis et transforme cette information en signal électrique. Le signal est traité par le microcontrôleur qui possède un algorithme contenant la loi de gouvernement de l'ouverture et de la fermeture des vannes, ainsi que le temps d'ouverture. A mesure que l'asservissement fonctionne, la rotation de la fusée est corrigée en boucle fermée. Avec ce système on est capable de prendre en considération non seulement l'effet de contre couple généré par l'air comprimée mais aussi toutes les perturbations externes pendant le vol.

L'idée est de stabiliser la fusée autour d'un point de stabilité car l'inertie peut rendre le système instable. Ceci est accompli en s'y approchant par une loi de control exponentielle, c'est-à-dire qu'on va actionner les vannes tant que le système aura besoin, mais à chaque fois que la rotation diminue, le temps de ouverture des vannes diminue exponentiellement. De cette manière on s'approche d'une solution stable qui pourrait être comprise dans un intervalle minimum. En vol, ceci pourrait être considéré comme réussite de l'expérience.

Vue que l'automatique réagit en temps réel sur la fusée, le problème qui se pose est de trouver une loi d'ouverture et fermeture des vannes. En gros, le système va agir sur la rotation de la fusée, et celle ci changera le système en retour, faisant un changement de la loi.

Le système est conçu de façon qu'il contienne plusieurs sous modules.
Pour le code on prend alors les paramètres et les sous modules suivants :

Entrées du système global :

- Wabs= rotation absolue de la fusée (gyro)
- Wsens= sens de rotation (Pour convention Wsens>0 veut dire rotation clockwise, et pour la même condition l'électrovanne DROITE sera OUVERTE pour empêcher la rotation).

Sorties du système global :

- ElekD=électrovanne Droite. ElekD=1 (Ouverture), ElekD=0 or else (Fermeture)
- ElekG=électrovanne Gauche. ElekG=1 (Ouverture), ElekG=0 or else (Fermeture)

Contraintes du Système :

- Temps minimum d'ouverture des vannes Tmin = 50 ms, c a d 20 fois/s.
- Prise de mesure de Wabs et Wsens chaque 10 ms, Tprise=10ms (changeable)
- Le système agit chaque Tagit=Tagit s. C'est a dire que c'est variable. Tagit0=500ms (initial)
- Temps d'influence par rapport a la sortie d'air (ctte temps poussée) inconnu. Tinflu.

VI.2. Sous modèles

1) Sous modèle LOI

Trouver la loi d'ouverture des vannes paramétrée, c'est à dire la loi qui changera dans le temps et ses paramètres.

Entrées :

- Wabs
- alpha = paramètre ou critère de comportement de la loi, c'est celui la qui fait changer la loi.
- Bheta = facteur de dimensionnement pour la taille de l'exponentielle

Sorties :

- Tov= temps d'ouverture

L'idée c'est trouver une **Tov=fonction(Wabs,alpha, Betha)**

On a trouve la loi parfaite en fonction de 3 paramètres, Wabs, alpha et Bheta. Pour le moment on va laisser Bheta constant, on verra après si l'on fait varier. Bheta représente une variable qui élargie la curve et donc détermine le comportement réactif de la loi, dans un premier temps on prends une valeur moyenne de 5 qui donne une allure assez cohérente.

Programme MathCad

$$\text{Loi} \quad \text{tov}(w, \alpha) = \alpha \cdot (1 - e^{-\beta \cdot w}) + B$$

Intervale de w

$$w0 := 0, 0.01.. 1$$

$$\text{limit}(w) := 0.05$$

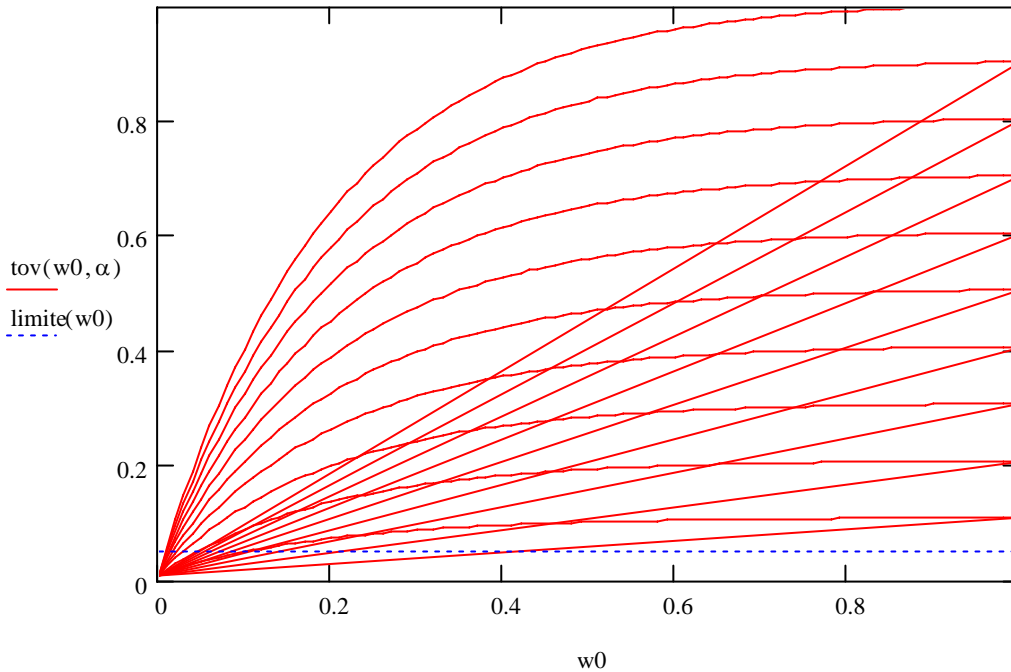
$$\alpha := 0.1, 0.2.. 1$$

$$\beta := 5$$

$$B := 0.01$$

2) Sous modèle BASE DONNEES

La base de données archive toutes les mesures faites chaque Tprise. Avec la DATA, on peut simuler le comportement de la fusée (en termes de rotation) dans le temps et on peut trouver une estimation de la dérivée de Wabs, qui sera le but de ce submodèle ou sub programme. En suite, le deuxième but de ce Sub modèle est établir la relation fondamentale de proportionnalité entre la dérivée de Wabs (qui donne l'allure du changement de vitesse de rotation de la fusée) et le paramètre alpha, qui changera la loi une fois que la dérivée change aussi. **N.B.** : ne pas faire attention aux lignes de retour sur l'origine



Entrées :

-Wabs

Sorties :

-derivWabs

-alpha

Donc la loi c'est basiquement de la forme : $\alpha = k(\text{derivWabs})$

D'ou il faut aussi trouver une façon de tracer la dérivée :

$$\text{Wabs} = (\text{Wabs}(t) + \text{Wabs}(t + \text{Deltat})) / \text{Deltat}$$

K est une constante de proportionnalité, en unités de dérivée⁻¹, comme ça le paramètre alpha reste adimensionnel. On verra après que K est facilement trouvable.

VIII - La vidéo :

VIII.1.Principe de fonctionnement :

Le choix de l'appareil photo n'a pas été facile. Nous avons en premier lieu choisi un appareil photo numérique avec option film. Le déclenchement de celui-ci devait se faire avec un électro-aimant et un accéléro-contact. Mais nous nous sommes aperçu que celui-ci mettait en veille au bout de quelques minutes. Pour le remettre en fonction il faudrait une première impulsion, puis une deuxième pour commencer l'enregistrement vidéo. Nous avons donc changé de type d'appareil. Le nouvel appareil photo numérique a une capacité de film d'environ 1h30 en très basse résolution. La mise marche de celui-ci a été fait manuellement juste avant la mise en rampe de la fusex. Ceci nous laissait largement le temps d'effectuer la mise en rampe, l'évacuation de l'aire de lancement, d'aller à la tente de mise à feu et de filmer le vol complet.

VIII.2. Le film :

Après le vol nous avons récupéré l'appareil (intact) et extraire la vidéo au format « .wmv ». Nous avons pu constater le bon ou le mauvais fonctionnement de toutes nos expériences. Voir conclusion.

IX - Procédures de sécurité :

IX.1. Les Phases :

Les sécurités porteront sur les différentes phases du vol et l'atterrissage:

✓ Le vol est composé en trois étapes:

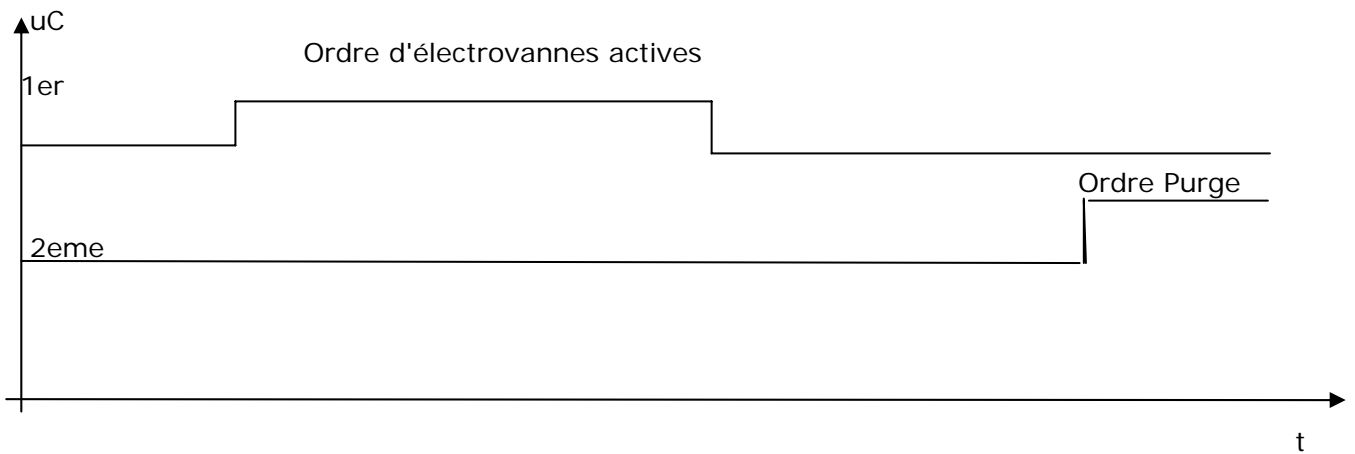
1. Phase de propulsion
2. Phase d'asservissement
3. Descente et fin de vol

Le système de commande des EV n'est actif que pendant la phase d'asservissement, et on le désactivera donc pendant la phase de descente.

✓ Au sol:

Après l'atterrissage il restera de l'air sous pression dans le réservoir. Nous devons donc le purger complètement.

↳ Signal du Microcontrôleur « Tempos » :



IX.2. Montage du système dans le fusex :

Le montage du système mécanique d'asservissement reste à définir mais nous avons déjà repéré les points principaux :

- la bague de l'ogive de la fusée sera faite de telle manière que la bouteille HP puisse être fixée dessus. Nous avons prévu de la place pour mettre des vis de serrage pour fixer le réservoir sur la bague, mais nous sommes en train de réfléchir sur une solution supplémentaire.
- La tuyauterie HP et le détendeur seront fixés à la structure mécanique de la fusée afin de supprimer les effets négatifs du poids notamment pendant le décollage.
- Nous avons prévu une sortie facilement accessible pour le remplissage de la bouteille, de même pour l'accès aux deux vannes manuelles HP.
- Le manomètre HP sera placé à un endroit visible.

IX.3. Remplissage du réservoir HP :

Matériel utilisé pour le remplissage :

- bouteille de plongée
- tuyau flexible HP

✓ **Bouteille de plongée** : Bouteille de plongée de 10L. Nous avons emprunté une bouteille en fonctionnement du club de plongée de notre école. La bouteille est certifiée pour une pression d'utilisation de 200 bars.

Cette même bouteille sera ramenée à la campagne de lancement afin de pouvoir effectuer le remplissage sur place (celui-ci est prévu dans la tente des clubs, juste avant la mise en rampe).

✓ **Tuyau flexible HP**: tuyau flexible de 0.5m, pression d'utilisation maxi de 1380 bars. Sur une de ses extrémités le tuyau est équipé d'un raccord fileté (il se vissera dans l'entrée de remplissage du réservoir d'air de la fusée). Sur l'autre il est équipé d'un raccord qui lui permet de se brancher sur la bouteille de plongée. Il dispose de plus d'un système de purge pour évacuer l'air emmagasinée dans le tuyau après la fin du remplissage (équilibre des pressions).

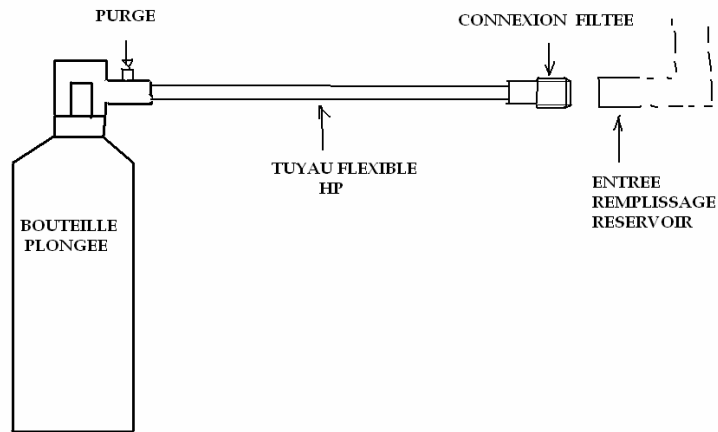


Figure 2 : branchement de la bouteille

X - Analyse fin projet :

Au vu de la complexité du projet et du volume important des résultats obtenus, à l'heure actuelle les membres du club sont toujours en train de faire une synthèse du projet. Pour des renseignements supplémentaires, visitez notre site web.

XI- Conclusion :

Le projet « Anaïs » a effectué un vol nominal le 28 septembre 2006. Malgré ce succès plusieurs points sont à revoir. Par manque de communication, nous avons négligé la phase de qualification sur « le terrain ». Nous avons donc négliger certains points importants comme :

- en mécanique : l'importance des fixations (flèche)
- en électronique : la durée de la minuterie qui est fonction des caractéristiques de la fusex.
-

XII - Le club :

CLES FACIL is one of the pioneers of the rocketry and amateur astronautics in France. Members of the association are essentially students from the National Institute of Applied Sciences (INSA) of Lyon. Founded in 1969, the club had acquired since its creation an important experience in sounding rocket design and construction. Many of our projects won some of the most prestigious aerospace prizes of the country such as the CNES quality prize, first GIFAS prize, and PHILIPS prize between others. The CLES FACIL is helping the young engineers in the fields of mechanics, electronics and computational engineering to be productive and professionals in their career.

XII.1. Photo de l'équipe:



XII.2. Coordonnées du CLES-FACIL :

CLES-FACIL au BDE INSA
20 Avenue Albert Einstein
69621 Villeurbanne CEDEX.

✉ : cles-facil@insa-lyon.fr

XII.3. Horaires de permanence (en période scolaire) :

- Mercredi de 20h30 à... tard,
- Samedi de 14h00 à... tard aussi.

XIII - Remerciements :

L'équipe du CLES-FACIL remerciement tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation du projet 2006 « Anaïs ». En premier lieu :

- L'INSA de Lyon, notre école
- Les départements de Génie Mécanique et Développement (GMD), Génie Electrique (GE), Informatique (IF), et Génie Energétique (GEN).
- Professeur Frédéric Théoule du laboratoire MiP2 (GMC)

Nous tenons à remercier également nos partenaires :

- Le CNES pour la mise en oeuvre de nos projets.
- Planète Sciences, pour l'organisation de la campagne de lancements, son soutien tout au long de l'année et ses actions pour les jeunes et la science.

A titre plus personnel, nous tenons à remercier :

- M. Bonseri: partie pneumatique haute pression
- M. Mezziani : partie peinture de la fusée

