

Compte rendu d'expérience du projet Ker Ô Zen

La fusée expérimentale Ker Ô Zen, conçue et réalisée durant l'année scolaire 94- 95 par les 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 18/08 au 28/08/95

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

K-Zar Espace Fusée Expérimentale Ker 0 Zen

Hauteur totale: 2395 mm
Hauteur sans antenne: 1880 mm
Diamètre maximal: 135 mm
Masse au décollage: 15.1 kg

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

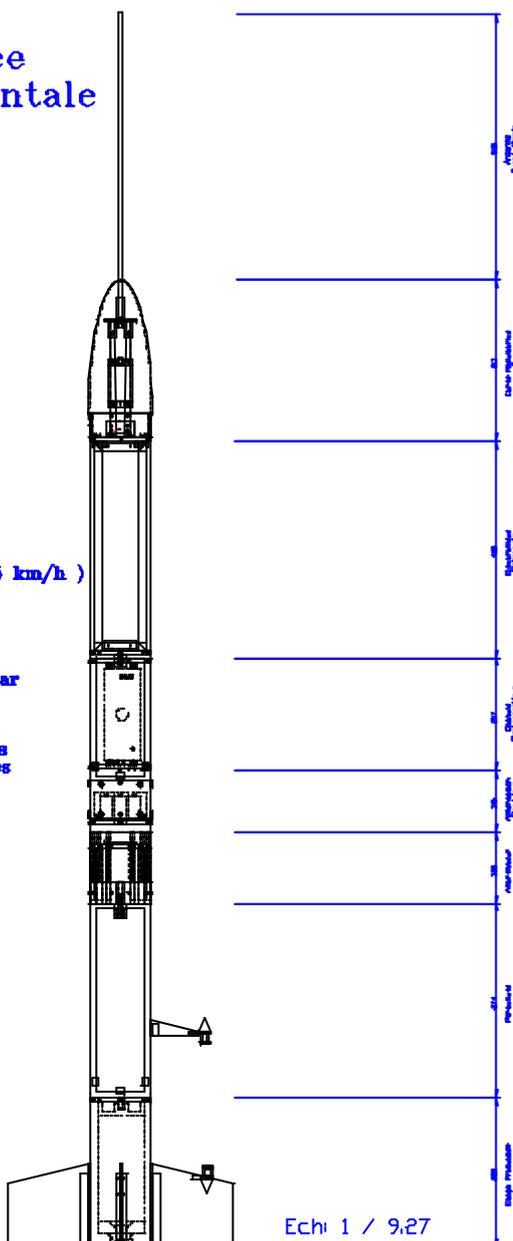
Prévisions de vol:
Accélération maximale: 80 m/s²
Vitesse maximale: 301 m/s (726 km/h)
Altitude maximale: 1316 m
Culmination atteinte en 14.7 sec

Expériences embarquées:

- Mesure de la vitesse par décalage temporel d'une onde ultrasonore.

- Connaissance des phases de vol de la fusée par l'état des capteurs embarqués.

- Ejection d'une capsule photographique avec retombée sous parachute indépendant.



Vol:

Rappelons que la fusex Ker Ô Zen, équipée du nouveau propulseur Chamois '95' à poudre, a effectué, après 2 reports de lancement, un vol nominal le Samedi 26/08/95 à 16h depuis la rampe 'Menhir'.

D'une hauteur totale de 2340 mm et d'un poids de 15,2 kg au décollage, Ker Ô Zen a atteint son altitude de culmination en 9.7 ± 0.5 s. La temporisation de largage du parachute ayant été réglée à 10.1 s exactement, l'ouverture s'est effectuée quasiment à la vitesse minimale de la fusex; le danger d'arrachage de la sangle du parachute a ainsi été écarté, phénomène que nous avons de toute façon cherché à éviter par la mise en place d'un amortisseur à ressorts dans le corps de la fusex et qui était sensé absorber jusqu'à 720 N du choc à l'ouverture.

Cette excellente temporisation (De l'avis même des pyrotechniciens), repose sur 2 corrections de la valeur donnée par le logiciel 'Trajec'. Une première correction de 2 secondes a été effectuée sur le conseil des membres du plan d'op au vu du retard constaté lors de vols du vendredi 25/08. La seconde correction de 1.8 sec a été réalisée une heure avant le lancement, après que la fusex du club Cles Facil, dont les caractéristiques étaient très semblables à la notre (même taille, même poids), ait ouvert son parachute très tardivement.

Il est dommage que notre bonne temporisation repose essentiellement sur la constatation des échecs des autres, et nous nous demandons si la polémique de la campagne de 1994 sur les erreurs de Trajec a porté ses fruits.

Nous donnons, à titre d'information uniquement, deux des autres raisons avancées par d'autres clubs, pour expliquer les nombreux arrachages de parachutes, à savoir que le Cx des fusex a été sous-estimé, et que la rampe a été rabaissée à cause du vent, sans prévenir les membres de clubs.

La descente sous parachute (non chronométrée) s'est effectuée à vitesse moyenne et la fusée a dû être récupérée immédiatement car la télémétrie était encore active après l'atterrissage. En parfait état mécanique, Ker Ô Zen a ensuite été ramenée sur l'aire gravillonnée du public, où il a été procédé aux premières constatations:

- Le responsable rampes, présent lors de la récupération, a remarqué la relative haute température de la coiffe après le vol. Pour expliquer ce phénomène, nous retenons 3 hypothèses:

- Une élévation de température durant le vol due aux frottements de l'air.
- La dissipation thermique lors du choc à l'atterrissage (Très peu probable compte tenu que la coiffe était en fibre de verre et aurait cassé si ce choc avait été réellement violent).

- Le chauffage de la coiffe au soleil durant le compte à rebours.

Inutile de préciser que la dernière hypothèse semble, de loin, être la plus plausible. Même si le soleil n'était pas très présent ce jour là, la couleur bleu nuit de la coiffe a contribué à absorber la chaleur solaire.

- Une des poches du parachute était éventrée. Au moment de l'extraction, la toile s'est prise dans une arrête du verrou pyrotechnique de la porte, tordant l'attache de ce dernier, et s'est déchirée. La descente s'est néanmoins bien passée car l'avantage des parachutes à poche, outre qu'ils ne nécessitent pas de suspentes (Une sangle suffit, pas d'emmêlement possible), est que chaque poche freine la fusée indépendamment.

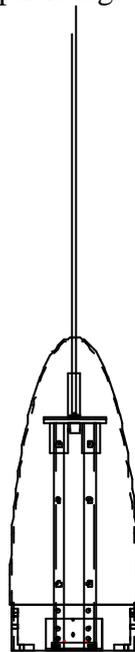
Cette expérience nous encourage vivement à ne plus utiliser que des parachutes de ce type à l'avenir.

- L'état mécanique exceptionnel (Un seul aileron très légèrement tordu) de récupération montre que la fusée était en fait surdimensionnée au niveau résistance (Pièces et peau trop épaisses), ce qui a été un handicap au niveau des performances (que nous ne visions pas, fort heureusement) et qui nous a attiré les remontrances des pyrotechniciens quant au poids de la fusée (Un chamois doit être embarqué dans une fusée de 13kg maxi).

Expériences embarquées:

- Expériences utilisant la télémétrie:

Ker Ô Zen utilisait 2 voies de télémétrie numérique qui ont toutes fonctionné (après bien des efforts !) et dont les résultats ont été stockés par le logiciel SNR.



Le principal problème qui est apparu lors de la campagne est le problème de l'intégration. En effet, le déroulement des tests nécessite de nombreux montages et démontages de la partie électronique de la fusée. Or, en ce qui concerne Ker Ô Zen, ce type de manipulation n'était pas aisé du tout : pour retirer l'électronique, on devait retirer les deux séparateurs d'étages compris entre la capsule et la case électronique afin de retirer le connecteur principal avant de pouvoir enfin retirer la partie électronique proprement dite.

Ce point devra dans les futurs projets, être prévu avec plus d'attention.

Par contre, le fait que la partie électronique soit unique facilite sa séparation du reste de la fusée car un seul connecteur assure l'ensemble des liaisons électriques. De même, la réalisation de

multiples circuits imprimés offre beaucoup d'avantages : réalisation & mise au point des modules séparément, facilité de modification, . . .

Le nombre de piles d'alimentation de Ker Ô Zen était trop important. Lors de la campagne, 3 jeux de piles complets ont été nécessaires, soit environ 400 F dépensés : c'est beaucoup trop! Sans compter le temps passé à changer toutes ces piles et les problèmes que ces changements peuvent causer. Cependant, ce problème est apparu trop tard dans l'avancement du projet pour être résolu : encore un point à voir en priorité.

Il semble important de signaler aussi les problèmes que l'utilisation du logiciel de réception de télémétrie SNR a posé : tout d'abord, l'utilisation d'un processeur programmé en BASIC a posé le problème de la vitesse d'exécution : l'envoi des octets composant une trame au format SNR doit se faire sans *pause* entre les octets : ceci n'a été possible qu'au prix d'une simplification de la boucle d'envoi des octets de trame, afin de l'accélérer.

- Phases de vol:

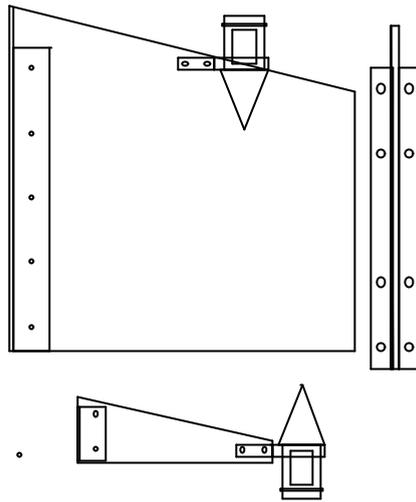
Les 7 courbes donnant l'état de la fusée au cours du vol sont correctes et correspondent aux observations visuelles:

- Capteurs de présence d'éléments:
 - La porte de la capsule s'est détachée à 9.8s, son verrou pyrotechnique ayant fonctionné à 9.7s.
 - La capsule photographique a été éjectée à 10.0s
 - La courbe donnant l'instant d'ouverture de la porte parachute est erronée (Elle annonce l'arrachage de la porte à 9.7s alors que le verrou pyrotechnique a fonctionné à 11.1s). Nous pensons que les sauts de la courbe "porte para" à 12s et 19s sont dus à l'appui de la sangle du parachute sur le capteur de présence de la porte, situé très à l'extérieur de la fusée.

- Mesure de vitesse par ultrasons:

L'expérience principale consistait à déterminer la vitesse de la fusée en mesurant le décalage temporel de parcours d'une onde ultrasonore. C'est le seul point noir en ce qui concerne le vol de Ker Ô Zen. Tout d'abord, il est intéressant de décrire le problème survenu lors de la campagne : la mise au point de la partie électronique ayant été effectuée sans la partie physique de la fusée, notamment sans les supports des transducteurs ultrasoniques, ceux-ci avaient été placés dans un profilé alu en L de façon à simuler leur position (distance & direction) effective sur la fusée. Lors de l'intégration de la partie électronique, on s'aperçut que le signal ultrasonore reçu était beaucoup plus faible que lors de la mise au point. Panique! Après vérification de la partie électronique, il s'est avéré qu'elle n'était pas en cause. Les transducteurs ? Ils fonctionnaient, mais avec un gain plus faible que précédemment . . . C'est alors que fut émise l'hypothèse, vérifiée aussitôt, que le gain plus important lors de la mise au point était dû au profilé alu qui jouait le rôle de guide d'onde sonore. On jura, un peu tard, que l'on ne nous y prendrait plus !

Restait à résoudre le problème : après plusieurs essais, on décida de rehausser le gain du premier étage : Gagné !



Mais tous les problèmes n'étaient pas résolus : parmi les stands de contrôle, il s'en trouvait un nommé *Etalonnage*. Comment étalonner notre mesure de vitesse? Sur le toit de l'espace d'Alex, fusée fixée sur la galerie, reliée à un P.C. portable (merci le CNES). . . et c'est parti pour un petit tour dans Bourges! Après avoir enregistré quelques courbes à vitesses fixes, nous nous sommes rendus compte que, si le système fonctionnait correctement sur une route plate, il était perturbé par tout choc. Nous avons donc fabriqué un détecteur . . . de plaques d'égout ! A chaque passage sur l'une d'elles, la courbe de vitesse enregistrait un pic parasite. Cela semblait un mauvais présage pour la mesure en vol, car des vibrations, il y en aurait !

Un rapide contrôle mis en cause les transducteurs US : un léger choc les perturbant, il donnaient naissance à des parasites électriques perturbant la chaîne de mesure : la partie électronique elle-même n'était pas en cause.

Il était alors trop tard pour changer quoi que ce soit : adviene ce que pourra . . .

Et comme présagé, la mesure de vitesse pendant le vol n'est pas à la hauteur du travail effectué. Cependant, on voit très nettement que les mesures (le comptage) reste à de faibles valeurs : cela signifie que la partie réception US a détecté un signal très rapidement, et indépendamment de la vitesse : ceci accrédite la thèse de la détection de parasites.

Cependant, cet échec n'est pas pure perte : le test de l'étalonnage permet d'affirmer que l'expérience est viable. Des essais en soufflerie, plus sérieux que des promenades avec une fusée sur le toit à travers Bourges, permettrait de valider l'expérience ! L'utilisation de transducteurs US de fréquence plus élevée (200 KHz au lieu de 40 KHz) pourrait réduire les perturbations dues aux vibrations mécaniques. . . Peut être pour une prochaine Fusex.

Toutefois, une autre exploitation est néanmoins possible.

Lors de l'étalonnage, nous avons dû rechercher des routes particulièrement planes car la moindre bosse sur la route entraînait l'apparition d'un pic incohérent sur la courbe de mesure. C'est cette fonction de "détecteur de plaques d'égout" (ainsi baptisée à l'époque) que nous allons utiliser pour confirmer les résultats des capteurs de phases de vol:

- Le premier pic, à 1.6s, correspond de toute évidence au décollage, car il coïncide exactement avec l'initialisation du temporisateur.

- Le dernier pic, à 36.4s, donne le moment de l'atterrissage, la durée complète de vol est donc de 34.8s.

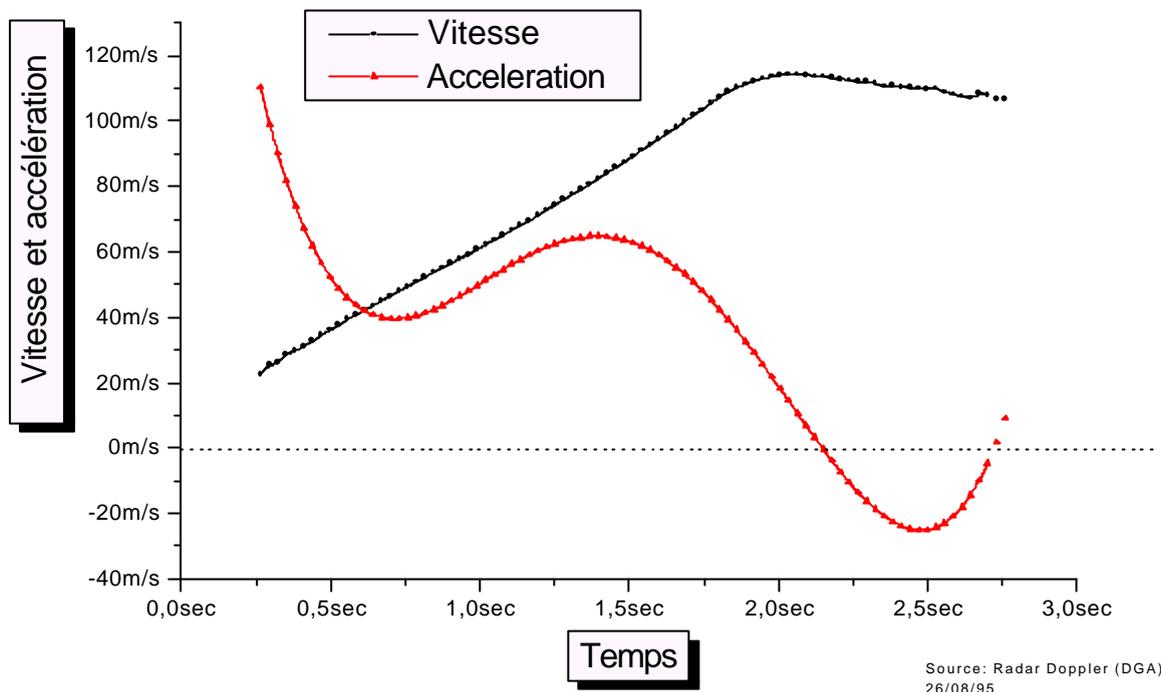
- Le pic à 10.3s semble avoir été provoqué par le choc de la porte de la case de la capsule sur le récepteur ultrasonore. L'ouverture de cette case est en effet placée dans l'axe de l'expérience, et aucun système n'était prévu pour retenir la porte. Avant de se détacher, cette dernière a basculé autour du gond placé horizontalement en bas de l'ouverture, ce qui l'a encore rapproché du récepteur.

Cette explication est la seule plausible actuellement, même si aucune marque de choc n'est visible sur le récepteur (Quant à la porte, elle n'a pas été retrouvée).

En rapport avec cette expérience, nous avons demandé le suivi de la fusée par le radar Doppler de la DGA, afin de confronter les 2 courbes de vitesse. La mesure de vitesse ayant échoué, nous nous sommes reportés sur la courbe imprimée du radar.

Cette courbe ne recouvre que les 2,5 premières secondes de vol (Le radar étant prévu pour mesurer la vitesse d'objets très rapides comme les balles de fusil gros calibre), c'est à dire la majeure partie de la phase de propulsion. Les résultats sont présentés dans le graphique suivant:

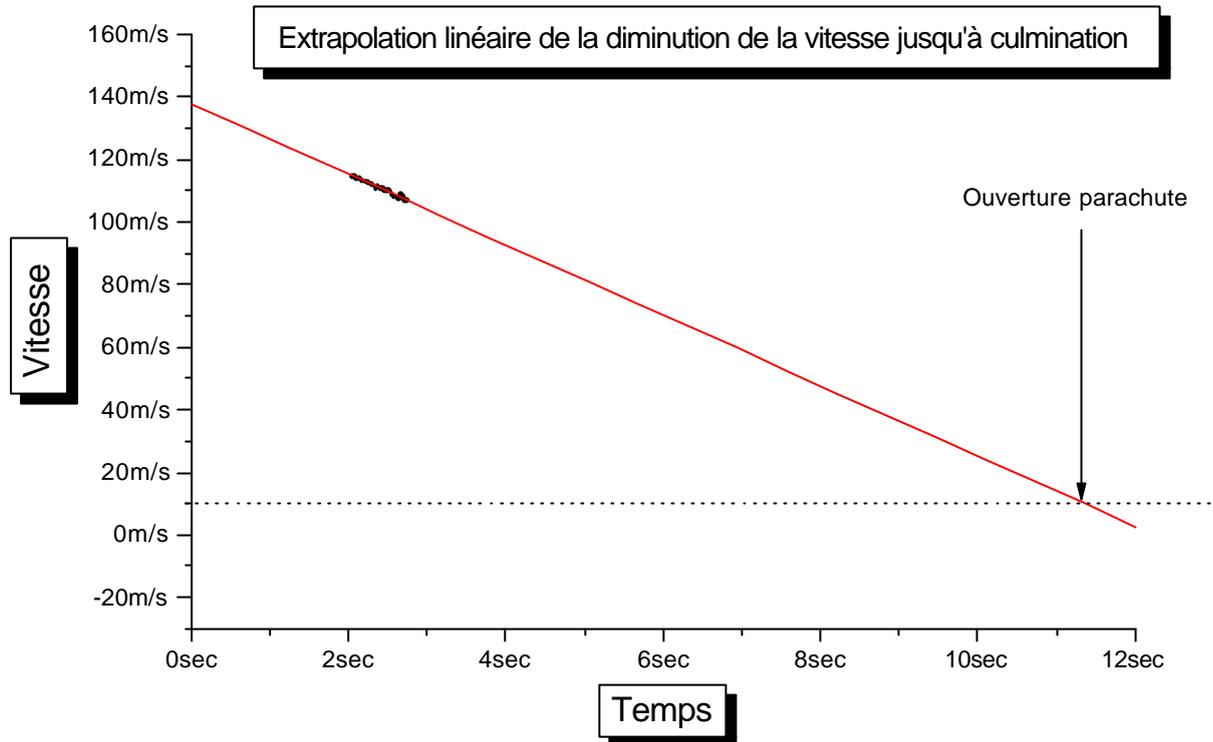
K-Zar Espace Fusex Ker Ô Zen



- Amortisseur de parachute:

Sur la courbe, la diminution de la vitesse à partir de 2.1s est suffisamment linéaire pour permettre une extrapolation jusqu'à culmination, afin d'estimer la valeur maximale de la force de freinage du parachute à son ouverture.

K-Zar Espace Fusex Ker Ô Zen



En considérant une ouverture quasi instantanée, la force s'exerçant sur la sangle du parachute vaut:

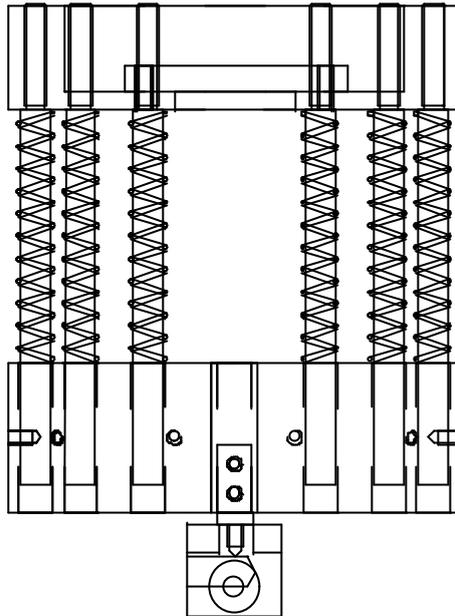
$$F = \frac{R_0 \cdot S \cdot C_x \cdot V_0^2}{2}$$

où: **S** est la surface du parachute

V_0 est la vitesse de la fusée à l'ouverture ($\gg 10$ m/s)

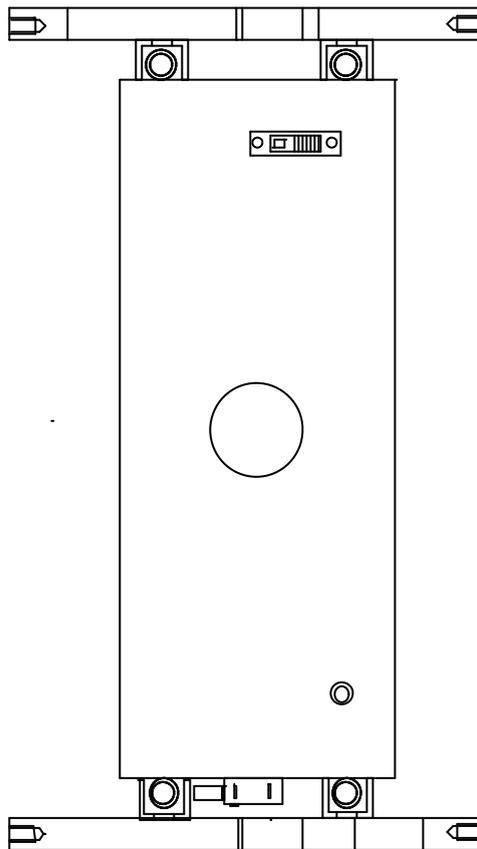
Soit $F \gg 90$ N

Cette valeur de F est en fait très approximative, la formule ne donnant que la force exercée sur des parachutes plans (alors que le notre est à poches). L'amortisseur, prévu pour encaisser jusqu'à 100 N, a donc normalement absorbé tout le choc, par le biais de la sangle.



- Prises de vue aériennes:

La capsule photographique, éjectée à culmination, a , au cours de sa descente sous parachute indépendant, pris 10 prises de vues du sol. L'atterrissage a provoqué la mise en place de l'obturateur optique.



- Le temps de rembobinage entre 2 photos étant connu avec précision (6.2 s), on peut calculer directement le temps de descente de la capsule. Il est compris entre 62s et 68.2s, ce qui donne une vitesse de descente moyenne de 13.8 m/s

- Détails visibles:

- La fusex est visible sur les photos 5 et 7; Antony, présent lors de la récupération qui a immédiatement suivi le vol, assure que la fusée était couchée parallèlement à la route en terre la plus proche. L'orientation n'est pas la même sur les 2 photos, et en tout cas absolument pas parallèle à la route sur la photo 7, ce qui signifie que la fusée est descendue en plus de 37.2 secondes, avec une vitesse inférieure à 24 m/s.

- Le char (hors d'usage) du fond du champ de tir est visible sur les photos 2 et 4.

- L'aire de lancements Fusex est clairement visible sur la photo 1, le point bleu est la tente située près des rampes Astérix et Obélix.

- Conclusion:

L'ensemble de la nouvelle équipe s'estime très satisfaite de son premier projet de Fusex. Ker Ô Zen, véritable mastodonte volant, n'est certes pas un modèle du genre, mais elle a permis de valider un système d'éjection latéral de module autonome.

A côté 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.

Ker Ô Zen 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 (L'alimentation électrique, par exemple, était difficilement accessible, 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 K-Zar au fil des ans.