

K-ZAR Espace

Fusée expérimentale KLOVIS

Sommaire:

Présentation générale.....

Mécanique: Description des étages:

- Coiffe.....
- Case parachute principal.....
- Equipements électroniques principaux....
- Séparation transversale.....
- Case vidéo.....
- Partie éjectée inférieure.....

Chronologie:

- Détail des opérations.....

Montage:

- Position des perçages.....
- Opérations de montage.....

Tenue mécanique:

- Résistance des ailerons.....
- Tenue en compression de la porte latérale....
- Bilan de masse.....
- Caractéristiques de vol.....

Ralentisseur:

- Estimation des vitesses de descente sous parachute....
- Résistance à l'ouverture....

Electronique:

- Synoptique.....
- Carte principale.....
- Carte séquenceur.....

Présentation générale

Description sommaire du vecteur utilisé:

Le projet "KLOVIS" du K-ZAR pour l'année 1996, est une fusée expérimentale ("Fusex") utilisant un propulseur Chamois, et à peau en aluminium.

Elle intègre 4 expériences, la principale alliant mécanique et électronique (Mesure de l'éloignement relatif de deux parties de la fusée, séparées à culmination). La seconde est une modernisation d'une expérience embarquée à bord de la fusex Ker Ô Zen à savoir la prise de vues photographiques en altitude. Fort du succès du module photo de l'année dernière, le club souhaite cette fois filmer l'aire de lancements durant la descente de la fusée à l'aide d'une caméra vidéo CCD. Il sera par ailleurs procédé à la validation d'un de déclenchement dynamique de l'ouverture du parachute du corps principal de la fusée à l'aide d'un détecteur de culmination à mercure. Enfin, les traditionnels capteurs de phases de vol seront disséminés dans tout le corps de la fusée pour connaître l'état des différents éléments au cas où l'observation visuelle ne suffirait pas.

Choix du lanceur:

Le K-ZAR s'intéresse non seulement aux Fusées, mais également à l'histoire de France. En effet, 1996 commémore le 1500^e anniversaire du baptême de Clovis. Le club souhaite ainsi célébrer cet événement à sa manière, le C du chef des francs ayant été transformé en K, tradition du club oblige.

Technologiquement, le choix d'une peau aluminium a été dicté par les très bonnes caractéristiques mécaniques de ce dernier, et le propulseur Chamois est, du moins pour cette année, le seul modèle permettant la mise en oeuvre de lanceurs multi-expériences. (Le Caribou nécessite une conception particulière encore jamais expérimentée par le club et n'est par ailleurs non disponible pour 1996, pour des raisons budgétaires).

Le K-ZAR tient par ailleurs à tirer les leçons de l'année précédente en orientant les efforts de conception dans 2 directions principales:

- Diminution du poids de la fusex.
- Aisance de l'intégration et accessibilité des éléments.

Choix technologiques

Matériaux utilisés:

- L'aluminium, parce qu'il représente un compromis poids/résistance mécanique très intéressant, a été majoritairement utilisé, dans des versions facilement usinables (AG3-AU4G) pour la confection de la peau et des pièces mécaniques.
- Toutefois, certaines pièces, parce qu'elles doivent répondre à des caractéristiques précises, nécessitent l'utilisation d'autres métaux:
 - Les verrous pyrotechniques seront réalisés en laiton, pour leur conférer une solidité suffisante, ainsi que peu de frottement lors du glissement des différentes pièces.
 - Les ailerons sont en aluminium, pour éviter toute flexion ou déformation.
 - Les pièces mobiles nécessitant un frottement minimum seront réalisées en Bronze.
- La coiffe, pour des raisons de facilité de réalisation de forme (Moulage) est en fibre de verre.
- Toutes les pièces peu sollicitées mécaniquement ou devant être légères, ont été réalisées en PVC.

Ouvertures latérales dans la peau:

- Nous pratiquons une ouverture latérale dans la peau de la fusée (Pour l'éjection du parachute). Conscient du fait que cette ouverture fragilise sensiblement la structure, nous l'avons placée dans la partie supérieure, qui ne supporte qu'une faible fraction du poids de la fusée, soumise à l'accélération.
- Une 2ème ouverture, de petites dimensions, sera pratiquée au niveau de l'étage "électronique ", pour permettre d'accéder aux interrupteurs et témoins de commande regroupés sur une petite carte rigide. Cette ouverture ne fragilise quasiment pas la structure et ne nécessite pas d'être obturée par une porte, son étanchéité étant assurée par la présence de la carte portant les interrupteurs.

Participants au projet:

- **FAGOT Sylvain**, 4ème année Génie Mécanique et Automatique,
 - Responsable du projet,
 - Responsable Mécanique (conception, fabrication)
 - Recherche de sponsors.
- **ROMMELUERE Patrick**, 4ème année Génie Physique,
 - Responsable du club,
 - Responsable de l'expérience sur le déclenchement dynamique de l'ouverture du parachute principal,
 - Usinages,
 - Sponsors et Présentation.
- **JAMIN Antony**, 4ème année Génie Electrique,
 - Responsable Electronique,
 - Sponsors.

- **MENARD** Arnaud, 4ème année Génie Electrique,
 - Electronique,
 - Recherche de sponsors.

- **DINAND** Yann, 3ème année Génie Electrique,
 - Electronique,
 - Usinages.

- **BRIAND** Cédric, 2ème année,
 - Conception et fabrication mécanique.
 - Parachutes.

- **LEFEUVRE** Florian, 2ème année,
 - Conception et fabrication mécanique.

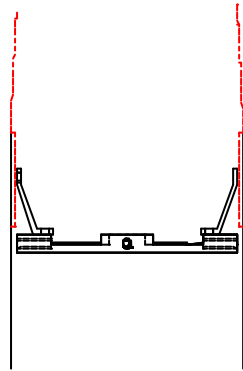
- **PENVEN** Anne, 3ème année,
 - Coiffes.

Description mécanique

Coiffe

L'utilisation de coiffes paraboliques en fibres de verre est une habitude du club qui sera encore suivie cette année. Ces coiffes nous ont toujours apporté un aérodynamisme et une solidité suffisante, en plus de leur capacité à loger les éléments supérieurs de la fusée. Toutefois, pour correspondre au critère de légèreté que le club s'est imposé cette année, le diamètre intérieur de la fusée a été limité à 96 mm. Cette cote nous oblige à réaliser un nouveau moule en fibre et un nouveau support de moule en bois. Si la première opération (qui est en fait la seconde chronologiquement) ne pose pas de problème aux adeptes des matériaux du club, la seconde (le tournage d'un cylindre de bois de dimensions importantes) a été confiée à un atelier de tournage professionnel.

La coiffe en fibres de verre contiendra l'ensemble de la partie "émettrice" de l'électronique, à savoir:



- La partie inférieure comporte un cylindre permettant le guidage du " cône " dans la peau.

- Un trou (**Erreur! Source du renvoi introuvable.** 4 mm) a été percé à l'extrémité pour laisser dépasser le brin rayonnant de l'antenne.

- Elle contient: - L'antenne en laiton
 - Le plan de masse métallique et son support PVC où se trouve la prise pour relier émetteur à l'antenne.

- L'émetteur et la carte modulatrice fixés sur leur support métallique.

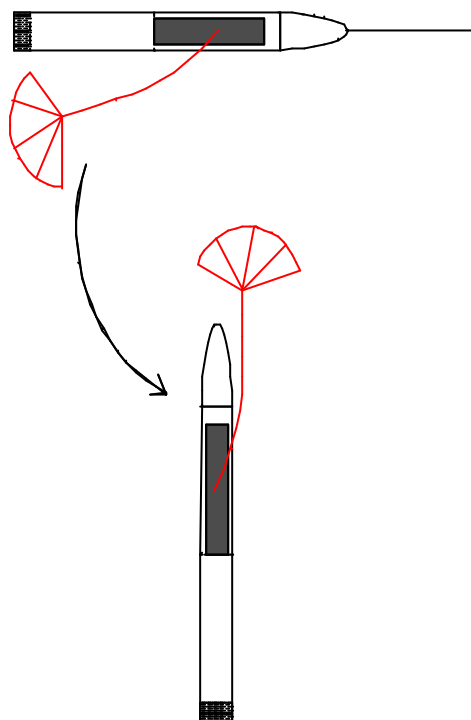
- 8 Piles 1.5V

- Sa fixation est assurée par montage serré dans la peau, puis par blocage en translation par 2 ergots à travers les parois.

Case parachute principal

Contraintes:

Le parachute principal est destiné à freiner la partie supérieure de la fusée lors de sa descente. En plus des contraintes habituelles (Solidité, Dimensions, Aisance d'ouverture..) auxquelles il doit répondre, son attache doit être correctement étudiée pour minimiser les effets du retournement du corps de la fusée:



- A la fin de la phase ascendante, l'ouverture de la porte parachute entraînera ce dernier vers l'arrière de la fusée, comme indiqué par le schéma ci-contre.

- Lors de l'ouverture du parachute, la position de l'attache par rapport au centre de gravité de la fusée, va entraîner un retournement de l'ensemble du corps, pour atteindre, après des oscillations, la position d'équilibre de descente indiquée.

En plaçant l'attache du parachute approximativement au milieu de la case, on minimise le danger de tranchage des sangles par les arrêtes du tube.

- Blocage en rotation et translation du cadre supportant les équipements électroniques.

Equipements électroniques principaux et détecteur de culmination

Principe:

Le but de cette expérience est de détecter la culmination de la fusée, afin de déclencher l'ouverture du parachute par un autre moyen qu'une minuterie classique.

Pour cela, une première version utilisait une bille de mercure, placée dans un tube Plexiglas parallèle à l'axe longitudinal de la fusée, qui était sensée, lors du basculement horizontal de cet axe, assurer le contact électrique entre 2 électrodes métalliques du circuit de commande d'explosion du gévelot.

Fonctionnement mécanique:

Le raisonnement, qui, a priori, conduit à penser que la bille de mercure (Initialement au fond du tube) va couler librement lors du basculement de la fusée pour atteindre les électrodes, est très erroné: Il faut étudier assez précisément le comportement balistique de toute la fusée pour prévoir le mouvement de la bille.

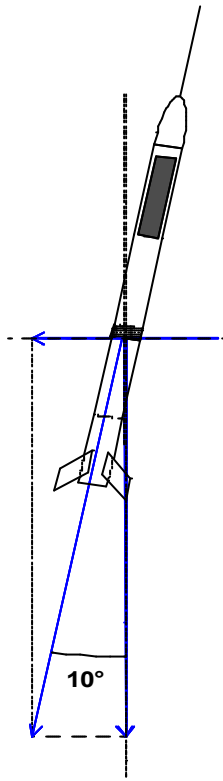
La première conclusion à nuancer est celle qui amène à penser que la bille va naturellement se déplacer dans le tube lors du basculement. En effet, à partir de la fin de la phase propulsée, l'ensemble des éléments de la fusée, y compris la bille, sont en phase balistique, c'est à dire uniquement soumis à l'attraction de la pesanteur. Ainsi, la bille n'a aucune raison de descendre plus vite que la fusée, autrement dit de se déplacer relativement par rapport à elle. On risque bien d'avoir une bille immobile dans son tube pendant tout le vol jusqu'à écrasement!

Pour permettre à la bille de "tomber" plus vite que la fusée, il faut penser au fait que celle-ci est freinée par la résistance de l'air. La bille de mercure ne subit pas les influences de ce vent relatif, et si on prend soin en plus de faire le vide dans le tube, on peut espérer, en comptant sur le faible frottement du mercure sur les parois du tube, que la bille se déplacera suffisamment vite par rapport à la fusée.

Le principal problème vient en fait de la phase ascendante de la fusée. La résistance de l'air agit aussi lors de la montée. En dépouillant les courbes du radar Doppler sur le vol de KerÔZen (de taille comparable à KLOVIS), on tire les renseignements suivants:

- La fusée passe linéairement de 114.4 m/s à 106.6 m/s en 0.696 secondes, soit une décélération de -10.32 m/s^2 . Si on considère que la fusée conserve son inclinaison de 10° par rapport à la verticale, la projection de cette accélération sur des axes horizontaux et verticaux donne:

- La bille de mercure, elle, ne subit que l'accélération de la pesanteur verticale de -9.81 m/s^2 . En projetant cette accélération sur l'axe de la fusée, on obtient l'accélération relative de la bille par rapport à la fusée, soit: $-9.81 + 10.32 = 0.51 \text{ m/s}^2$.



En intégrant deux fois cette accélération, le déplacement de la bille par rapport au bout d'un temps T compté depuis la fin de phase propulsée est donné par $0.255 \times T^2$ (En mètres).

Ceci fait prendre conscience que, quelque soit la longueur du tube Plexiglas choisi, la bille se retrouvera toujours au bout de 8 secondes (Temps de culmination) en haut du tube (A moins d'avoir une fusée de 16m de long!).

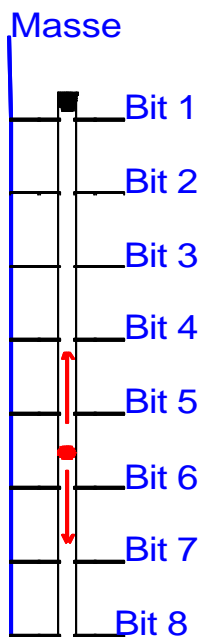
Ces estimations (Très imprécises et difficiles à vérifier à priori) nous conduisent à penser qu'il vaut mieux limiter cette expérience à son côté informatif.

Une première idée avait été d'autoriser le déclenchement de l'ouverture du parachute par ce système, en limitant l'intervalle de temps de déclenchement par une fenêtre temporelle très courte (Commandée électroniquement), mais le résultat (qu'il y ait déclenchement ou pas) n'est pas forcément caractéristique du bon fonctionnement de l'expérience.

Nous optons plutôt pour un déclenchement traditionnel de l'ouverture du parachute (Minuterie électronique), qui permet de reporter les efforts de conception sur l'amélioration de la précision de mesure de position de la bille, en plaçant non plus un ou deux plots détecteurs, mais une dizaine.

On choisit de repérer une position de la bille parmi huit possibles (Le nombre huit a été retenu pour l'aisance de stockage sur un octet ultérieurement).

Les caractéristiques des plots de contact (Forme, dimensions, espacements relatifs) seront étudiées pour permettre une bonne détection du passage de la bille, en particulier:



- Eviter de freiner ou de désagréger la bille lors de ses déplacements.

- Assurer un bon positionnement des plots pour que la détection se fasse quelle que soit la forme de la bille dans le tube (Cette variation de forme est déjà fortement réduite par le choix du mercure liquide).

La fixation du tube le long de la paroi métallique sera démontable pour permettre de multiples installations, et les fils de connexion seront regroupés dans une gaine allant jusqu'à la carte d'acquisition.

L'extrême difficulté de réaliser un contact de masse dans le tube en Plexiglas nous a conduits à lui préférer un tube en laiton (conducteur), mais c'est l'impossibilité d'avoir alors un état de surface satisfaisant (pour ne pas fragmenter la bille de mercure) nous fait finalement choisir une version avec bille rigide passant devant des fourches optiques infrarouge du commerce.

Les circuits imprimés sont montés sur un cadre constitué de profilés aluminium (Longueur totale 45 cm), vissés en bas par vissage dans la partie fixe de la séparation transversale inférieure et guidés en haut par des rails collés dans la séparation supérieure.

La faible section de la fusée nous oblige à concevoir tubulairement l'intégration des piles alimentant l'émetteur vidéo (5 piles 3V CR123 selon le calcul de puissance ci-dessous); elles seront placées dans un tube Plexiglas attaché à l'intérieur du cadre de support.

Séparation transversale

But et Principe de l'expérience:

L'expérience mécanique principale de "KLOVIS" consiste à mesurer l'éloignement relatif de deux parties de la fusée séparées à culmination. Cette expérience impose la conception d'un système de séparation transversale performant répondant aux deux critères suivants:

- Rigidité de l'ensemble avant culmination (Limitation de la flèche, Blocage en rotation, Blocage en translation).
- Fiabilité de déclenchement (Séparation franche permettant une bonne mise à l'air de l'objectif de la caméra d'un coté et une bonne prise au vent du parachute la partie inférieure).

Ces problèmes sont résolus par les goupilles rentrantes logées dans des alésages (Voir plan). Celles-ci viennent en appui sur des pièces fixes par rapport aux peaux supérieures et inférieures. Toutefois, les cotes doivent être respectées impérativement, avec des tolérances précises.

La séparation est faite quand le gévelot explose. En effet, la l'éjection du capot métallique du gévelot entraîne la rotation de la pièce tournante d'éjection (grâce au ressort spiral simple à sa base). Les goupilles en appui sur des ressorts sont donc éjectées à l'intérieur du système de séparation transversale, ce qui provoque la séparation de la partie haute, intermédiaire, et basse de la fusée. La pièce intermédiaire, en se libérant, entraîne le parachute de la partie "propulseur". Ces actions mécaniques seront intégrées aux phases de vol. Par ailleurs, cette séparation sera filmée, en temps réel, car la caméra CCD (Voir ci-dessous) embarquée se trouve juste en dessous du système de séparation.

Case Vidéo

Description de l'expérience Vidéo:

L'expérience mécanique principale (Mesure de l'éloignement relatif des 2 parties séparées) va aussi servir de support à l'expérience vidéo de KLOVIS, à savoir la retransmission d'images prises en altitude, par une caméra CCD, en temps réel.

Pour limiter l'encombrement de cette partie de la fusée (intégrant déjà le système de séparation et le récepteur AM), ainsi que les difficultés de traitement d'un signal vidéo, notre choix c'est porté sur une mini caméra CCD noir et blanc fournissant un signal vidéo standard et un émetteur AM 600 MHz au standard SECAM L (directement recevable par un téléviseur classique).

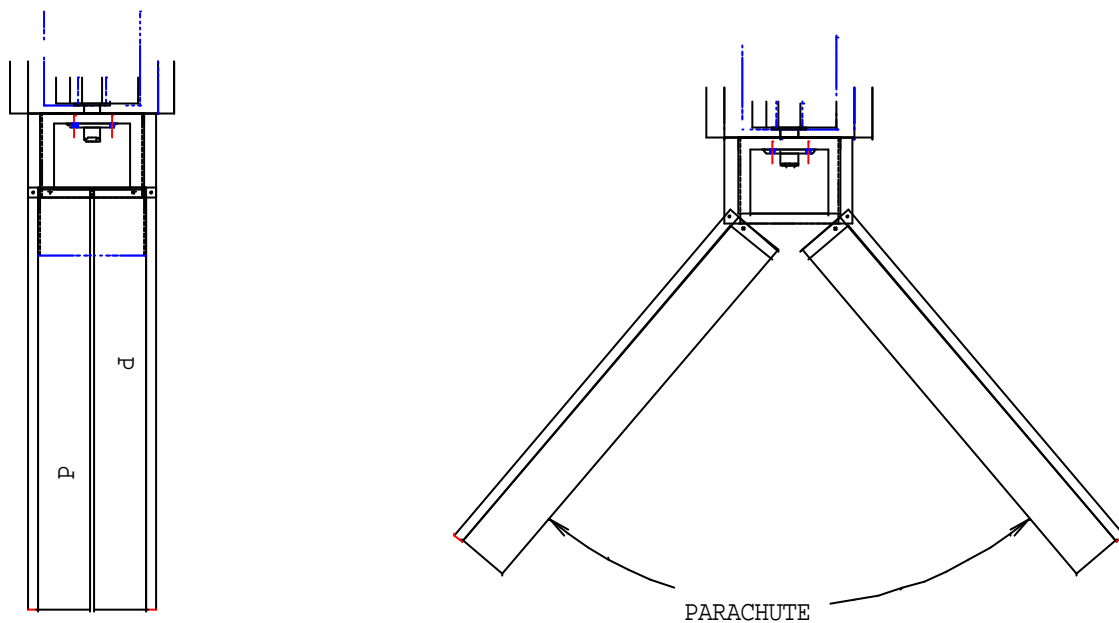
NB : Voir le schéma synoptique et les documents concernant le microprocesseur.

Partie éjectée inférieure

- Container de parachute:

Pour éviter tout risque d'emmêlement de la toile dans une des parties du système de séparation, ce parachute (Plus petit, car destiné à freiner une masse moindre) est confiné dans un container PVC formé de 2 demi-cylindres forcés à se séparer au moment du largage.

Le container oblige, par l'intermédiaire des équerres en PIC, le parachute à sortir. Il reste solidaire de la partie basse pendant la descente.



- Partie émettrice du signal AM:

L'émission d'un signal AM sera réalisée par une carte miniature, placée juste au dessus de la bague de poussée, alimentée par une pile 9V, et dont la commande et le contrôle seront assurés par un interrupteur manuel et une diode électroluminescente accessibles de l'extérieur par l'intermédiaire de perçages dans la peau.

- **Bague de poussée:** Nous avons choisi d'intégrer la bague de poussée dans le support du container de parachute en réalisant un fond parfaitement plan, taraudé M10 en son centre, servant d'appui du propulseur. Elle sera fixée à la peau par 8 vis.

- **Bague de rapport:** Nous avons l'intention de réaliser une simple bague aluminium (**Erreur! Source du renvoi introuvable.** ext=96 **Erreur! Source du renvoi introuvable.** int adapté au propulseur, avec présence d'un faible jeu pour faciliter l'introduction du propulseur par le pyrotechnicien), vissée sur la peau (fixations décalées de 45° par rapport à celles des ailerons) et qui a pour but de maintenir le propulseur exactement dans l'axe de la fusée. Aucun effort ne lui est transmis. L'espace restant étant occupé par l'air , le danger de surchauffe est ainsi écarté. Une telle bague s'est avérée inutile après fixation des ailerons, les rivets assurent très bien la fonction de guidage.

- **Ailerons:** Leur forme permettra la mise en appui de la fusée sur les 4 extrémités inférieures aplaties pour assurer la stabilité. En ce qui concerne l'aérodynamique des empennages, bien que ce soit assez insignifiant sur une épaisseur de 3 mm, on peut arrondir le bord d'attaque (Haut de l'aileron) et effiler le bord de fuite (Bas de l'aileron).

Chronologie de mise en oeuvre

Lancement sur Menhir

Voir le détail de chaque opération numérotée sur feuille séparée.

Abréviations des lieux:

TC = Tente Clubs

R = Zone Rampes

P = Zone Pyro

Décompte	Durée	Lieu	Opération	Validée
H- 120'	30'	TC	Montage du système de séparation transversale. (1)	
H- 90'	7'	TC	Talcage, pliage et intégration du parachute principal.	
H- 83'	5'	TC	Test du séquenceur (3)	
H- 78'	5'	TC	Test de la carte principale (2)	
H- 73'	4'	TC -> R	Déplacement TC -> R	
H- 64'	3'	R	Orientation de la rampe en gisement	
H- 61'	2'	R	1ère évacuation (Restent 4 membres de club +Pyro+ Talkie Walkie)	
H- 59'	5'	Camion télèm.	Chargement en mémoire du programme d'acquisition des données. (4)	
H-55'	4'	R	Essai télémessure hors rampe (5)	
H-51'	10'	R	Calibration de la rampe + Essai compatibilité rampe.	
H- 41'	5'	R	Mise en place du propulseur	
H- 36'	5'	R	Mise en place de la jupe supportant les ailerons.	
H-31	1'	R	Retirer les sangles velcro	
H- 30'	2'	R	Mise en rampe de la fusex	
H- 28'	4'	R	Essai télémessure dans la rampe (5)	
H- 24'	10'	R	Orientation de la rampe en site	
H- 14'	1'	R	Seconde évacuation (Restent 1 membre de club + Pyro)	
H- 13'	5'	R	Mise en place de la canne d'allumage	
H- 8'	1'	R	Mise en fonctionnement de la fusex (6)	
H- 7'	4'	R	Déplacement R -> P	
H- 3'	3'	R	Raccord de la ligne de mise à feu (par le pyrotechnicien)	

Lancement sur Obelix

Voir le détail de chaque opération numérotée sur feuille séparée.

Abréviations des lieux:

TC = Tente Clubs

R = Zone Rampes

P = Zone Pyro

Décompte	Durée	Lieu	Opération	Validée
H- 107'	30'	TC	Montage du système de séparation transversale. (1)	
H- 77'	7'	TC	Talcage, pliage et intégration du parachute principal.	
H- 70'	5'	TC	Test du séquenceur (3)	
H- 65'	5'	TC	Test de la carte principale (2)	
H- 60'	4'	TC -> R	Déplacement TC -> R	
H- 56'	2'	R	Orientation de la rampe en gisement	
H- 54'	2'	R	1ère évacuation (Restent 4 membres de club +Pyro+ Talkie Walkie)	
H- 52'	5'	Camion télèm.	Chargement en mémoire du programme d'acquisition des données. (4)	
H-47'	4'	R	Essai télémessure hors rampe (5)	
H-43'	10'	R	Calibration de la rampe + Essai compatibilité rampe.	
H- 33'	5'	R	Mise en place du propulseur	
H- 28'	5'	R	Mise en place de la jupe supportant les ailerons.	
H-23	1'	R	Retirer les sangles velcro	
H- 22'	2'	R	Mise en rampe de la fusex	
H- 20'	4'	R	Essai télémessure dans la rampe (5)	
H- 16'	1'	R	Seconde évacuation (Restent 1 membre de club + Pyro)	
H- 15'	5'	R	Mise en place de la canne d'allumage	
H- 10'	2'	R	Orientation de la rampe en site	
H- 8'	1'	R	Mise en fonctionnement de la fusex (6)	
H- 7'	4'	R	Déplacement R -> P	
H- 3'	3'	R	Raccord de la ligne de mise à feu (par le pyrotechnicien)	

Détail des opérations numérotées:

Note prévisionnelle: Pour toute manipulation concernant le séquenceur, s'assurer que l'interrupteur des gévelots est sur la position **Sécu** avant de basculer l'interrupteur du séquenceur sur **ON**.

(1) Montage du système de séparation transversal:

- Réunir les éléments.
- Monter la caméra sur la pièce supérieure.
- Assembler à la main les 2 pièces massives du système de séparation.
- Placer les 3 goupilles et leurs ressorts dans leurs perçages.
- Visser les 3 vis de montage dans les goupilles.
- Préparer la goupille pyrotechnique.
- Mettre la pièce tournante et son axe en position.
- Tirer vers l'extérieur sur les 3 vis et ajuster la position de la pièce tournante. La bloquer à l'aide de la goupille pyrotechnique.
- Talquer, plier et intégrer le parachute inférieur dans les deux demi-containers PVC.
- Placer le container entre les deux tiges d'ouverture.
- Faire coulisser l'ensemble dans le tube intermédiaire et visser la pièce inférieure à la peau.
- Raccorder électriquement le verrou et la caméra à l'électronique HORS TENSION.
- Monter le support de cartes électroniques dans les rainures latérales de la pièce supérieure.
- Visser la pièce supérieure à la peau.

2) Test de la carte principale:

- Faire une demande d'essai d'émission à 36 MHz.
- Vérifier la présence du Jack et s'assurer que l'interrupteur des gévelots est sur la position **Sécu**.
- Mettre l'interrupteur du **Séquenceur** sur **ON**.
- Attendre l'extinction des 2 leds de temporisation au bout de 4 secondes.
- Attendre 20 secondes durant lesquelles rien ne doit se passer.
- Mettre l'interrupteur des gévelots sur la position **Armé**.
- Mettre l'interrupteur d'émission 36 MHz sur la position **ON**.
- Mettre l'interrupteur **CPU+Récep** sur **ON** et noter le nombre de signaux sonores émis:
 - Un signal: **CPU** en fonctionnement.
 - Deux signaux: Porte parachute et système de séparation en place.
 - Trois signaux: Confirmation de la réception du signal 36 MHz.
 - Quatre signaux: Séquenceur en position armée.

Les quatre signaux sont nécessaires à la validation du test.

- Mettre l'interrupteur des gévelots sur la position **Sécu**.
- Mettre l'interrupteur du **Séquenceur** sur **OFF**.
- Mettre l'interrupteur **CPU+Récep** sur **OFF**, faire les réglages si la totalité des 4 signaux n'ont pas été entendus. Reprendre le test si nécessaire.

(4) Chargement en mémoire du programme d'acquisition des données:

(3) Test du séquenceur:

- Vérifier la présence du Jack et s'assurer que l'interrupteur des gévelots est sur la position **Sécu**.
- Mettre l'interrupteur du **Séquenceur** sur **ON**.
- Attendre l'extinction des 2 leds de temporisation au bout de 4 secondes.
- Attendre 20 secondes durant lesquelles rien ne doit se passer.
- Arracher le Jack. **Ne pas le perdre par la suite**.
- Vérifier l'allumage immédiat de la Led **Initialisation** , le clignotement immédiat de la led de temporisation du coupure ainsi que les allumages successifs, durant 2 secondes, des 2 leds de temporisation au bout de leurs temps respectifs prévus.
- Mettre l'interrupteur du **Séquenceur** sur **OFF**.
- Rebrancher le Jack.

(5) Essai de télémesure:

- Faire la demande d'essai d'émission 136 MHz.
- Vérifier la présence du Jack et s'assurer que l'interrupteur des gévelots est sur la position **Sécu**.
- Mettre l'interrupteur du **Séquenceur** sur **ON**.
- Attendre l'extinction des 2 leds de temporisation au bout de 4 secondes.
- Attendre 20 secondes durant lesquelles rien ne doit se passer.
- Mettre l'interrupteur **CPU+Récep** sur **ON** et noter le nombre de signaux sonores émis:
 - Un signal: **CPU** en fonctionnement.
 - Deux signaux: Porte parachute et système de séparation en place.

Seuls 2 signaux (au lieu de 4) sont ici nécessaires à la validation du test.

- Mettre l'interrupteur **Modu+Colibri** sur **ON** et demander les résultats par Talkie-Walkie.
- Mettre l'interrupteur **Modu+Colibri** sur **OFF**.
- Mettre l'interrupteur **CPU+Récep** sur **OFF**.
- Mettre l'interrupteur du **Séquenceur** sur **OFF**.

(6) Mise en fonctionnement de la fusex:

- Vérifier la présence du Jack, s'assurer que l'interrupteur des gévelots est sur la position **Sécu** et l'interrupteur du **Séquenceur** sur **OFF**.
- Enlever la sangle velcro de sécurité de la porte latérale.
- **Fixer à la rampe l'initialisateur et le brancher.**
- Mettre l'interrupteur du **Séquenceur** sur **ON**.
- Attendre l'extinction des 2 leds de temporisation au bout de 4 secondes.
- Attendre 20 secondes durant lesquelles rien ne doit se passer.
- Mettre l'interrupteur des gévelots sur la position **Armé**.
- Mettre l'interrupteur d'émission 36 MHz sur la position **ON**.
- Mettre l'interrupteur **CPU+Récep** sur **ON** et noter le nombre de signaux sonores émis:
 - Un signal: **CPU** en fonctionnement.
 - Deux signaux: Porte parachute et système de séparation en place.
 - Trois signaux: Confirmation de la réception du signal 36 MHz.
 - Quatre signaux: Séquenceur en position armée.

Les quatre signaux sont nécessaires à la validation du bon fonctionnement de la fusex. En cas de problème, mettre l'interrupteur des gévelots sur la position Sécu, les interrupteurs CPU+Récep, émission 36 MHz et séquenceur sur OFF. Faire les réglages si la totalité des 4 signaux n'ont pas été entendus. Reprendre toutes les opérations.

Les opérations suivantes ne doivent être entamées qu'en cas de bon déroulement de la mise en oeuvre:

- Faire la demande d'essai d'émission 136 MHz et 600 MHz.
- Mettre l'interrupteur **Modu+Colibri** sur **ON** et demander les résultats par Talkie-Walkie.
- Mettre l'interrupteur **Vidéo+Ampli** sur **ON** et demander les résultats par Talkie-Walkie.

Positions des perçages dans la peau

Jupe du propulseur

Longueur totale: 277.5 mm

Les abscisses sont comptées depuis le bas du tube.

La cote entre parenthèses est l'abscisse comptée depuis le bas de la fusée (C'est à dire depuis l'extrémité de la jupe du propulseur).

Nom de l'élément	Caractéristiques du perçage					
Bague de poussée introuvable.3	Abs: 267.5 (267.5)	Angle: 0	Erreur!	Source	du	renvoi
(L'appui du propulseur se fait introuvable.3	Abs: 267.5 (267.5)	Angle: 60	Erreur!	Source	du	renvoi
à abs=250 mm) introuvable.3	Abs: 267.5 (267.5)	Angle: 120	Erreur!	Source	du	renvoi
introuvable.3	Abs: 267.5 (267.5)	Angle: 180	Erreur!	Source	du	renvoi
introuvable.3	Abs: 267.5 (267.5)	Angle: 240	Erreur!	Source	du	renvoi
introuvable.3	Abs: 267.5 (267.5)	Angle: 300	Erreur!	Source	du	renvoi

Peau intermédiaire

Longueur totale: 445 mm (280.5-725.5)

Les abscisses sont comptées depuis le bas du tube.

La cote entre parenthèses est l'abscisse comptée depuis le bas de la fusée (C'est à dire depuis l'extrémité de la jupe du propulseur).

Bague de poussée	Abs: 15 (295.5)	Angle: 0	Erreur!	Source	du	renvoi introuvable.3
Épaisseur de l'épaule entre introuvable.3	Abs: 15 (295.5)	Angle: 60	Erreur!	Source	du	renvoi

les 2 tubes: E=3mm introuvable.3	Abs: 15 (295.5)	Angle: 120	Erreur! Source du renvoi
introuvable.3	Abs: 15 (295.5)	Angle: 180	Erreur! Source du renvoi
introuvable.3	Abs: 15 (295.5)	Angle: 240	Erreur! Source du renvoi
introuvable.3	Abs: 15 (295.5)	Angle: 300	Erreur! Source du renvoi
Bague de fixation du parachute inférieur:			
	Abs: 60 (340.5)	Angle: 0	Erreur! Source du renvoi introuvable.3
introuvable.3	Abs: 60 (340.5)	Angle: 180	Erreur! Source du renvoi
Bague inférieure du système de séparation:			
	Abs: 430 (710.5)	Angle: 0	Erreur! Source du renvoi introuvable.3
introuvable.3	Abs: 430 (710.5)	Angle: 60	Erreur! Source du renvoi
introuvable.3	Abs: 430 (710.5)	Angle: 120	Erreur! Source du renvoi
introuvable.3	Abs: 430 (710.5)	Angle: 180	Erreur! Source du renvoi
introuvable.3	Abs: 430 (710.5)	Angle: 240	Erreur! Source du renvoi
introuvable.3	Abs: 430 (710.5)	Angle: 300	Erreur! Source du renvoi

Peau supérieure

Longueur totale: 1010 mm (725.5-1735.5)

Les abscisses sont comptées depuis le bas du tube.

La cote entre parenthèses est l'abscisse comptée depuis le bas de la fusée (C'est à dire depuis l'extrémité de la jupe du propulseur).

Partie supérieure du système de séparation:

Abs: 15 (740.5)	Angle: 45	Erreur! Source du renvoi introuvable.3
Abs: 15 (740.5)	Angle: 135	Erreur! Source du renvoi introuvable.3
Abs: 15 (740.5)	Angle: 225	Erreur! Source du renvoi introuvable.3
Abs: 15 (740.5)	Angle: 315	Erreur! Source du renvoi introuvable.3

Porte latérale de commande des interrupteurs:

Axe: 90° Longueur: 58 Abs.inf: 370 (1095,5) Abs.sup: 430 (1155.5) Largeur d'arc: 74° (De 53° à 127°) Largeur projetée: 60

Pièces de stabilisation du cadre supportant l'électronique:

Abscisse supérieure du cadre:460 (1185.5) Abs: 475 (1200.5) Angle: 0 Erreur! Source du renvoi introuvable.3
Abs: 475 (1200.5) Angle: 180 Erreur! Source du renvoi introuvable.3

Fixation de l'antenne vidéo:

Longueur totale de l'antenne: 118.6 Abs: 430 (1155.5) Angle: 45 Erreur! Source du renvoi introuvable.6
Abs: 430 (1155.5) Angle: 225 Erreur! Source du renvoi introuvable.6
Abs: 488 (1155.5) Angle: 45 Erreur! Source du renvoi introuvable.4
Abs: 488 (1213.5) Angle: 225 Erreur! Source du renvoi introuvable.4

La fixation se fait au milieu et à l'extrémité supérieure.

Attache du parachute supérieur:

Abs: 495 (1220.5) Angle: 45 Erreur! Source du renvoi introuvable.3

Abs: 495 (1220.5) Angle: 135
Abs: 495 (1220.5) Angle: 225
Abs: 495 (1220.5) Angle: 315

Erreur! Source du renvoi introuvable.3
Erreur! Source du renvoi introuvable.3
Erreur! Source du renvoi introuvable.3

Porte latérale de la case parachute

Axe: 0° Longueur: 400 Abs.inf: 505 (1230.5) Abs.sup: 905 (1630.5) Largeur d'arc: 120° (De 300° à 60°) Largeur projetée: 86.6

Séparateur Parachute/Emetteur	Abs: 917 (1642.5)	Angle: 0	Erreur! Source du renvoi introuvable.3
introuvable.3	Abs: 917 (1642.5)	Angle: 90	Erreur! Source du renvoi introuvable.3
introuvable.3	Abs: 917 (1642.5)	Angle: 180	Erreur! Source du renvoi introuvable.3
introuvable.3	Abs: 917 (1642.5)	Angle: 270	Erreur! Source du renvoi introuvable.3
Coiffe	Abs: 995 (1720.5)	Angle: 90	Erreur! Source du renvoi introuvable.3
introuvable.3	Abs: 995 (1720.5)	Angle: 180	Erreur! Source du renvoi introuvable.3
introuvable.3			

Taille totale de la fusée (Sans antenne, sans ailerons):1955.5mm

Tenue mécanique

Les tests de tenue mécanique de la fusée sont décrits aux pages 39, 40, 41 et 54 du cahier des charges (Version décembre 1994). Ne sont données ici que les valeurs des forces à appliquer.

- Résistance longitudinale des ailerons:

$$F = \frac{2 \times M_{\text{aileron}}}{\text{Acc}_{\text{max}}} = \frac{2 \times 0.08 \text{Kg}}{79 \text{m/s}^2} = 12.64 \text{N} = 1.28 \text{Kg}$$

- Résistance transversale des ailerons:

$$F = 0.052 \times \text{Surf}_{\text{aileron}} \times (V_{\text{max}})^2 = 0.052 \times 0.0209 \text{m}^2 \times (186 \text{m/s})^2 = 37.5 \text{N} = 3.93 \text{Kg}$$

Attention, le double de cette force est à appliquer sur 2 ailerons simultanément.

La flèche transversale des ailerons doit alors être:

$$d \leq \text{Largeur}_{\text{aileron}} \times \tan(10^\circ) = 0.0145 \text{m} \times 0.1763 = 0.0255 \text{m}$$

- Tenue en compression de la porte latérale:

$$F = 2 \times \text{Acc}_{\text{max}} \times \text{Masse}_{\text{sup}} = 2 \times 79 \text{m/s}^2 \times 1.300 = 205 \text{N} = 20.9 \text{Kg}$$

Ralentisseur:

Estimation des vitesses de descente sous parachute

- Partie supérieure:

Le parachute utilisé pour la partie supérieure est celui qui a déjà servi pour freiner la descente de Ker Ô Zen en 1995. Cette partie supérieure pèse 5 Kg, c'est à dire 3 fois moins que Ker Ô Zen, qui a été correctement freinée lors de sa descente, et ce malgré l'arrachage d'une des poches du parachute. Ce dernier, réparé, est donc tout naturellement qualifié pour le vol de Klovis.

- Partie inférieure:

En fixant $C_x (\text{para})=1$ (Cas le plus défavorable), on a:

$$V = \sqrt{\frac{2 \times g \times M}{S \times \rho \times C_x}} = \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \text{ lm/s}^2 \times 6 \text{ Kg}}{1.28 \text{ m}^2 \times 1.3 \text{ g/l} \times 1}} = 8.4 \text{ m/s}$$

compris entre les 5 m/s et 15 m/s imposés par le cahier des charges.

Résistance des éléments du ralentisseur:

- Suspentes:

Les tests de résistance des suspentes sont décrits à la page 62 du cahier des charges (Version décembre 1994). Ne sont données ici que les valeurs des forces à appliquer calculées à partir des vitesses estimées grâce au logiciel Trajec.

Soit F la force exercée par le parachute sur la fusée; en considérant l'ouverture comme instantanée et en fixant $C_x (\text{para})=1$ (Cas le plus défavorable), on a:

$$F = \frac{\rho \times S \times C_x \times (V_0)^2}{2} = \frac{1.3 \text{ g/l} \times 1.28 \text{ m}^2 \times 1 \times (27 \text{ m/s})^2}{2} = 606$$

T= instant prévu de déploiement de parachute.

V_0 = Vitesse maximum de la fusée entre T-10% et T+10%.

Chaque suspente doit supporter une force égale à:

$$\frac{4 \times F}{\text{Nb}_{\text{suspentes}}} = \frac{4 \times 606}{8} = 303 \text{ N} = 31 \text{ Kg}$$

Compte rendu d'expérience du projet Klovis

La fusée expérimentale Klovis, conçue et réalisée durant l'année scolaire 95-96 par 4 membres du club aérospatial K-Zar Espace de Rennes, a été qualifiée et lancée lors de la campagne nationale de Bourges organisée par l'ANSTJ, le CNES et la DGA du 19/08 au 26/08/96.

Ce document présente les résultats obtenus par les différentes expériences embarquées à bord, ainsi que les observations et les remarques formulées aux membres de club durant la campagne

Vol:

Rappelons que la fusex Klovis, équipée du nouveau propulseur Chamois '95' à poudre, a effectué, après une chronologie de 73 minutes, un vol nominal le Samedi 24/08/96 à 19h depuis la rampe 'Obelix'.

D'une hauteur totale de 198 mm et d'un poids de 12.1 kg au décollage, Klovis a atteint son altitude de culmination en $10.5 \pm \text{Erreur! Source du renvoi introuvable.}$ 0.5 s. Une première temporisation a donné l'ordre de séparation transversale à 8.76s, séparation qui a duré 1.77s (Séparation effective à 10.53s). Cette relative longueur du temps de séparation avait été pressentie par le club (Opération réalisée en apesanteur), ainsi que le phénomène de balancier lors de l'ouverture du parachute supérieur (qui a effectivement accéléré la séparation). Les marges temporelles destinées à éviter toute interférence entre les phénomènes de séparation et d'ouverture du parachute principal se révèlent à posteriori non nécessaires.

La temporisation de largage de la porte de la case parachute ayant été réglée à 10.40s exactement, l'ouverture s'est effectuée quasiment à la vitesse minimale de la fusex; (On peut en effet remarquer que le porte a mis un temps inférieur à 1.6ms (Durée d'une trame) pour s'ouvrir de 27° , (angle minimal pour le basculement d'état du capteur). Le danger d'arrachage de la sangle du parachute a ainsi été écarté, et l'ouverture était certifiée par l'utilisation d'un parachute à poches, sans suspentes donc impossible à emmêler, refermer ou à se mettre en torche. L'autre avantage du parachute à poches est de continuer à assurer un freinage en cas de déchirure, chaque poche étant indépendante.

Cette excellente temporisation (De l'avis même des pyrotechniciens), repose sur une correction systématique (depuis 2 ans) de la valeur donnée par le logiciel 'Trajec'. Sans vouloir reprendre la polémique de la campagne de 1994 sur les erreurs de Trajec, nous nous demandons si une bonne étude des temps de culmination de tous les projets 95 et 96 équipés de nouveaux chamois afin de 'légaliser' cette correction systématique ne pourrait pas commencer à porter ses fruits.

La descente sous parachute (87 sec soit une durée de vol totale de 97s) s'est effectuée à vitesse moyenne, Klovis a ensuite été ramenée sur l'aire gravillonnée du public, où il a été procédé aux premières constatations:

- L'émission 136MHz s'est coupée automatiquement, comme prévu au bout de 10 min
- L'état mécanique général était satisfaisant (2 Ailerons tordus mais aucun rivet cassé, présence de tous les éléments du corps de la fusée) montre que la fusex était correctement dimensionnée au niveau résistance. Cette constatation, à priori banale, représente en fait un grand succès pour le club qui avait comme objectif tout au long de l'année de réaliser une fusée bien plus légère que Ker Ô Zen (projet de l'année précédente, certes solide mais très handicapée au niveau des performances et qui nous avait attiré les remontrances des pyrotechniciens quant au poids de la fusex), mieux intégrée et techniquement plus audacieuse.

- L'antenne d'émission H.F. 660 Mhz était présente, connectée. Les marques de frottement (dues à la rotation dans la rampe) présentes sur l'arc de protection PVC prouvent son utilité.

Expériences embarquées:

- Expériences utilisant la télémétrie:

Klovis utilisait 2 voies de télémétrie numérique et une voie analogique qui ont toutes fonctionné (après bien des efforts !) et dont les résultats ont été stockés par le logiciel **K-Com**. La qualité de transmission était excellente (Seulement quelques trames fausses), même si le décalage systématique de la fréquence lors de la présence de la fusée dans la rampe est assez inquiétante.

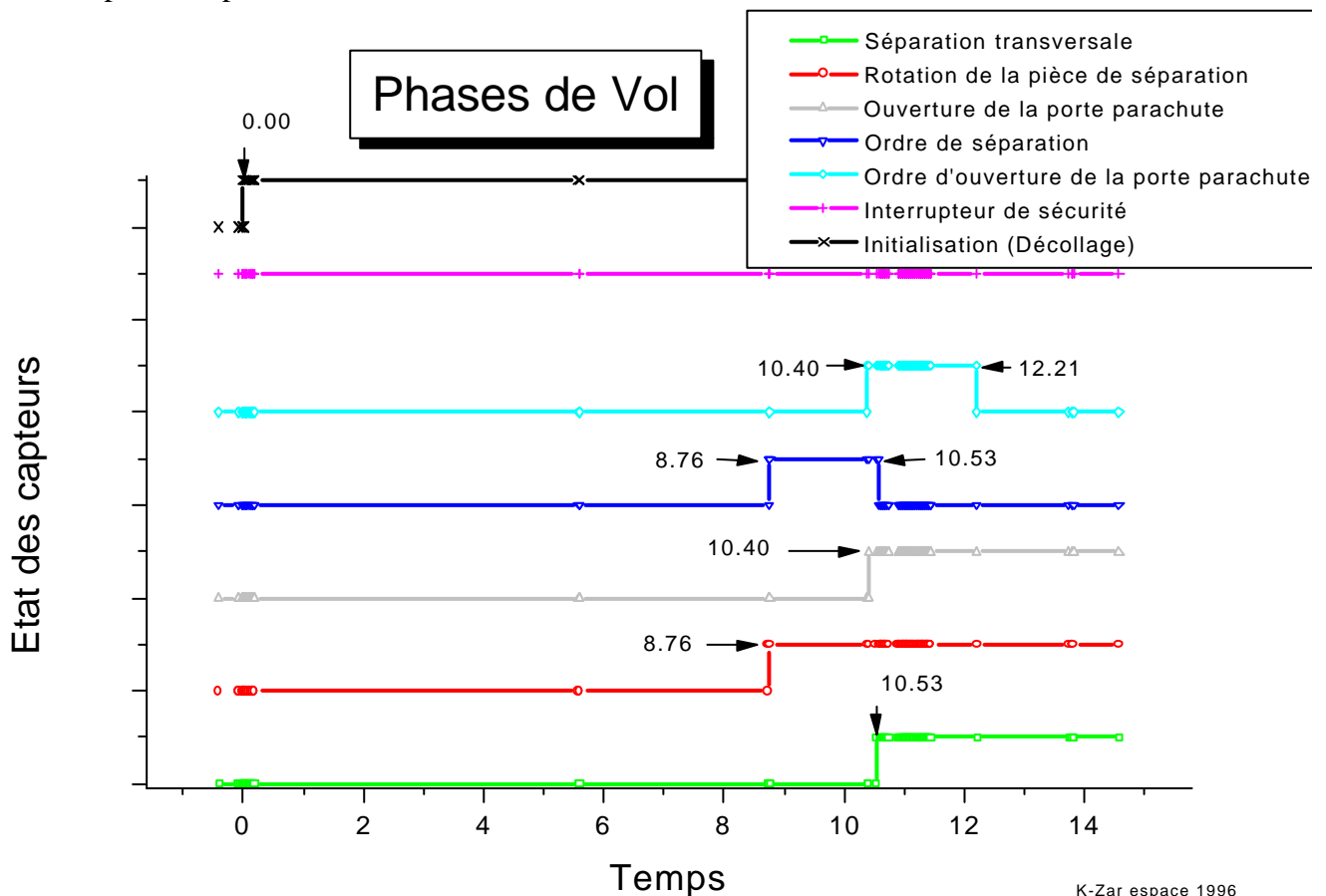
Points relatifs aux erreurs de l'année précédente:

Le fait que la partie électronique soit unique a facilité sa séparation du reste de la fusée car un seul connecteur a assuré l'ensemble des liaisons électriques. De même, la réalisation de multiples circuits imprimés offre beaucoup d'avantages : réalisation & mise au point des modules séparément et facilité de modification.

Le nombre de piles d'alimentation de Klovis était raisonnable. Nous disposions du sponsoring de Duracell et de la Compagnie Industrielle des Piles et Accumulateurs (CIPA) qui nous a permis de ne pas avoir à dépenser l'argent des 5 jeux de piles complets nécessaires durant l'année.

Pour s'affranchir des problèmes que l'utilisation du logiciel de réception de télémétrie SNR avait posé en 1995, le club a conçu et utilisé son propre logiciel d'acquisition de données (**K-Com**). Ce logiciel, encore en développement, à néanmoins été validé et qualifié lors de cette dernière campagne. Véritablement plus ergonomique et performant que SNR, **K-Com** sera proposé gratuitement à tous les clubs aérospatiaux.

Résultats des capteurs de phases de vol:



Ces résultats, obtenus après filtrage et exploitation des courbes de vol correspondent aux observations visuelles:

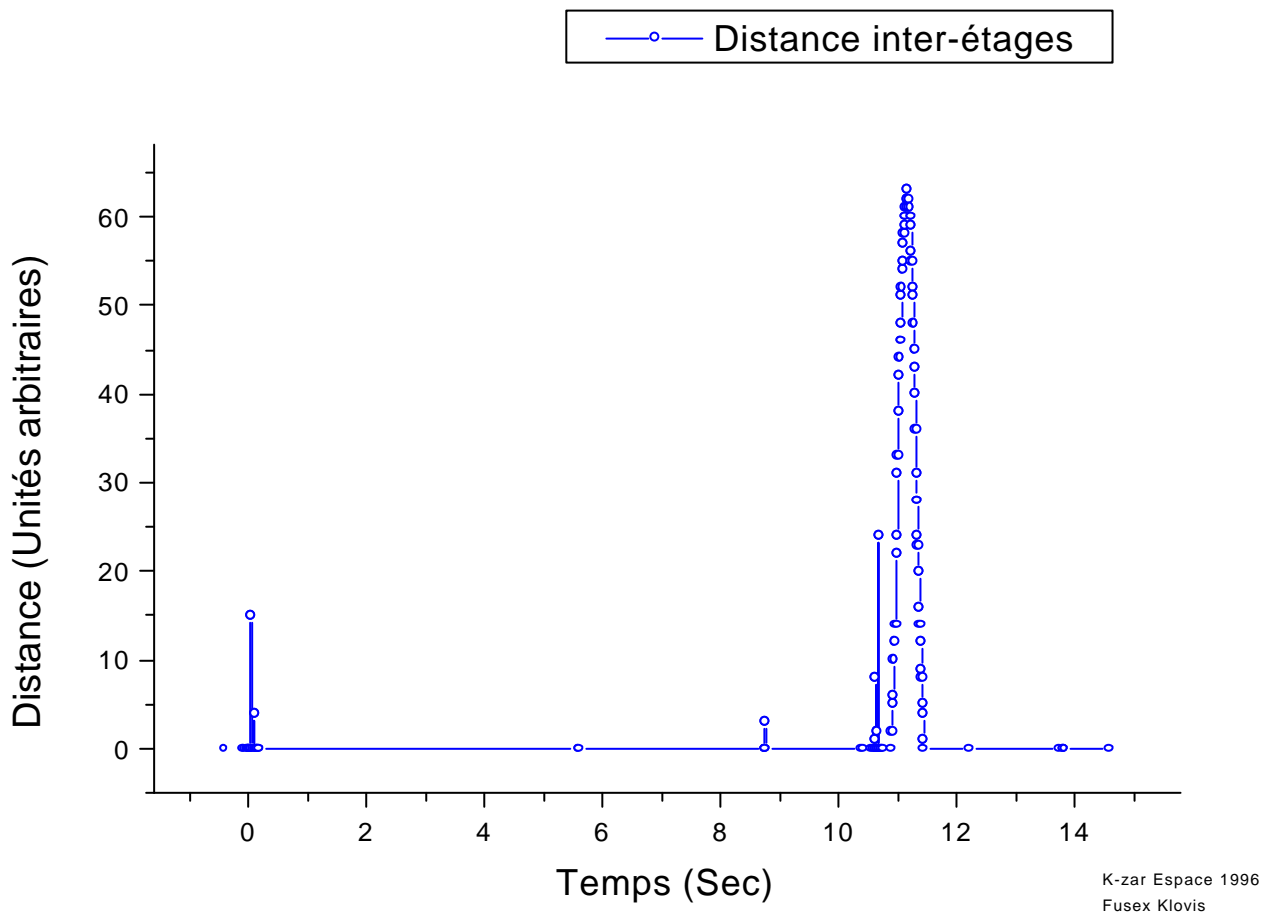
- La courbe de l'interrupteur de sécurité ne sert qu'avant le vol au camion télémétrie pour vérifier la mise en configuration de vol par l'opérateur en rampe.
- La courbe d'initialisation permet de connaître l'instant exact de décollage.
- Les courbes d'ordre de séparation et d'ouverture parachute témoignent du fonctionnement des étages de puissance pendant environ 2 secondes

- Mesure de la distance entre les étages après séparation:

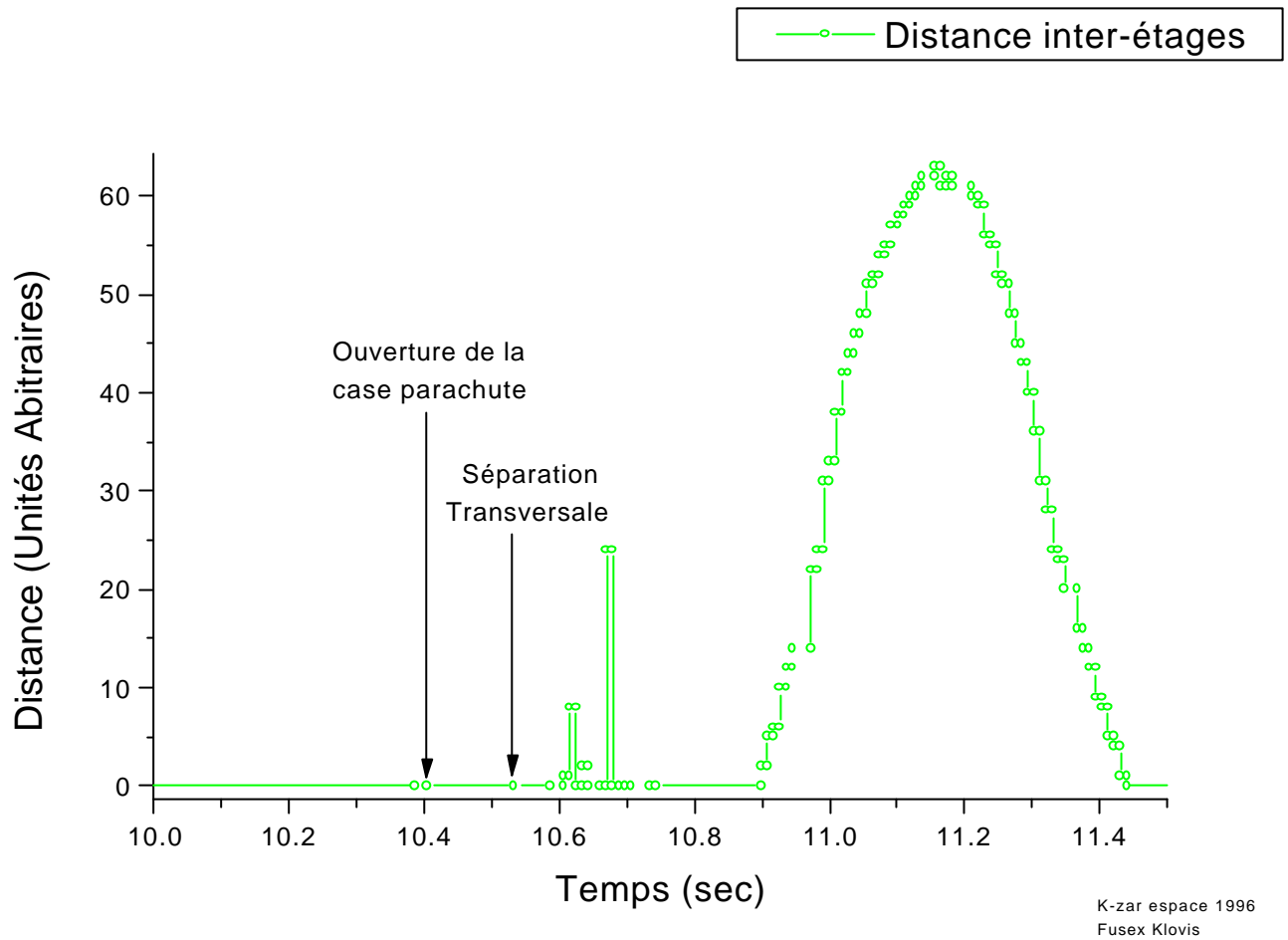
L'expérience principale consistait à mesurer l'éloignement des étages après séparation en analysant l'amplitude d'une porteuse de signal 32Mhz émise par l'étage inférieur et reçue par l'étage principal. Cette expérience n'a pas fonctionné correctement pour les raisons suivantes:

- Utilisation d'un mauvais composant de remplacement, ne permettant pas l'adaptation de l'étage d'entrée.
- Mauvais blindage contre les perturbations de la carte contrôleur..
- Absence d'étalonnage.

Le signal reçu, (qui devait normalement être proportionnel à la distance inter-étages), est présenté sur la courbe suivante.



Il s'agit principalement d'un signal nul parasité aux moments 'violents' du vol (Décollage, ouverture et séparation). La forme de la courbe entre 10 et 12 secondes est présentée ci-dessous.

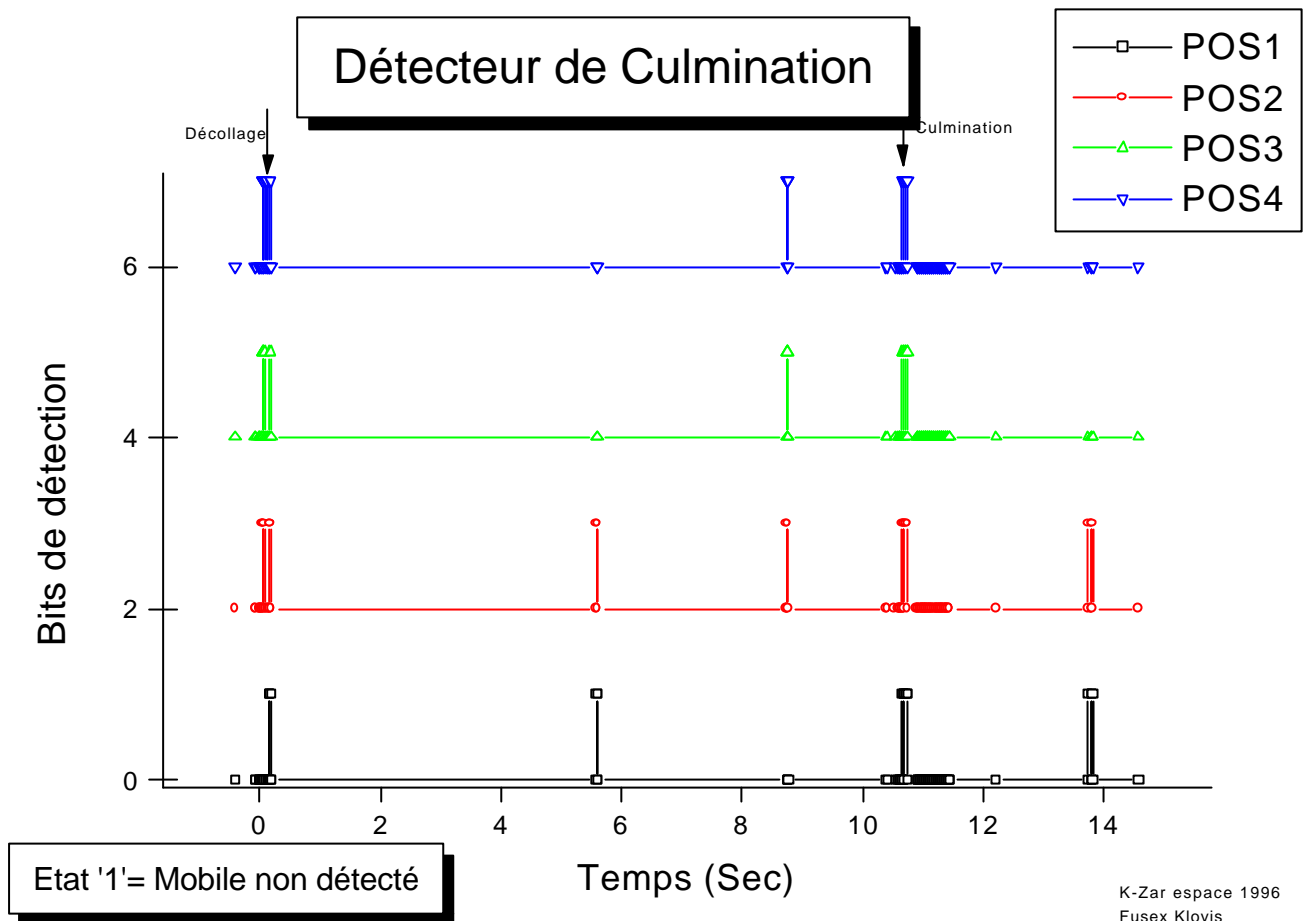


Malgré sa 'belle' forme, cette partie de la courbe ne signifie absolument rien. Aucune explication (Rapprochement soudain des 2 étages, rotation relative des éléments augmentant le signal d'antenne) n'a pu être retenue à ce jour.

- Détecteur de culmination:

Cette expérience, destinée à valider une méthode de détection dynamique de la culmination, reposait sur la détermination de la position d'un mobile libre (C'est à dire soumis aux seules forces d'accélération et de pesanteur) en translation dans un tube métallique.

Les capteurs de position étaient au nombre de quatre (Voir la description de l'expérience dans les sections "mécanique" et "électronique" du document de projet). Les courbes de détection en fonction du temps sont présentes sur le graphe suivant:



Il apparaît immédiatement que le système n'a pas fonctionné: Durant la majeure partie du temps, le mobile est détecté (Etat '0') simultanément dans les 4 positions possibles!

Nous avons dans un premier temps pensé que les fourches optiques utilisées pour la détection du passage du mobile possédaient un temps de relaxation trop élevé ne permettant pas de revenir à l'état '1' dans le cas où le mobile passe et repasse plusieurs fois rapidement, mais cette explication était en contradiction avec les tests effectués lors de l'étalonnage.

Une analyse minutieuse de l'ensemble a permis de mettre en évidence la présence de fêlures dans les soudures, sans doute lors du décollage qui ont perturbé électronique durant toute la durée restante de vol. Dès lors, on comprend que les changements d'état des capteurs sont en fait dus aux faux contacts dans les soudures, notamment aux instants où la fusex est secouée (Culmination). le reste de la courbe est inexploitable.

- Caméra embarquée:

Klovis embarquait en son milieu une petite caméra CCD destinée à visualiser la séparation transversale et la retombée sous parachute. Afin de permettre au public de voir ces images, nous avons décidé d'émettre en temps réel le signal vidéo directement recevable par les postes de télévision situés dans les tentes d'exposition. Après bien des efforts, le principal problème, celui de la distance de portée, semblait résolu lors du vol simulé. Hélas, le problème véritable est venu de la mécanique avec l'arrachage de la caméra et de son support lors de la séparation, du à l'effort de cisaillement de la partie basse. Assez frustrant, cet échec amène cependant 2 remarques:

- L'arrachage aurait sans doute pu être aisément évité si on avait procédé au vissage du support plutôt qu'à son collage. Pourtant, ce genre de constatation est facile à posteriori. Aucun membre du club n'en a fait la remarque lors des nombreux tests du système, au cours desquels l'ensemble était bien visible.

- Le fait que la porteuse vidéo (générée par l'émetteur) ait été reçue pendant toute la durée du vol nous rassure sur la question de la portée, cependant, il aurait été facile de vérifier le fonctionnement de la caméra pendant toute la chronologie et la première partie du vol en plaçant une LED clignotante au sommet de la partie éjectée inférieure.

Conclusion:

L'ensemble de l'équipe s'estime moyennement satisfaite de son second projet de Fusex. Klovis corrigeait certes de nombreuses erreurs comparativement à Ker Ô Zen et résultait d'une conception mécanique audacieuse mais elle n'a pas permis de valider son détecteur de culmination et a déçu nos attentes en matière de vidéo

A coté de tous les aspects du vol et de ses conséquences, l'expérience acquise lors de la construction et de la mise en oeuvre de la fusex nous est très importante.

Klovis a été qualifiée et lancée, preuve de sa conformité au cahier des charges et de son intérêt expérimental; la campagne de lancements et sa phase de qualification finale nous a fait prendre conscience des défauts de conception entraînant des difficultés de montage (La liaison mécanique entre le système de séparation et le support de carte électronique, ralentissait tous les tests et multipliait les possibilités d'erreur de remontage).

Nous avons répertorié et listé tous les détails importants de la construction d'une fusex, afin de gagner du temps lors de la conception, l'usinage et l'assemblage de pièces, mais aussi pour permettre aux futurs membres du club de maîtriser immédiatement les bonnes techniques, afin de faire véritablement évoluer le KZar au fil des ans.

Divers

- Peinture:

- Corps: 2 couches de laque ' haut brillant ' CORONA Bleu Nuit.
- Porte latérale et arcs de protection d'antenne: 2 couches de peinture aérosol ' façon chrome ' doré JULIEN DECOR.
- Coiffe: Peinture orange fluorescente réalisée par la DCN de Lorient.

-Remerciements:

Nous tenons à remercier les personnes suivantes:

- **M. Gauthier et les techniciens de l'atelier de l'INSA** pour le matériel prêté, leur aide et leurs conseils.
- **Les techniciens de l'atelier de recherche** pour les nombreuses coupes de tubes d'aluminium.
- **M. Deleglise de l'atelier des prototypes du CNRS** pour la réalisation de certaines pièces.
- **Régis Plateaux et Raphaël Breda** pour leur suivit technique tout le long de l'année.

K-Zar Espace Fusée Expérimentale Klovis

Hauteur totale: 2395 mm
 Hauteur sans antenne: 1888 mm
 Diamètre maximal: 100 mm
 Masse au décollage: 11.7 kg

Structure peau porteuse
 Propulseur Chamois
 Masse de poudre: 1100 g
 Durée de propulsion: 2.4 sec

Prévisions de vol:
 Accélération maximale: 78 m/s²
 Vitesse maximale: 186 m/s (670 km/h)
 Altitude maximale: 1325 m
 Culmination atteinte en 16.4 sec

Expériences embarquées:

- Visualisation de la séparation des étages par caméra Vidéo CCD et retransmission des images en temps réel au sol.

- Mesure radio de la distance séparant les étages après séparation.

- Validation d'un système dynamique de détection de culmination par étude du comportement d'une bille de mercure en apesanteur.

