

## 1) Historique

En 1992, Emmanuel Bouquet fait une colonie de vacances avec l'**ANSTJ** où il construit sa première mini fusée. En revenant à la maison, il souhaite refaire des fusées et crée l'**ASC** (Amilly Space Club). Avec des copains, il construit chaque samedi après-midi des mini fusées puis deux fusées expérimentales dans le sous-sol de ses parents. En 1995, le club devient une association loi 1901, l'**ASPAC**(Association Scientifique du PAYS Chartrain). Le club construit alors quelques ballons stratosphériques.

Avec les études, les membres du club se séparent dans toute la France et l'association entre en "sommeil". Pendant quelques années, il ne reste que quelques membres actifs dans le club, où une nouvelle activité est pratiquée : l'astronomie.

En 2001, le petit frère d'Emmanuel, Nicolas, fait une colo à Florac avec l'**ANSTJ**. En revenant à la maison, il reprend en main l'association et regroupe quelques copains. Trois mini fusées ont été lancées en 2001-2002, cinq en 2002-2003 et la fusée expérimentale "Diablo" est construite sur les deux années scolaires 2003-2004 et 2004-2005.

## 2) Situation actuelle

Au jour d'aujourd'hui, l'association est divisée en deux pôles : fusées et astronomie. Elle compte cinq membres : un président, un secrétaire et un trésorier, qui pratique un peu d'astronomie quand le temps beauceron le permet, et deux membres qui occupent les deux pôles du club, Nicolas et Damien.

Pour la construction de "Diablo", l'association a été financée à titre exceptionnel par le **Conseil Général** et le **Conseil Régional**, et l'association est en partenariat avec **Duracell**.

L'association participe régulièrement aux manifestations locales : Fête de la Science, expositions de modélisme...

La fusée "Diablo" a été lancée à la campagne nationale de la courtine 2005 et le club a remporté le "**prix Planète Sciences**" pour la démarche expérimentale et l'esprit club.

## 3) Présentation du projet de fusée expérimentale DIABLO, par Nicolas et Damien

### 3.1) Résumé

"Diablo" est une fusée expérimentale que nous avons construite sur 1 an et demi. Il s'agit de notre premier projet expérimental, après la construction précédente de quelques mini fusées. Le corps de la fusée est un tube de PVC de diamètre 125mm. L'ogive est en fibre de verre et les ailerons en bois. La structure interne est composée essentiellement d'alu et de plastiques pour des raisons de poids.

"Diablo" mesure environ 2m sans antenne et pèse 11.7Kg. Le logiciel de trajectographie donne une altitude de culmination de 950m au bout d'un temps de 12s, une vitesse maximale de 160m/s et une accélération maximale de 8g. Le propulseur utilisé est un Chamois. La qualification s'est passée sans difficultés puisque nous sommes arrivés sur la campagne avec une fusée terminée. Des contrôles électroniques ont ainsi pu être effectués dès la première soirée.



De gauche à droite : Damien, le mécanicien, Diablo, avant la peinture, et Nicolas, l'électronicien



Diablo à côté du R3 de la Courtine

### 3.2) Expériences

Nous avons remarqué au cours des différentes campagnes de lancement que les fusées avaient tendance à tourner sur un axe longitudinal. Nous voulions en savoir plus sur ce phénomène : quelle est la fréquence de rotation ? est-elle liée à l'aérodynamisme ? est-elle liée à la vitesse de la fusée ? L'expérience principale de notre fusée était de mesurer la vitesse et la rotation. Nous espérions savoir si rotation et vitesse étaient liées.

La vitesse a été mesurée par un tube de Pitot et la rotation par une photodiode (mesure de la luminosité incidente).

Comme expériences secondaires, "Diablo" a embarqué un enregistrement du son, une prise de photos et une transmission des phases de vol simplifiée (décollage / séquenceur à 0 / porte ouverte).

Le son a été enregistré à l'aide d'un circuit spécialisé, le ISD25120 de Winbond. Un appareil photo argentique automatique se chargeait de prendre des photos toutes les secondes dès le décollage.

Le noyau de la partie expérience est un PIC 16F876 programmé en assembleur qui se charge de récupérer les informations en provenance des capteurs et de les envoyer par une liaison série asynchrone à l'émetteur.

Nous utilisons une télémétrie numérique (modulation FSK) à 4800 bauds, ce qui permet de recevoir un peu plus de 100 trames par seconde : c'est important si on veut être sûr d'avoir assez de points pour tracer la sinusoïde correspondant à la rotation.

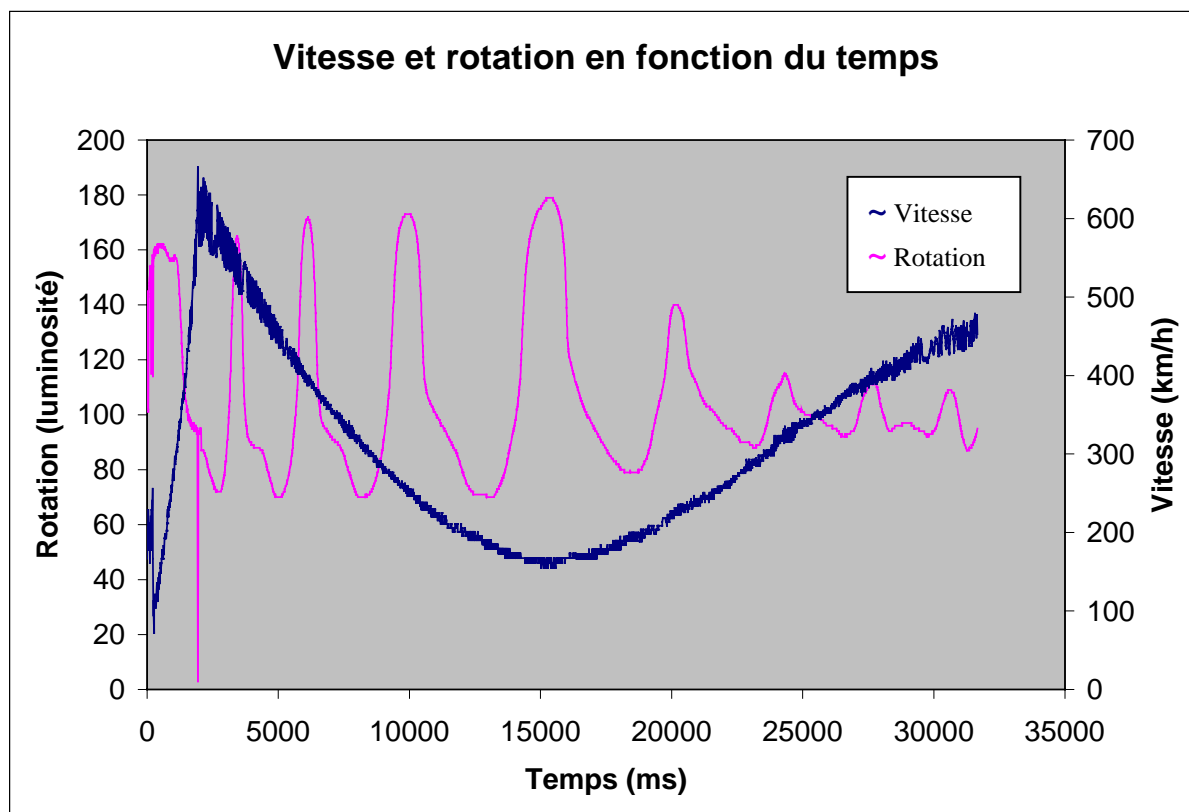
### 3.3) Système de récupération

D'un point de vue mécanique, un servomoteur actionne une goupille à culmination qui permet de libérer une porte latérale. La fusée retombe ainsi en douceur sous parachute.

D'un point de vue électronique, un PIC 16F872 (programmé comme il se doit, en assembleur) commande le servomoteur et gère un afficheur LCD. Un accélérocontact indique au microcontrôleur que la fusée a décollé. Il est vrai que l'utilisation d'électronique programmable réduit la fiabilité du système, mais cela permet de gérer bien plus facilement l'afficheur.

### 3.4) Lancement

Malheureusement, la fusée a fait un vol balistique, alors que nous croyons que la partie la plus fiable était de loin le système de récupération (pendant la phase de conception, tous les tests ont marché, y compris le premier). Pour compenser, nous avons pu récupérer une excellente télémétrie :



La porte latérale de la fusée ne s'est pas ouverte, de toute façon la fusée n'a pas été retrouvée, donc les photos et l'enregistrement du son ont été perdus.

On peut néanmoins tirer d'intéressantes conclusions du graphique précédent :

### 3.5) Rotation et vitesse

On remarque clairement sur le graphique que plus la vitesse est élevée, plus les périodes de la courbe de rotation sont courtes. Donc la fréquence de rotation et la vitesse de la fusée sont proportionnelles.

On peut en déduire que la rotation est due à un phénomène aérodynamique : ouvertures dans le tube, défauts d'usinage de la porte latérale ou positionnement des ailerons imparfait.

### 3.6) Fréquence de rotation

Sur les 32 secondes de vol (ascension + redescente), la fusée ne fait que 8 tours, ce qui représente une fréquence de rotation moyenne de 0.25Hz, avec une pointe à 0.5Hz quand la fusée atteint la vitesse maximale.

Ces vitesses de rotation sont relativement faibles par rapport à celles mesurées sur les autres fusées. Cela s'explique notamment par la méthode de fixation des ailerons. La plupart des clubs fixent leurs ailerons avec des équerres en alu vissées ou à l'aide de la virole du CNES ; l'avantage est la solidité et la simplicité, l'inconvénient est l'aérodynamisme. Nous avons opté pour un collage des ailerons à la fibre de verre, ainsi, même si le résultat est moins solide qu'avec des équerres en alu, on obtient un aérodynamisme quasi parfait.

### 3.7) Bruit sur la courbe de vitesse

On peut penser que la courbe de vitesse est brouillée par du bruit (provenant de l'émetteur). C'est ce que nous avons cru au début. Mais ce qui n'est pas logique, c'est que plus la fusée va vite, plus il y a de bruit, alors que l'électronique est conçue de telle manière que le bruit diminue avec la vitesse. De plus, la courbe de rotation ne semble pas parasitée, alors que le module (carte + câble) le mieux blindé est le tube de Pitot et le moins bien blindé est celui qui mesure la rotation.

Nous nous souvenons que l'antenne émettrice (qui servait de tube de Pitot) avait tendance à vibrer. Nous pensons que l'antenne s'est mise à osciller mécaniquement avec une amplitude proportionnelle avec la vitesse de la fusée (ce qui paraît logique). Cette hypothèse nous paraît plus probable que celle d'un parasitage dû à l'émetteur.

### 3.8) Paliers sur la courbe de rotation

En observant la courbe de rotation on note qu'au  $\frac{3}{4}$  des portions décroissantes du signal il y a un palier plus ou moins marqué. En comparant avec la courbe de vitesse, on remarque que :

- quand la fusée va vite, le palier est très net et commence à  $\frac{1}{4}$  de la courbe
- quand la fusée va lentement, le palier est plus discret mais il commence à  $\frac{1}{2}$  de la courbe

La première hypothèse est le fait (observé avant le lancement) que la photodiode n'est pas exactement centrée sur le trou dans le tube, et qu'un jeu d'ombre avec le soleil aurait créé ces paliers. Cette hypothèse a été écartée car la fusée est retournée pendant la descente. On aurait donc du observer les mêmes paliers, mais sur les portions croissantes de la courbe.

Un défaut électronique paraît peu probable vu que le problème paraît séquentiel et vu les fréquences faibles mises en jeu.

L'hypothèse que nous retenons est un défaut d'aérodynamisme sur la fusée (ce qui expliquerait au passage que les paliers semblent être liés à la vitesse) : un aileron moins bien (ou mieux) aligné que les autres, une ouverture dans le tube légèrement asymétrique, celle située vers le haut du tube servant à l'appareil photo par exemple.

### 3.9) Valeur moyenne de l'intensité lumineuse

Si on considère la moyenne de l'intensité lumineuse (courbe de la rotation), on voit qu'elle augmente légèrement jusqu'à culmination, puis diminue ensuite. Ce qui explique :

- que la luminosité est plus élevée en altitude
- et peut-être aussi que la fusée est de plus en plus inclinée : le capteur est face au soleil quand la fusée est horizontale, d'ailleurs le pic de luminosité est observé à culmination

### 3.10) Phases de vol

Cette partie est à la fois intéressante et subtile puisqu'elle permet de trouver des hypothèses sur les causes du balistique de la fusée, mais les données recueillies au sol sont tellement étonnantes qu'elles nous embrouillent encore plus.

Ce dont on est sûr, c'est que le séquenceur était bien allumé au décollage et que l'accélérocontact s'est bien enclenché au décollage.

Ce qui est troublant, c'est qu'à partir de 1.895s après le décollage et pendant 117ms l'ensemble de l'électronique de la fusée à littéralement dérailler. A savoir :

- à 1.934s, 3 trames ont été perdues
- juste après, on reçoit un "255" à la place de l'octet correspondant à la vitesse, ce qui est impossible puisque 255 est réservé à la synchro. Ce "255" correspond au pic de vitesse sur le graphique
- sur la même trame, l'octet correspondant à la luminosité est à "3" alors qu'il était à 94. Ce "3" correspond au pic vers le bas sur la courbe de rotation
- enfin, le séquenceur envoie des infos incohérentes à la carte expérience. En principe, il envoie les infos "fusée décollée" et "séquenceur à 0". Il est impossible d'avoir l'info "séquenceur à 0" sans "fusée

décollée". Pourtant c'est ce qui arrive, les 2 bits correspondant à ces infos forment successivement toutes les combinaisons imaginables.

Ce bug général de l'électronique de la fusée (rappelons que séquenceur et expérience sont isolés électriquement par des opto-coupleurs) laisse penser que le problème vient de la carte affichage / interrupteurs, d'où un fil du séquenceur a dû se dessouder et aller se balader vers les soudures de la partie expérience. Ce qui explique une incohérence totale des données reçues pendant un court instant et le plantage du séquenceur.

### 3.11) Conclusion sur l'expérience

Malgré le dysfonctionnement du système de récupération, on peut affirmer que l'expérience a parfaitement fonctionné, vu d'une part la qualité des courbes reçues et d'autre part le nombre d'éléments que nous avons pu en tirer.

Dans un sens, nous avons récupéré beaucoup plus de données, le parachute étant censé s'ouvrir au bout de 12 secondes, maintenant nous avons 32 secondes de mesures.

La courbe de vitesse permet de distinguer nettement l'accélération, la décélération, la culmination et enfin la réaccélération.

### 3.12) Conclusion sur le projet

"Diablo" fut notre premier gros projet. D'un point de vue pédagogique, il fut très intéressant car nous n'avons eu quasiment aucune aide de l'extérieur et nous n'avions que très peu de connaissances : la phase de conception s'est faite pendant notre 1<sup>ère</sup> au lycée (1<sup>ère</sup> STI - Génie des Matériaux pour Damien et 1<sup>ère</sup> S - Sciences de l'Ingénieur pour Nicolas).

- Nicolas : " Je n'avais jamais programmé quoi que ce soit avant, le projet m'a permis d'apprendre à programmer les PIC en assembleur."

## **4) Perspectives d'avenir**

D'une certaine manière, le vol balistique est positif pour l'avenir du club, cela nous a motivé pour faire une fusée "encore mieux" l'année prochaine alors qu'avant le lancement, nous nous étions mis d'accord pour arrêter le club une fois la fusée lancée.

Durant l'année scolaire 2005-2006, nous pensons construire une fusée expérimentale propulsée par le petit propulseur cette fois, l'Isard. Cela va nous obliger à optimiser la mécanique pour diminuer la masse finale. Sur "Diablo", le poids n'a pas été le point privilégié...

Voici les améliorations que nous pensons apporter à la prochaines fusée, avec, entre parenthèses, le paramètre optimisé :

- utilisation de matériaux composites pour le tube plutôt que du PVC (poids)
- construction tube - ogive en un seul élément (poids, rigidité, aérodynamisme)
- intégration et fond moteur relié par des profilés (rigidité, solidité)
- cartes électroniques dans des boîtiers blindés (bruit, fiabilité)
- liaisons inter-cartes strictement numériques (bruit)
- architecture bus (bruit, qualité)
- convertisseurs analogiques numériques à côté des capteurs (bruit)
- convertisseurs analogiques numériques à 12 bits au lieu de 8, références de tension de précision (précision des mesures).

Nous pensons embarquer sur cette fusée une mesure d'accélération, d'altitude, de vitesse, de rotation, une transmission complète des phases de vol et un capteur de culmination.

Le but principal sera de vérifier la fiabilité des valeurs d'accélération, d'altitude et de vitesse données par le logiciel de Planète Science. Nous pourrons aussi, d'après la vitesse mesurée, déduire l'accélération théorique et la comparer à la mesure du capteur d'accélération, et vice-versa.

Le capteur de rotation servira cette année à vérifier la qualité d'élaboration du fuselage et des ailerons, et nous profiterons de la présence d'un capteur de vitesse pour confirmer la relation "fréquence de rotation / vitesse" établie grâce au projet "Diablo".



Diablo à côté de la rampe, à H-25 min environ