



Club scientifique de jeunes

LANCEMENT DE LA FUSEE EURYDICE

COMPTE-RENDU

Révision 1.0

27 août 1991

Rédigé par : Albert DUDON

Approuvé par : Bernard SCACHE

SOMMAIRE

1. SYNTHESE	1
2. LA PREPARATION DU LANCEMENT	2
2.1. Rappel.....	2
2.2. Logistique : organisation du lancement	2
2.3. Préparation technique du lancement	3
3. LE LANCEMENT	4
3.1. Conditions de lancement	4
3.2. Chronologie des opérations.....	4
3.3. Déroulement du vol.....	4
4. EXAMEN DE LA FUSEE APRES RECUPERATION	5
4.1. Etat de l'électronique après dislocation	5
4.2. Etat de la structure mécanique	5
4.3. Essais effectués après retour à Paris	5
5. EXPLOITATION DES RESULTATS.....	6
5.1. Fonctionnement de l'électronique embarquée	6
5.2. Dépouillement des télémesures.....	6
5.3. Accélération.	6
5.4. Pression et altitude.....	6
5.5. Température.....	7
5.6. Phases de vol	7
5.7. Giration.....	7
5.8. Conclusions.....	7
5.9. Décisions.....	8

1. SYNTHÈSE

L'objectif de la fusée EURYDICE, construite par l'équipe du GAREF PARIS était d'expérimenter une structure légère comportant le maximum de pièces en fibre de carbone, afin d'obtenir pour une poussée donnée, des performances en vitesse, en accélération, et en altitude supérieures.

La totalité des différentes pièces en fibre de carbone a été conçue et réalisée par l'équipe du GAREF PARIS.

La campagne de lancement a été organisée du 24 juillet au 1er août 1991, au Centre Spatial Guyanais, avec la participation des lauréats du concours jeunes "KOUROU 91"⁽¹⁾

Suite à la défaillance d'un correspondant local, de grosses difficultés d'organisation de logistique ont été rencontrées lors de cette campagne de lancement.

Ces difficultés n'ont eu cependant aucune incidence sur le résultat du lancement.

Le CSG a par ailleurs, réservé un très sympathique accueil à la mission du GAREF.

Le lancement a eu lieu le 31 juillet 1991, 14H03.

Peu après le décollage, à H0 + 2,330 secondes, alors que la fusée atteignait environ 850 km/heure, celle-ci s'est rompue en deux parties qui se sont écrasées au sol.

Des télémesures d'excellente qualité ont pu être reçues. Le dépouillement de celles-ci et des essais complémentaires faits au GAREF, permettent de donner les explications suivantes :

Les pièces en fibre de carbone et notamment les ailerons présentent un défaut de fabrication, dû probablement à la résine utilisée. Echauffés sous l'action du soleil, ils ont perdu leur résistance nominale et se sont arrachés lorsque la vitesse a avoisiné 850 km/heure. La fusée s'est alors trouvée déstabilisée. Cette déstabilisation a entraîné des efforts trop importants pour la structure qui n'a pas résisté et s'est rompue.

La quasi totalité des morceaux a pu être récupérée.

Le GAREF a décidé de reconstruire cette fusée expérimentale, en apportant des modifications, tant en ce qui concerne la fabrication des pièces en fibre de carbone que les procédures de contrôles.

En revanche, le lancement a été un succès en ce qui concerne :

- la validation d'un nouveau système de télémesure avec calculateur de bord embarqué,
- le système d'émission à 2 GHz, avec une antenne de peau mise au point lors d'une stage au Centre national d'études des télécommunications,
- la partie minuterie numérique à base de circuit logique programmable.
- la résistance aux accélérations, aux chocs et vibrations de l'électronique, ce qui permet de valider les technologies choisies.

⁽¹⁾Ce concours a été organisé conjointement avec le Centre national d'études des télécommunications, le Centre National d'Études Spatiales et la Direction de la Jeunesse et des Sports de la Mairie de Paris.

2. LA PREPARATION DU LANCEMENT

2.1. Rappel

Le GAREF PARIS a construit la fusée EURYDICE afin d'expérimenter une structure comportant le maximum de pièces en fibre de carbone.

L'ensemble des différentes pièces de fibre de carbone a été conçu et fabriqué par les membres du GAREF PARIS.

La fusée devait aussi permettre la qualification d'un nouveau système de séparation par cisaille pyrotechnique.

Elle a été construite en plusieurs années et devait atteindre 4500 mètres d'altitude avec une vitesse de MACH 1,1, pour une charge utile de 11,49 kg avec une masse au décollage de 22,59 kg.

2.2. Logistique : organisation du lancement

La campagne de lancement a eu lieu à KOUROU du 24 juillet au 1er août 1991.

14 jeunes, dont les quatre premiers lauréats du concours jeunes "KOUROU 91", organisé par le GAREF PARIS, y ont participé.

De très grosses difficultés ont été rencontrées pour intégrer la campagne de lancement de la fusée EURYDICE au milieu de la préparation du vol V44 d'Ariane.

En effet, le Département Jeunesse du CNES avait confié l'organisation de cette opération à un correspondant local, au sein du Centre Spatial Guyanais, qui s'est révélé, contre toute attente, totalement défaillant. Quelques jours avant le lancement le CSG n'avait toujours pas eu les informations nécessaires concernant la fusée, le vol, les précautions pyrotechniques, les compatibilités, les moyens demandés, la chronologie, etc...

De plus malgré l'envoi à ce correspondant d'une télécopie, le 1er juillet 1991, qui donnait toutes les cotes de la fusée pour effectuer une vérification de compatibilité rampe, il a été découvert le 30 juillet 1991, en dépit des assurances qui nous avaient été données, que la rampe n'était pas compatible, à plusieurs dizaine de centimètres près, avec l'envergure de la fusée

Le CSG a déployé de gros efforts pour pouvoir remédier à l'ensemble de ces problèmes, tant en ce qui concerne les problèmes d'organisation et de logistique, que le problème de rampe, puisque qu'une rampe spéciale de lancement a été construite par le CSG, entre le 30 juillet 15 heures et le 31 juillet 9 heures du matin.

Marcel LEBARON, Chef de le Département Jeunesse du CNES, a été informé à notre retour de ces problèmes. Il a immédiatement pris les dispositions nécessaires pour qu'une telle situation ne se reproduise à l'avenir.

2.3. Préparation technique du lancement

Dès le début de la campagne de lancement ont été entreprises les différentes opérations de montage, de mise en configuration et d'essais techniques avant le tir :

Montage mécanique et vérification du montage du propulseur sur la fusée avec l'aide d'un pyrotechnicien.

Essais de télémesures en différents points du Centre Spatial Guyanais et notamment entre le site fusée sonde et la station météo, dans laquelle le GAREF avait implanté sa station de réception.

Essais de séparation, la fusée entièrement montée avec son propulseur, avec répétition des procédures et notamment des procédures de désarmement d'urgence en cas de déclenchement intempestif des minuteriers sur rampe.

Vérification de la stabilité en vol de la fusée avec nouvelles mesures du centre de gravité et contrôle des calculs du centre de poussée.

Mise en charge et contrôle des batteries mesures, et des batteries pyrotechniques, avec un changement par sécurité, d'une batterie pyrotechnique douteuse.

Toutes ces vérifications n'ont révélé aucun problème, à l'exception d'une légère reprise d'usinage sur un plateau intermédiaire suite à une petite divergence de cote sur le goujon du propulseur.

Après diverses réunions techniques avec les responsables et Directeurs du CSG, la décision de lancement a été prise le 31 juillet 1991.

3. LE LANCEMENT

3.1. Conditions de lancement

Le lancement d'EURYDICE a eu lieu le mercredi 31 juillet 1991 à 14H03 (heure locale) depuis le site "fusée sonde" du CSG.

Le temps était complètement ensoleillé, sans nuage.

Le tir a été effectué avec 60° d'azimut et un angle de site de 85° pour des raisons de sécurité

3.2. Chronologie des opérations

Les principales opérations de chronologie qui se sont étalées sur une durée d'environ une heure, ont été : la mise en place de la fusée dans sa rampe, les essais télémètres sur rampe, mise en place des bouchons de vol, mise en place de la came d'allumage du propulseur, évacuation et mise à feu.

3.3. Déroulement du vol

H = 0 : décollage de la fusée parfait.

Après une ascension normale un observateur du CSG a remarqué un fort mouvement de rotation de la fusée autour de son axe, semblant venir d'une certaine instabilité et a observé un passage quasiment à l'horizontal de la fusée avec des forts mouvements de nutation.

H = 2,330 s il y a eu dislocation de la fusée et le propulseur a continué à pousser jusqu'à H + 2,9 s, se qui explique la violence de l'impact de la partie basse de la fusée.

On a retrouvé la case à équipement, d'une part, et la partie propulseur d'autre part à environ 200 mètres l'un de l'autre et à quelques centaines de mètres de la rampe de lancement.

Les ailerons ont été retrouvés éparpillés à une centaine de mètres les uns des autres. La première remarque, en les ramassant, a été d'observer qu'il étaient très chauds et relativement mous. Les quatre ailerons ont été arrachés avant l'impact au sol.

La case d'équipement a subi peu de dégâts tandis que la partie propulseur a creusé un trou d'environ 1 mètre de profondeur.

La quasi totalité des morceaux a été récupéré.

4. EXAMEN DE LA FUSEE APRES RECUPERATION

4.1. Etat de l'électronique après dislocation

Les modules électroniques qui étaient dans la case à équipement n'ont pas souffert, excepté le convertisseur et les batteries qui étaient au bas de la case à équipement et qui ont été arrachés.

L'électronique du système de séparation, retombé avec la partie propulseur de la fusée a subi de très sérieux dommages. L'une des minuteries a été complètement détruite tandis que l'autre, après avoir été enfoncée un mètre sous terre a été déformée. Elle est cependant toujours en état de marche.

4.2. Etat de la structure mécanique

Les ailerons ont été arrachés pendant le vol, comme le montre les photos de la partie propulseur en terre, de même les montants se sont brisés au niveau de la case à équipement.

Les premières observations lors de la récupération de ces pièces ont montré que la chaleur les avait ramollies.

4.3. Essais effectués après retour à Paris

Ces tests effectués au GAREF fin août, ont montré qu'à 14 heures, un ailerons en fibre de carbone en plein soleil montait à 55°. En Guyane on peut estimer que la structure noire en fibre de carbone et des ailerons, qui sont restés exposés en plein soleil, ont dû avoisiner 70°.

Des essais ont donc été entrepris en étuve au GAREF pour soumettre des pièces mécaniques en fibre de carbone, du même lot que celles qui avaient servi à usiner les ailerons, à un passage en étuve à 50, 60 et 70°.

On a observé un très net ramollissement de ces pièces, notamment dans le sens diagonale des fibres.

Il y a donc eu défaut de fabrication au GAREF ou défaut de matière. Enfin il conviendrait de faire varier les orientations des couches entre elles pour éviter d'avoir une direction de moindre résistance.

Il est indispensable de plus, d'effectuer des tests en température, pour qualifier les pièces après réalisation.

5. EXPLOITATION DES RESULTATS

5.1. Fonctionnement de l'électronique embarquée

L'électronique, avec son calculateur de bord a parfaitement fonctionné.

La cisaille pyrotechnique du système de séparation ne s'est pas déclenchée, les fils reliant la cisaille à la minuterie s'étant rompus lors de l'impact au sol et avant le temps de 27,7 s programmé.

5.2. Dépouillement des télémesures

Le système d'antenne de peau, conçu lors d'un stage au CNET, s'est avéré particulièrement efficace et la réception des télémesures a été parfaite, sur rampe et tout au long du lancement.

A l'exception de quatre trames (fusée sur rampe), tous les contrôles de parité des trames de télémesures sont corrects.

5.3. Accélération.

Jusqu'à $H + 1,750$ secondes, les mesures faites par l'accéléromètre donnent des résultats très proches de ceux prévus par le calcul de trajectoire (voir graphique en annexe).

Néanmoins, à intervalle de temps régulier à $H + 1,800$, $1,950$, $2,250$ secondes, il est apparu de nettes différences entre les accélérations mesurées et celles prévues par le calcul de trajectoire théorique

Après vérification et contrôle de parité, il s'avère que ces écarts ne sont pas dus à des erreurs de transmission. Ces accélérations par à-coups peuvent être dues :

- soit à une trajectoire déstabilisée à cause d'une perte d'ailerons,
- soit à des irrégularités de combustion du propulseur CARIBOU, ce propulseur étant connu pour avoir une combustion irrégulière par rapport à sa courbe nominale. (Une nouvelle coulée corrigeant ces défauts vient d'ailleurs d'être faite par la SNPE et les prochains propulseurs n'auront plus ce défaut),
- soit enfin une combinaison des deux phénomènes.

5.4. Pression et altitude

L'altitude est obtenue à partir d'une pression mesurée d'après une table de l'atmosphère standard et par interpolation linéaire.

Le graphe de l'altitude est en marge d'escalier (voir graphique annexé) .

Il semble que cela soit dû à un manque de précision du capteur de pression, sachant qu'entre le décollage et la perte de télémesure, la pression a peu varié.

On a cependant repris les étalonnages du capteur au sol, fin août, puisqu'il était toujours en état de marche et l'on n'a pas trouvé d'anomalie majeure, si ce n'est qu'une précision trop faible dans la zone que l'on souhaitait utiliser.

Les informations fournies par les premiers dépouillements radar et le calcul de trajectoire théorique concorde approximativement pour indiquer une altitude de rupture de la fusée d'environ 400 mètres, à une vitesse de 300 m/s (MACH 0,85), et une culmination vers 700 mètres.

5.5. Température

Avant le décollage, la température était de 32,5° C à l'intérieur du cône et 26° C sur la tuyère.

Ces températures varient peu au cours du vol de 2,3 s.

Ces températures sont celles de pièces d'aluminium et non pas les pièces en fibre de carbone qui elles avaient une températures très nettement supérieure.

Une mesure de la température sur le capteur face à la tuyère du propulseur a donné 300° C. Cette mesure est cependant peut vraisemblable, compte tenu du temps de réponse des capteurs.

5.6. Phases de vol

Les phases de vol ne nous ont pas indiqué d'action de séparation, ce qui est normal puisque il y a eu rupture de l'engin avant le temps programmé de 27,7 secondes.

5.7. Giration

Les sommateurs qualifiant les signaux des trois photos transistor de giration ont été saturé.

L'examen de l'électronique sur Paris a confirmé que la lumière ambiante permettant, dans certaines configurations de saturer les photos-transistors, un meilleur étalonnage du capteur, voire une mesure différentielle s'avérera nécessaire.

5.8. Conclusions

Après rassemblement des témoignages, les dépouillements de l'ensemble des télémessures, et vérification d'un certain nombre de paramètres, l'explication la plus probable est la suivante :

Suite à un défaut , soit dans le choix des matériaux de résine, soit dans la polymérisation toutes les pièces en fibre de carbone, et notamment les ailerons présentent un défaut. Il se ramollissent nettement lorsque la température dépasse une quarantaine de degré centigrade.

Lors de la montée en vitesse à environ 850 km/h ($H = 0 + 1,900 \text{ s}$), un ailerons s'est replié, ce qui a entraîné des premiers mouvements anormaux de la fusée, puis arraché.

Il en a résulté une déstabilisation complète de l'engin avec des mouvements désordonnés, qui ont entraîné la cassure en deux de la fusée au niveau du dernier montant en fibre de carbone, entre la liaison charge utile/système de séparation, conjointement avec l'arrachement des trois autres ailerons.

Le cône avec la charge utile est retombé naturellement, ce qui explique le peu de dommage qu'il a subi.

Le propulseur, lui a continué de pousser pendant environ 1 s entraînant en direction du sol toute la partie basse de la fusée, ce qui explique l'écrasement et la déformation des pièces mécaniques.

L'électronique a bien supportée les contraintes de chocs, y compris les contraintes d'impact au sol pour les minuteriers surmontant le propulseur, ce qui permet de valider les technologies d'assemblage et de fixation choisies.

5.9. Décisions

Le GAREF PARIS a décidé de reconstruire, en 10 mois, une fusée de même type et de la relancer.

Les actions correctrices nécessaires vont être entreprise pour :

- fabriquer à nouveau des ailerons en fibre de carbone avec un changement de la résine, un nouveau processus et des essais des pièces en température après réalisation.
- remplacement des montants en fibre de carbone tels qu'ils étaient conçus par un système de support de structure différent. Celle-ci a de toute manière montré une certaine fragilité.
- peinture des pièces en fibre de carbone de la fusée, avec une peinture argent en vue d'éviter un échauffement des parties en fibre de carbone et afin d'augmenter la signature radar pour permettre un meilleur repérage.
- La mise en place d'un parachute aluminisé orange fluorescent, là encore pour augmenter la signature radar et faciliter un repérage dans le ciel et dans la forêt.
- renforcement des procédures d'organisation, de contrôle, et de documentation;

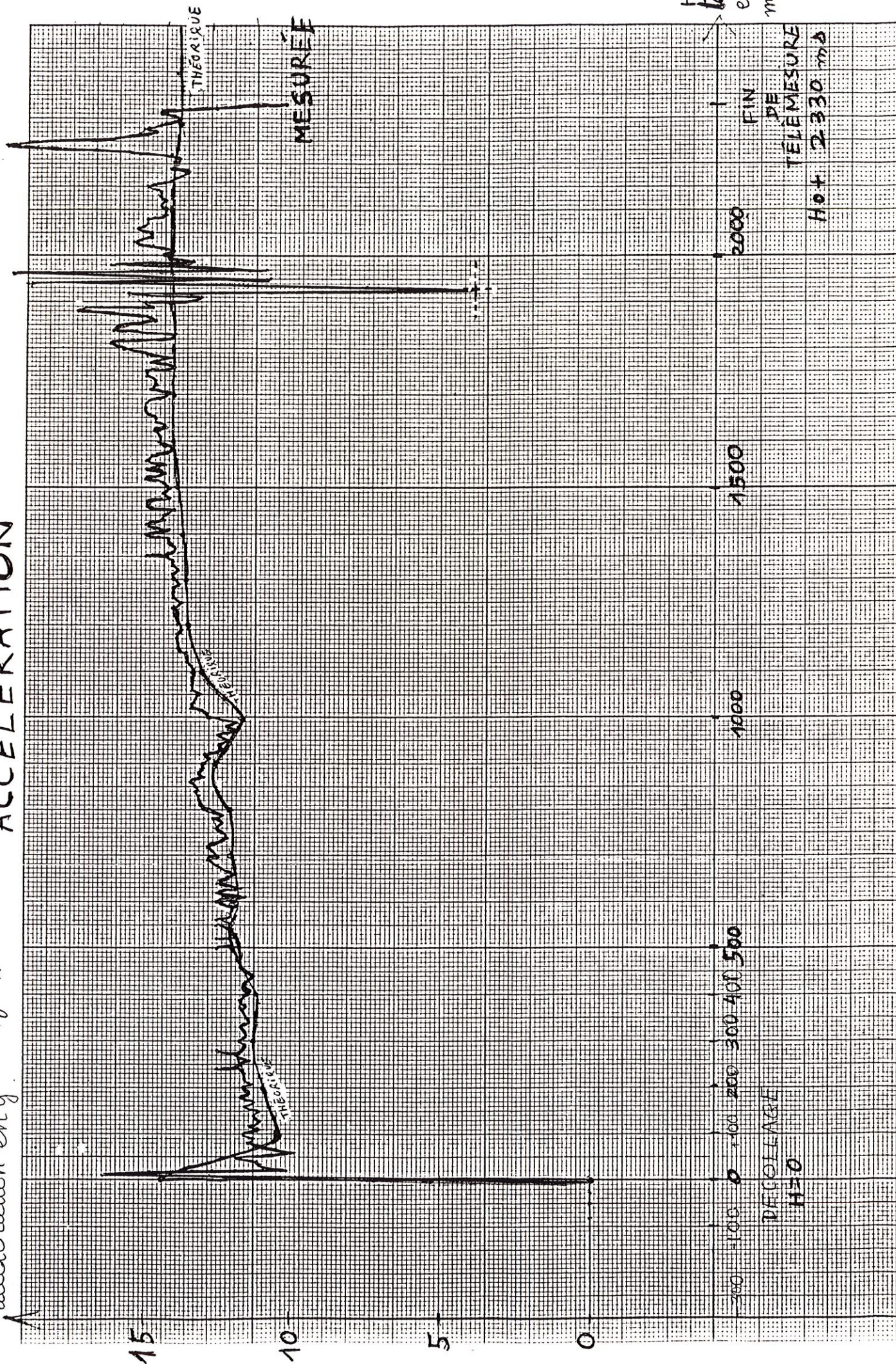
Les améliorations suivantes vont être apportées :

- Augmentation du débit numérique à 25 kbits/seconde
- renforcement des moyens au sol (dépouillement temps réel, réception des télémesures, enregistrement)
- remplacement des bouchons de vol "expérience" par un système de tiroirs d'alimentation avec commutation par cordon ombilicale (problème de mise en route de la télémesure par rapport aux opérations pyrotechniques)
- simplification du bloc minuterie , batterie pyrotechnique de séparation.

ACCÉLÉRATION

$1g = 9,81 \text{ m s}^{-2} \text{ au sol}$

accélération en g



temps en ms

FIN

DE
TÉLÉMESURE

Hot 2330 ms

ALTITUDE (d'après pression statique)

Altitude en m

