



Sciences Techniques Jeunesse



AGENCE FRANÇAISE DE L'ESPACE

EXEMPLAIRE de Francis ESEL

# FUSEE LAMBDA

**Livret d'initiation à la construction  
d'une fusée expérimentale de jeunes**

**Par Michel MAIGNAN**

**Edition 1994**

# SOMMAIRE

- 01** - Editorial
- 02** - Clubs fusées
- 03** - Présentation du livret
- 04** - Développement de projet
- 05** - Le vol de la fusée
- 06** - Le propulseur Isard
- 07** - La récupération
- 08** - L'intégration
- 09** - La minuterie
- 10** - La télémessure
- 11** - La panoplie du constructeur de fusées
- 12** - Techniques de construction
- 13** - Créer un club
- 14** - Réglementation
- 15** - Bibliographie
- 16** - Contenu de la mallette

---

Notes :

## EDITORIAL

A l'origine " LAMBDA " signifiait " quelconque, ordinaire, classique, etc...". Aujourd'hui, avec l'A.N.S.T.J, tout est changé : "LAMBDA " signifie " nouvelle génération de fusée expérimentale ".

Il s'agit en fait d'un modèle de fusée pré-réalisée à laquelle il manquerait des morceaux, comme une sorte de puzzle qui ne serait pas complet. C'est là sa première originalité. La deuxième caractéristique tient au fait qu'elle a été pensée, imaginée par un groupe d' " ingénieurs " en mal de créativité.

Tous les passionnés de propulseurs, de fusées, de lancements et d'émotions fortes devront acquérir ce kit incomplet car ils y trouveront un excellent apprentissage de la méthode de développement de projet, chère aux membres des clubs aérospatiaux. En se dotant de ce nouvel outil, j'allais dire " pédagogique ", l'A.N.S.T.J garantit la réussite du lancement au jour J, ce qui permet de donner libre cours à son savoir faire et à sa maîtrise technique.

En un mot, on vous met plus à l'aise pour aborder les véritables méthodes de travail que pour " bidouiller " pour réussir à tout prix.

Privilégier la méthode au contenu : voilà ce que nous propose la fusée LAMBDA !

A quand les premiers tirs et la jolie trace blanche laissée par le propulseur ISARD dans le ciel de la réussite ?

Vu du C.N.E.S, d'ARIANE 5 à la fusée LAMBDA, il n'y a qu'un pas ....

Marcel LEBARON  
C.N.E.S  
Chargé de mission " Jeunesse "

---

Document et mallette réalisés par Michel MAIGNAN et Michel ILLOUS avec la participation et le soutien de beaucoup d'autres personnes.

# LES CLUBS AÉROSPATIAUX ET L'ASSOCIATION NATIONALE SCIENCES TECHNIQUES JEUNESSE

Aujourd'hui, il existe en France 120 clubs aérospatiaux actifs qui pratiquent des loisirs liés à l'Espace. Leurs objectifs sont variés : les uns animés par des adultes, souhaitent initier les très jeunes aux principes de base des activités spatiales, d'autres sont créés à l'initiative des jeunes eux-mêmes et sont le regroupement d'une bande de copains qui souhaitent mener à bien une expérience scientifique d'amateur dans le domaine spatial.

Tous ont un point commun : ils parlent de fusées, de satellites, de ballons sondes, d'électronique, de mécanique et très souvent ils fabriquent eux-mêmes l'objet de leurs rêves : une fusée.

C'est ainsi que chaque année sont construites et lancées en France 20000 micro-fusées, une centaine de mini-fusées, une vingtaine de fusées expérimentales auxquelles s'ajoutent suivant les années, quelques ballons stratosphériques.

Pour les mordus, il n'existe pas de limite à leur soif de participer à l'aventure spatiale. L'ESIEESPACE en a donné la preuve en 1991 puisqu'après trois ans de travail en collaboration avec le Centre National d'Études Spatiales, il a mis en orbite lors du lancement de la fusée Ariane V44 un satellite amateur : SARA. CNES : reprenez ce sigle car il reviendra souvent dans nos propos.

L'engouement des jeunes pour l'aventure spatiale date des années 60. Spoutnik, premier satellite artificiel de la terre construit par l'Union Soviétique, gros comme un pamplemousse, venait de décoller le 4 octobre 1957. Mais surtout, deux hommes inauguraient une nouvelle profession : Youri GAGARINE le 12 avril 1961 comme cosmonaute et Allan SHEPARD le 5 mai 1961 comme astronaute.

Le retentissement de ces événements dans la presse a marqué les esprits et beaucoup ont alors compris qu'une ère nouvelle venait de s'ouvrir.

Des amateurs voulurent y participer et dans les locaux de fortune, garages, caves d'école, etc... les premiers croquis de fusées sont dessinés. Amateurs et professionnels rencontrent alors des difficultés similaires. Vu les objectifs ambitieux affichés, il faut s'organiser et résoudre le premier problème posé par la recherche spatiale : la propulsion.

Pour les professionnels français, les choses vont dès lors très vite. Le Comité des Recherches Spatiales, créé en 1959, est remplacé par le CNES et des contrats signés avec l'industrie permettent de produire les premières fusées sondes françaises : les fameuses Bélière, Centaure, Dragon, Véronique, Eridan, etc... La même année, la décision de construire un lanceur de satellites français appelé Diamant est prise.

Immédiatement, les amateurs se tournent vers ce nouvel organisme pour lui demander aides et conseils. Des accidents liés à la manipulation des poudres par des personnes inexpérimentées posent le problème de la sécurité de la fabrication des propulseurs fusées. Les pouvoirs publics réagissent énergiquement, et le 7 août 1962, une circulaire signée du Ministère

de l'Intérieur interdit toutes les manipulations des poudres et explosifs par des personnes non accréditées.

En compensation, et pour ne pas pénaliser la volonté des jeunes de construire des fusées, cette circulaire prévoit que le CNES est chargé de mettre en place une politique adaptée (vous trouverez ce décret en annexe).

Cette politique se résume en une phrase :

Tout groupe de jeunes désireux de construire une fusée devra faire le dépôt d'un avant-projet auprès des services du CNES et si le projet est jugé sérieux, un moteur fusée professionnel sera mis gratuitement à la disposition des jeunes pour réaliser les expériences ainsi que les moyens annexes nécessaires à sa mise en oeuvre : pyrotechnicien, aire de lancement, etc.

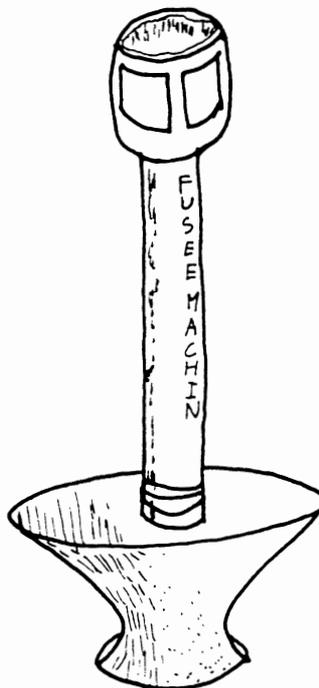
Les jeunes ne pouvaient espérer mieux !!

Les critères pour juger du sérieux ? Les voici :

- la sécurité : L'engin ne doit pas pendant sa phase de fabrication et de lancement mettre en oeuvre des systèmes risquant de porter atteinte à l'intégrité des biens et des personnes.

- l'intérêt de l'expérience : Le CNES ne souhaite pas offrir des moteurs pour faire voler des "tuyaux de poêles" ou des "enclumes". Il faut que l'expérience ait un but scientifique ou technologique. Cela n'est pas du tout synonyme de complexité et il n'est pas obligatoire de réaliser une "première scientifique". Beaucoup de jeunes prennent plaisir à refaire par eux-mêmes les expériences de base souvent très simples de la recherche spatiale.

- la faisabilité : Par ce critère, on vérifie que les objectifs fixés par le groupe sont compatibles avec les délais et les moyens dont il dispose.



Cette politique explique l'origine de la collaboration étroite entre le CNES et les jeunes.

Devant l'affluence des demandes, le CNES a voulu déléguer la gestion des groupes aérospatiaux amateurs à une association qui les regroupe. Le 5 avril 1962, l'Association Nationale des Clubs Aérospatiaux (A.N.C.S.) est alors fondée et le 24 novembre 1963, la première fusée, construite par un club de Paris, est lancée à Sissonne. Il s'agissait de la fusée : ALGOL 1F.

Cette même année, un accord est signé entre le CNES et l'ANCS portant sur l'aide que le premier offre à la seconde, et sur les tâches de l'ANCS (les fanatiques d'épistémologie trouverons en annexe copie de ce document).

Une revue est créée : "3.2.1 Espace". Elle symbolise l'union des clubs aérospatiaux en France.

En 1977, et afin d'accueillir de nouvelles activités comme l'astronomie, l'écologie, la micro-informatique, les énergies, l'ANCS se transforme, change de sigle et devient la "fameuse" ANSTJ.

Au sein de l'ANSTJ, le secteur Espace s'occupe plus particulièrement des clubs aérospatiaux. Il regroupe des jeunes comme vous qui militent pour le développement de leur club, plus quelques anciens membres de clubs. Des permanents salariés travaillent à plein temps pour gérer l'ensemble des activités. Vous pouvez prendre contact avec toutes ces personnes en écrivant ou en téléphonant à l'ANSTJ.

Le secteur Espace est dirigé par un bureau formé par d'anciens membres de clubs et des permanents. Il gère le parc de matériel et organise le suivi des clubs et toutes les activités liées à l'Espace ( stages techniques, formation d'animateur ...)

Pendant les mois de juin, juillet et août, un camion laboratoire équipé des appareils nécessaires aux tests d'une fusée parcourt la France, afin que chaque engin soit mis au point avec minutie et soit qualifié pour participer à la campagne de lancement. Dès que vous aurez manifesté à l'ANSTJ votre volonté de construire une fusée, vous bénéficierez de tous ces services. Vous participerez d'ailleurs vous-même à cette organisation puisqu'elle est basée sur l'entraide.

Dès que votre groupe sera actif, il adhérera officiellement à l'ANSTJ. En 1994, la cotisation était de 240 F par club et par an.

Un des travaux du secteur a, par exemple, été la rédaction du document que vous lisez. Comme il n'est pas toujours facile de tout dire par téléphone pour aider des débutants, nous avons souhaité décrire dans ce livret les éléments de base pour réaliser une première expérience. Le chapitre suivant vous indiquera comment vous en servir à cette fin.

Maintenant que vous connaissez le fonctionnement général des activités fusées de jeunes en France, la législation et les rôles respectifs du CNES et de l'ANSTJ, nous allons vous présenter la vie d'un club constructeur de fusées et surtout les formes possibles pour votre club si vous cherchez à en créer un. Nous pensons en effet, que si vous lisez avec attention ces pages, c'est que règne dans votre esprit un projet similaire...

A l'ANSTJ, nous appelons club tout groupe de jeunes qui a l'intention de construire une fusée. Mais sous ce vocable, des formes très variées d'organisation existent. Cela va de l'équipe de copains, qui se réunit 1 ou 2 fois par semaine dans la chambre de l'un d'entre eux pour dessiner et réaliser des pièces mécaniques ou électroniques, jusqu'au club très structuré, ayant beaucoup de membres et disposant de locaux bien aménagés.

Une manière simple d'entrer dans ce monde est d'aller frapper à la porte des clubs déjà existants et de s'intégrer à l'équipe. Cela est courant et l'on y est toujours très bien accueilli. Vous pouvez connaître la liste des clubs existants dans votre région en écrivant à l'ANSTJ.

Mais, soit parce qu'il n'en existe pas dans votre région, soit parce que vous souhaitez démarrer avec des gens que vous connaissez déjà, vous pouvez avoir envie de créer votre propre club.

Un club c'est d'abord, un local où il est possible de se réunir régulièrement pour parler de l'avancement du projet. A chaque réunion, chacun apporte le morceau de la fusée qu'il est chargé de réaliser et, petit à petit, l'engin se monte. Quand on dispose d'un peu plus de place, on peut installer un petit atelier, ce qui facilite les choses pour les copains qui n'ont pas beaucoup d'outils chez eux.

Les clubs qui existent sont souvent installés dans des locaux comme :

- foyer du lycée ou du collège,
- maison des jeunes et de la culture,
- garage équipé en atelier mis à la disposition du groupe par un parent,
- locaux scolaires,
- etc...

C'est à vous d'être un peu débrouillard pour trouver les meilleures formules.

Il faudra trouver un nom pour votre club. A ce sujet, nous vous faisons confiance. Les choses sont d'ailleurs peut-être déjà faites. Choisissez un nom un peu tape à l'oeil mais pas trop ronflant quand même. Il est plus facile de solliciter une aide en s'appelant club aérospatial Machin que Club des Mangeurs de Pizzas du Mercredi Soir (si si, ce club existe, il regroupe les auteurs et relecteur de ce livret. Le seul avantage de ce nom est que personne n'oublie le jour de la réunion et ne discute pas le menu) .



Quelque soit la formule que vous aurez retenue faites vous aider. Vous avez accès à beaucoup plus de moyens que vous ne l'imaginez.

Prenons l'exemple d'un groupe de 10 jeunes qui se réunissent pour fonder un club. Une équipe de 10 est vite réunie car vous avez sûrement plus de 10 camarades dans vos relations, et si tous ne sont pas passionnés par les fusées, vos camarades ont des camarades qui etc...

Certains ont probablement veillé tard dernièrement pour assister en direct à la télévision au décollage d'une mission spatiale.

Par l'intermédiaire de ses membres, un club connaît en moyenne :

- 20 parents
  - 30 grands-parents
  - 15 frères et soeurs
  - 50 oncles, tantes et cousins
  - 10 parrains et marraines
- soit 100 personnes environ, très proches affectivement du groupe.

A eux s'ajoutent 100 personnes regroupant :

- 10 enseignants sympathiques
- 20 voisins (un à gauche et un à droite pour ceux qui habitent de pleins pieds à la campagne, un au dessus et un au dessous pour les citadins)
- 30 amis des parents
- 10 commerçants, les plus souriants du quartier, etc...

En s'appuyant sur les statistiques, vous pouvez probablement trouver parmi ses 200 personnes que vous connaissez déjà :

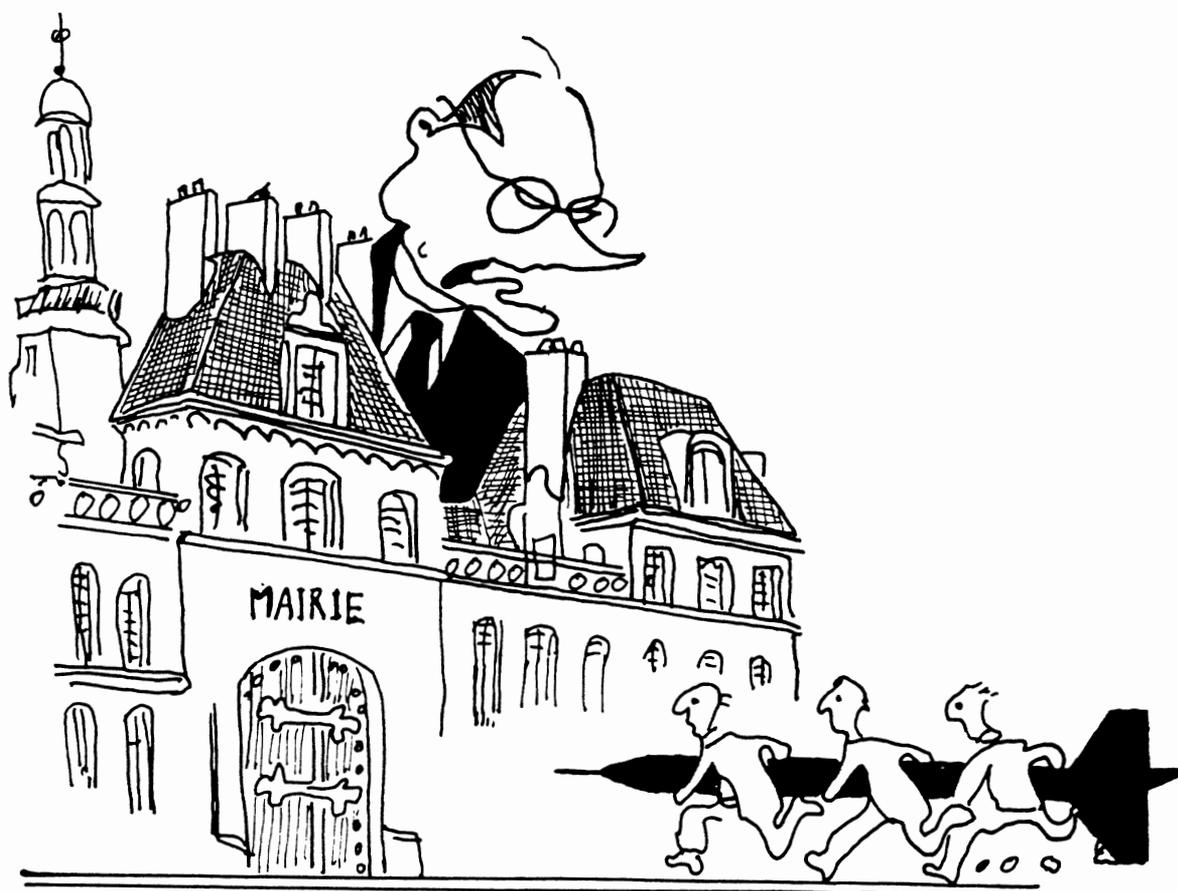
- 3 mécaniciens - 3 électroniciens - 3 ingénieurs - 4 tourneurs - 3 fraiseurs - 0.2 banquier
- 2 électriciens - 1 juriste - 3 cultivateurs - 5 enseignants - 1 politicien
- une maman qui adore faire des tartes pour une bande de jeunes.

Alors, ne nous dites pas que vous êtes perdus dans votre coin. Il suffit que vous connaissiez 3 ou 4 de ces personnes pour vous aider et votre fusée est bien partie.

Et surtout, n'oubliez pas les personnes dont vous ne connaissez pas encore le nom mais qui ont fait profession de vous aider. En allant les voir, vous leur rendez service en leur donnant l'occasion de s'épanouir dans leur carrière :

- les animateurs de la MJC de votre quartier,
- le conseiller municipal responsable des affaires culturelles de votre commune,
- le responsable du foyer socio-éducatif de votre lycée, etc

Florence Artaud, Michael Schumareur... se sont fait offrir des bateaux, des voitures pour pratiquer leur passion. Il serait très étonnant que vous n'arriviez pas à vous procurer les moyens nécessaires pour construire votre première fusée, car soyez convaincus que dans votre domaine de jeunes expérimentateurs, vous êtes aussi forts que les personnes citées plus haut le sont dans leur domaine.



Reste à apprendre à gérer tout ce potentiel, le chapitre "développement du projet" vous donnera un aperçu des méthodes possibles mais d'abord une remarque :

Jusqu'à maintenant, dans les moyens, nous n'avons pas parlé argent et ce, parce que vous n'en aurez pas besoin, ou en tout cas pas besoin de beaucoup. Un petit budget dans un club est toujours le bienvenu mais ce n'est pas en empilant des pièces de monnaie que vous leur donnerez la forme d'une fusée ! Il y a des clubs qui fonctionnent avec moins de 500 F par an. Un budget de l'ordre de 500 F est très suffisant pour réaliser les premières expériences et si vous utilisez les éléments de la mallette associée à ce livre, il vous faudra beaucoup moins puisque les composants les plus onéreux vous sont fournis. (hors le prix de la mallette bien entendu).

Et maintenant à vous de jouer ; ce livret est votre première aide.



## PRESENTATION DU LIVRET

Le premier chapitre vous a décrit dans quel cadre les amateurs construisent des fusées en France.

Indéniablement, leur force vient de leur regroupement au sein de clubs et de la solidarité entre ces clubs au sein d'une association : l'ANSTJ. Le document que vous avez entre les mains est un exemple de cette solidarité.

Ecrit par une équipe passionnée d'animateurs, de membres de clubs et de moniteurs de centres de vacances, il a pour but d'aider un club à construire sa première fusée.

Il est destiné à deux types de lecteurs :

-les clubs qui regroupent des personnes sans connaissance technique et qui souhaitent s'initier à la construction d'un objet évolué.

-les clubs constitués de personnes ayant des connaissances techniques approfondies mais qui n'ont jamais réalisé une fusée et le plus souvent, jamais réalisé un objet technique complexe.

Le premier type de lecteur trouvera dans ce livret tous les éléments de base pour l'aider à démarrer son projet. La fusée est décrite à travers sa mission, ici, une fusée expérimentale destinée à faire une mesure. Détailler cette mission permet de justifier la fonction de chaque ensemble et ses relations avec les autres. Chaque ensemble est à son tour détaillé en éléments de façon à aboutir à des composants manufacturés ou facilement réalisables.

En harmonie avec les aspects techniques, le livret aborde aussi la méthodologie. Il montre combien la technique n'est pas tout et qu'il faut aussi savoir gérer un projet pour le mener à bien. Nous sommes partis de l'hypothèse que le lecteur sait lire et compter et a du goût pour les travaux manuels. Il ne possède aucune connaissance approfondie en physique, électronique, mécanique mais il est prêt à consulter des ouvrages ou des revues pour approfondir des aspects survolés dans ce livret. Les descriptions ont donc été écrites simplement, au prix parfois de quelques entorses aux règles de l'art.

Pour les plus jeunes, il est préférable d'avoir un peu d'expérience en ayant au préalable réalisé une mini-fusée. Il s'agit d'un type de fusée d'environ 1 kg, réalisée en bois et en plastique et embarquant une expérience simple, propulsé par un moteur de petit taille, . On peut en construire une entre copains en quelques semaines et la lancer près de chez soi. Pour plus de renseignements contactez nous.

Le second type de lecteur appartient souvent à des clubs installés dans des écoles de techniciens ou d'ingénieurs. L'expérience nous a montré que ces clubs se lançaient dans des projets avec de grandes ambitions techniques et scientifiques, mais ne les menaient pas à bien, faute de savoir les "manager". Si un tel groupe est capable de réaliser une fusée LAMBDA, disons en 10 soirées de 5 personnes, alors cette équipe aura, en plus de la confirmation de ses compétences techniques, fait la preuve de son aptitude à gérer un programme, tenir un planning, travailler en équipe. Une bonne manière de se roder et de mieux apprécier la disponibilité de chacun. Le projet définitif n'en sera que plus réussi.

Il est évident que pour ce public, certaines explications techniques sont superflues. Ce livret doit être un outil, pas un roman. Il faut piocher dedans ce qui intéresse chacun réellement.

Ce livret est associé à une mallette qui contient des éléments de la fusée. Les pièces mises à disposition des constructeurs sont celles qu'il est difficile de se procurer : les pièces pré-réalisées au tour, quelques composants électroniques ; les pièces liées à l'emploi du moteur Isard qui est le propulseur de la fusée LAMBDA.

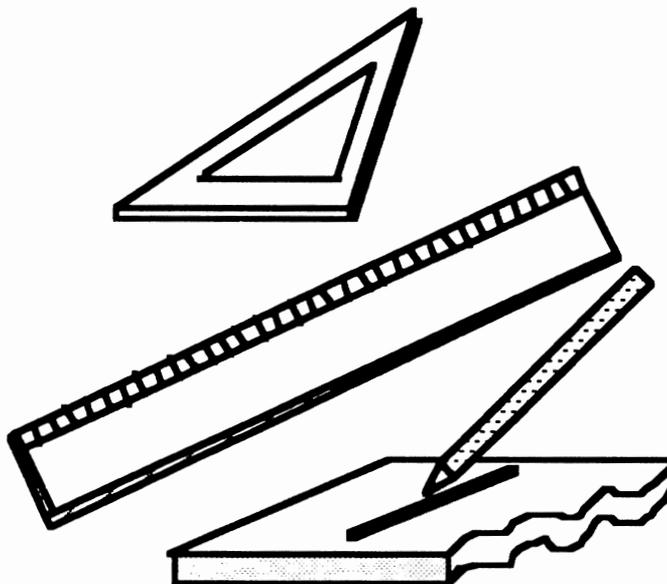
Que les constructeurs de fusée ne s'y trompent pas : cette mallette ne transforme pas la fusée LAMBDA en kit. Il y aura autant de modèles réalisés que de fusées mises en chantier. Ce livret développe un thème technique, il reste à improviser dessus. Pour cela une fusée type est décrite, mais il est possible à chaque constructeur de modifier le canevas de base pour réaliser un objet plus conforme à ses objectifs. Un capteur X peut remplacer le capteur d'accélération décrit dans ce livret, un composant peut en remplacer un autre, s'il est plus facile à réaliser ou à acquérir. Surtout, si vous décidez de modifier un élément de cette fusée n'allez pas dans le sens de la complication. Il sera temps pour votre seconde fusée d'envisager un projet plus ambitieux, fort de cette première expérience.

Seules contraintes impératives à respecter : les obligations contenues dans le document "Cahier des charges pour la construction de fusées mono-étage". Ces recommandations portent sur la sécurité et la pertinence de l'expérience embarquée. Elle permettent de rendre la fusée compatible avec l'aire de lancement commune à tous les clubs. Ce document est dans le mallette. Il est en effet très désagréable de découvrir le jour du lancement qu'une fusée ne peut pas décoller, faute, par exemple, de pouvoir rentrer dans la rampe. Lisez le donc attentivement.

Ce livret sera réactualisé régulièrement pour y intégrer vos remarques et l'évolution des techniques.

L'aventure spatiale vous tente ? Alors lancez-vous.

Une première lecture vous permettra de cerner globalement la notion de fusée. Ensuite, crayon en main, rouvrez le livret, dessinez votre fusée et planifiez sa réalisation !



## DEVELOPPEMENT D'UN PROJET

Construire et lancer une fusée expérimentale n'est pas difficile, mais ce n'est pas non plus une affaire simple. Ceci est difficilement réalisable par une personne seule. Pour cela il faut constituer un club, en s'associant avec des amis qui partagent la même passion. Un club efficace a un effectif de 3 à 10 personnes actives par projet.

Il est utile que le club se trouve rapidement un nom, mais il n'est pas nécessaire au début qu'il ait une forme juridique définie. L'important est de commencer très vite l'activité. Ensuite, selon le cas, le club pourra devenir une association loi de 1901, une section d'un foyer d'école ou de maison de jeunes,... Ces démarches se feront naturellement, car une fois l'activité démarrée, les gens verront l'intérêt d'effectuer ces démarches administratives.

L'ANSTJ pourra, lorsque ce moment sera venu, conseiller le club.

### A - LE PROJET EXPERIMENTAL

Il faut un but à l'activité, un "projet". Le projet est un résultat concret, visible, que l'on attend pour une date donnée. La fusée est le thème du projet que développe ce livret. C'est un véhicule qui va emporter des instruments de mesures et d'observations à travers l'atmosphère. Un grand nombre d'observations est possible : le vol de la fusée, son accélération, sa vitesse, son comportement ; l'atmosphère environnante, sa pression, sa température, le sol survolé, prises d'images...

En fonction des goûts et des connaissances de ses membres et d'une première estimation très empirique de ses moyens, le club choisira de réaliser une expérience. Pour une première fusée, elle devra être très simple et le club fera une évaluation sommaire de la démarche à suivre pour arriver au but à temps, pour participer à la prochaine campagne de lancements.

Avoir des idées est bien. Mais le mieux est de les concrétiser en menant un projet à terme, afin de pouvoir savourer une réussite méritée. Cela demande un mélange bien dosé de rêve et de réalisme. Le rêve pour oser partir sur un projet. Le réalisme pour arriver au but fixé.

Il est important de comparer les moyens qui seront nécessaires avec ceux dont on dispose effectivement et d'ajuster l'ampleur du projet en conséquence. Les moyens, ce sont les capacités techniques des membres du club, les moyens techniques et le temps dont on dispose.



## **B - LE TEMPS DISPONIBLE**

Le temps est le facteur sur lequel nous avons le moins de contrôle. Il passe inexorablement jusqu'à ce que les échéances arrivent. Il importe dès que possible, d'en faire un budget relativement précis. Le plus facile est peut être de ne compter ni en jours, ni en heures, mais en "modules de travail" de 2, 3 ou 4 heures selon les cas : on arrive, on s'installe, on fait quelque chose, on ramasse, on s'en va.

Dans le calendrier national, les projets doivent être en gros terminés pour la fin du mois de juin, le temps restant devant être consacré aux contrôles et à la préparation des campagnes et des comptes rendus et à la mise en valeur du projet. Et puis, il y a souvent des examens scolaires en fin d'année.

Il est utile et important, calendrier en mains, de faire le décompte du nombre de modules de temps disponible, en tenant compte de la liberté de chacun. Puis, sachant bien qu'il faut du temps pour l'organisation, les contacts, la recherche des ressources..., il faut diviser ce temps brut par 3 ou 4 pour obtenir le temps réellement disponible pour concevoir et construire une fusée.

Il faut alors voir l'autre volet du budget de temps : découper l'avant-projet en tâches élémentaires, faire le bilan du temps nécessaire à l'exécution de ces tâches élémentaires et le comparer avec le temps réellement disponible. Il reste ensuite à ajuster les ambitions du projet en conséquence.

Souvent les personnes au tempérament enthousiaste négligent cette réflexion sur le temps. Quand vous entendez des propos tels que : " Allons y, tout ira bien, nous aurons largement le temps" méfiez vous. Prenez un calendrier et comptez les jours. Une fusée terminée un jour trop tard ne volera pas faute d'aire de lancement et pourtant une journée est une durée courte sur un projet d'un an.

## **C - L'ORGANISATION D'UN GRAND PROJET**

Autrefois ( avant Apollo ) quand on avait un projet, on le poussait comme on pouvait jusqu'à ce qu'il soit réalisé. La complexité des premières missions sur la Lune a amené une réflexion sur la conduite des projets et la mise au point d'une méthode qui depuis, a fait ses preuves dans toutes les entreprises aérospatiales. John Kennedy, Président des Etats-Unis, fit le 23 mai 1961 un discours dans lequel il affirma que son pays marcherait sur la Lune avant 10 ans. Vous imaginez qu'un tel pari à l'échelle d'un pays doit être minutieusement organisé pour réussir et il a été effectivement gagné le 21 juillet 1969.

La conduite d'un projet fusée LAMBDA se déroule en sept phases qui sont :

- la définition des objectifs
- l'avant projet
- la définition du projet
- la réalisation du projet
- la qualification de la fusée
- la campagne de lancement
- l'exploitation des résultats et la conclusion du projet.

Une bonne gestion du projet veut que l'on marque formellement la fin de chaque phase par une "revue" concrétisée en général par un document, et que tout retour en arrière vers une phase antérieure soit strictement proscrit.

### C.1 La définition des objectifs

Il y a d'abord des idées floues, encore imprécises. Il faut en collecter le maximum, d'une part pour se laisser la possibilité d'un choix, d'autre part parce que des expériences intéressantes peuvent provenir d'idées surprenantes, réévaluées.

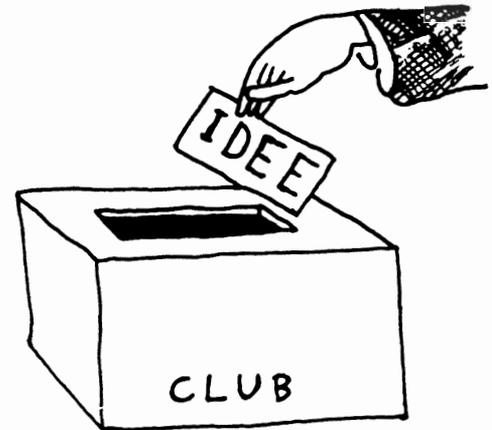
Possédant ainsi un important potentiel d'idées, le club va devoir les sélectionner. Les principaux critères sont les moyens dont disposent le club.

Ils sont d'ordre :

- techniques : moyens de réalisations et d'essais,
- financiers : évaluation d'un budget,
- humain : surcharge possible des membres dont le nombre n'est pas adapté à la quantité de travail à réaliser,
- temporels : disponibilité des membres du club,
- qualificatifs : niveau de connaissance des membres.

En reliant chaque proposition aux moyens nécessaires à sa réalisation, la sélection sera faite. N'oubliez pas que dans le cadre de la fusée Lambda qui se veut un projet, les objectifs doivent être des plus simples et qu'une seule mesure est effectuée à bord.

Cette phase est finalisée par un document appelé : "RAPPORT DE DEFINITION D'OBJECTIFS" dont vous trouverez un sommaire type à la fin de ce chapitre. Vous en enverrez un exemplaire à l'ANSTJ qui ainsi prendra acte officiellement de votre volonté de mener un projet pour l'année en cours et qui pourra vous suivre et vous aider plus efficacement. Afin de laisser suffisamment de temps pour les phases suivantes, il est impératif que ce document marquant la fin de cette première phase soit envoyé à l'ANSTJ pour le 15 Novembre au plus tard. Comme la fusée Lambda est une fusée simple à réaliser ce document n'est pas compliqué à écrire.



**15 Novembre**

### C.2 L'avant projet

Les objectifs ayant été définis, il faut maintenant rechercher les solutions théoriques et techniques définitives. Tous les problèmes techniques doivent être passés en revue même s'ils ne font pas, dans l'immédiat, l'objet d'un développement complet. Surtout, n'oubliez pas à ce stade, de contrôler la conformité de vos solutions avec les contraintes imposées par le "Cahier des Charges" qui vous a été remis par l'ANSTJ.

Toutes les solutions techniques retenues sont alors schématisées dans un document (schémas précis des éléments mécaniques, schémas de principe de l'électronique,...). Le choix du propulseur est fait lors de cette phase. Pour la fusée LAMBDA, il est vous imposé et il s'agit d'un propulseur ISARD.

En parallèle avec la résolution des problèmes techniques, il est indispensable de définir le planning général du projet. Pour cela, une évaluation fine et complète des besoins humains, matériels et financiers doit être faite. Le plan de charge de l'équipe et les interfaces doivent donc être appréciés avec beaucoup de sérieux.

Une personne de l'équipe doit coordonner l'équipe, c'est le "chef de projet". Il deviendra le correspondant technique du club avec les animateurs de l'ANSTJ qui pourront l'aider et le conseiller pour mener à bien le projet. La répartition des tâches entre toutes les personnes du club doit être clairement établie : qui fait quoi et quand.

Cette deuxième phase est également finalisée par un document appelé "RAPPORT D'AVANT PROJET" dont vous trouverez un sommaire type à la fin de ce chapitre. Vous en enverrez un exemplaire à l'ANSTJ qui pourra ainsi vous donner des conseils et des remarques et surtout décider de vous **réserver un propulseur pour la campagne de lancements**. Pour cela, cette phase doit se terminer de telle façon que ce document soit remis à l'ANSTJ pour le 15 janvier au plus tard.

**15 Janvier**

### **C.3 La définition du projet**

Cette phase du programme est très importante. Les temps de réflexion et les éléments techniques manquants doivent être obtenus de manière à choisir au mieux. Durant cette période, un maximum d'informations sera fourni par le "chef de projet" à tous pour que chacun participe en toute connaissance de cause à la décision finale dont dépend la réussite du programme.

Il s'agit alors de terminer rapidement la mise en place des moyens de réalisation, de réaliser et tester les maquettes des différents systèmes et de construire une maquette d'intégration. Tous ces éléments permettent de compléter l'avant-projet par :

- la rédaction de la liasse de plans de fabrication
- la planification affinée et la répartition définitive des tâches
- le calcul approximatif de la stabilité et des performances.

Cette phase d'ingénierie du projet est finalisée également par un document appelé "RAPPORT DE DEFINITION DU PROJET". Ce rapport est issu de celui d'avant projet revu amélioré, et complété. Il présente les éléments complets et définitifs. Il constitue aussi pour le club le dossier "industriel" du programme.

**1 Mars**

Afin de vérifier la cohérence avec les phases précédentes et d'analyser les éventuels problèmes techniques passés inaperçus au club, ce document doit être envoyé à l'ANSTJ pour le 1er mars au plus tard.

## **C.4 La réalisation du projet**

La réalisation du modèle de vol s'effectue en quatre phases :

- réalisation des systèmes isolés
- montage des sous ensembles sur table
- intégration
- étalonnages

Entre ces phases, un maximum d'essais doivent être fait. La vigilance du chef de projet ne doit pas se relâcher en particulier lorsque des éléments épars sont terminés. Il doit surveiller les échéances et tenir compte des retards qui ne manquent jamais de se produire.

A la fin de cette phase, votre fusée est terminée et fonctionne correctement. Afin de garder la mémoire technique du programme, le document "RAPPORT DE DEFINITION DU PROJET" a été corrigé, des détails ayant évolué, et est tenu constamment à jour. Ce document est important car il explique comment la fusée est effectivement fabriquée et cela permet de la réparer rapidement en cas de panne.

Il ne reste plus qu'à qualifier l'engin afin d'obtenir le feu vert pour le lancement. La qualification des fusées se fait en deux temps : la visite d'avancement et les contrôles finaux..

## **C.5 La qualification de la fusée**

C'est le chef de projet qui prévient l'ANSTJ que la visite d'avancement peut avoir lieu. Après accord, un ou plusieurs animateurs ANSTJ viennent au club et procèdent à l'examen de la fusée. Sont alors effectués plusieurs contrôles :

- contrôle des sécurités pyrotechniques
- compatibilité avec la rampe
- essais de fonctionnement du système de récupération et de la télémessure
- attribution des matériels prêtés
- contrôle de la tenue mécanique de la fusée
- contrôle de la stabilité et estimation des données du vol (contraintes et trajectoires)
- compatibilité propulseur
- présentation des étalonnages.

Vous trouverez dans le document "Cahier des Charges" la liste des contrôles et comment ils sont effectués.

A l'issue de ces contrôles sera donné le feu vert pour la participation à la campagne de lancements.

Dans le cas où un problème technique ne permet pas l'examen complet de la fusée, le club doit résoudre ce problème au plus vite et la fusée devra passer un examen complémentaire. Cette procédure doit être exceptionnelle.

Au cours de la qualification, la préparation du club pour la campagne est également étudiée :

- établissement d'une check-list,
- établissement de la chronologie de lancement de la fusée (vous trouverez dans le "Cahier des Charges" une chronologie type),
- conditions ou matériels particuliers nécessaires lors de la campagne,
- inscription du club et de ses membres à la campagne,

- répartition des membres du club dans le plan d'opération,
- présentation du projet pour le catalogue de la campagne.

N'oubliez pas que les réparations importantes ne peuvent être faites sur la base de lancement, aussi faut-il prévoir les moyens de secours : doubles des circuits, de certaines petites pièces fragiles ou pouvant être perdues.

### C.6 La campagne de lancements

Un moteur de fusée est un engin puissant qui libère rapidement pendant son fonctionnement une énergie concentrée considérable. Ce n'est pas un jouet : son utilisation demande un certain nombre de précautions. C'est pour éviter les accidents qu'il est absolument interdit de fabriquer des moteurs de fusée et que le lancement des fusées expérimentales doit se faire sous le contrôle du CNES et de l'ANSTJ.

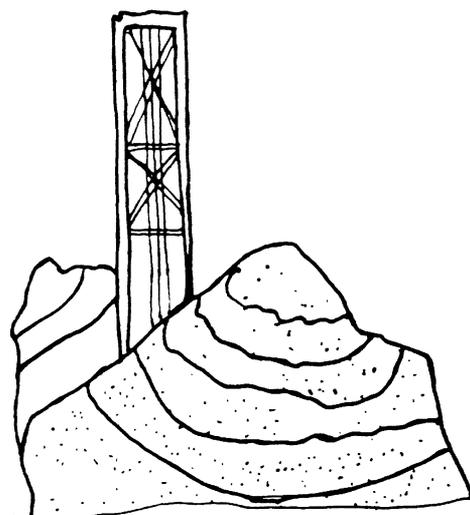
Le bon côté de cette politique de sécurité est que le CNES met gratuitement à la disposition des clubs, des moteurs performants construits par des professionnels. Ensuite l'ANSTJ et le CNES interviennent pour aider les clubs à organiser des campagnes de lancements, en général sur un terrain militaire car de vastes espaces inhabités sont nécessaires pour assurer la sécurité des lancements. Un matériel important permet le bon déroulement des opérations. Les lancements ont en général lieu pendant le dernier week-end d'août et rassemblent plus de 300 jeunes.

Les jours pendant lesquels les lancements ont lieu étant fixés, il faut donc que l'équipe du club arrive un peu plus tôt afin de mettre en œuvre la fusée qui aura pu voyager en plusieurs morceaux, et qui devra passer les contrôles finaux et le matériel nécessaire au déroulement de la campagne au sein des équipes du plan d'opération.

Dès l'arrivée de l'équipe sur la base de lancement, l'ANSTJ met à la disposition du club, outre le logement et la restauration, un emplacement dans le bâtiment d'intégration finale (appelé par tradition "R3"). Le club y installera son matériel. La fusée est alors remontée et préparée par une partie de l'équipe tandis que les autres membres du club participent à la mise en place des moyens de lancements (rampes, tentes, moyens de communication, appareils utilisés pour le suivi des trajectoires....).

Les contrôles finaux sont effectués. Reportez-vous au "Cahier des Charges" pour la liste complète de ces contrôles. A l'issue de cette dernière vérification, le créneau de lancement est choisi. La fusée est définitivement refermée après que les piles de vol aient été installées.

Le jour J est enfin arrivé. Sur l'aire de lancement, sous le regard des nombreux spectateurs et des autres clubs, la chronologie est déroulée jusqu'au moment où une personne du club appuyera sur le bouton de mise à feu du propulseur.



Pendant toute sa trajectoire, la fusée est suivie par les équipes de localisation du plan d'opération ainsi que par l'équipe télémétrie qui assure la réception et l'enregistrement des données transmises par l'émetteur. Puis les équipes de récupération se dirigent vers le point de chute et la fusée retrouve ses concepteurs après avoir effectué sa mission avec succès.

Quelques jours plus tard, les données télémétrées sont relues sur l'enregistrement magnétique et décodées pour être enfin enregistrées sur papier. En fonction des besoins exprimés par le club, certains traitements peuvent éventuellement être effectués sur les mesures.

A la fin de la campagne, après le repli du matériel ayant servi à tous les lancements, le club repart chez lui, ramenant sa fusée ainsi que les enregistrements (magnétique et graphique) de sa télémétrie et toutes les données obtenues pendant son vol.

Le contact avec les autres clubs présents à cette campagne et les enseignements acquis pendant cette période forte en émotions ont déjà donné à certains des idées pour le prochain programme qui va démarrer au club avec la nouvelle année scolaire. Mais avant, il faut sans tarder conclure le projet présent en exploitant les résultats.



### C.7 L'exploitation des résultats et la conclusion du projet

Après une étude approfondie de la fusée récupérée, des prises de vues, des divers comptes rendus et du dépouillement de la télémétrie, les résultats de l'expérience doivent être comparés aux objectifs. Les conclusions sont ensuite tirées.

Mais le développement d'un programme ne s'arrête pas là. Il reste à rédiger le rapport d'expérience qui représentera la seule concrétisation de l'expérience de ce programme.

En effet, si l'acte de naissance de tout projet est le document écrit de l'avant projet, c'est encore un document écrit, le compte rendu, qui met fin à la vie du projet. Il rappelle les objectifs, les conditions de réalisation (le club, son environnement...), récapitule les étapes du projet, présente les plans caractéristiques, annonce les résultats et les conclusions.

C'est la trace et le souvenir que garderont les membres du club, le témoin de leur progrès et de leurs succès et le bilan de la confrontation expérimentale entre les hypothèses et la réalité.

C'est aussi le point final du contrat avec le CNES et l'ANSTJ et les organisations qui ont fourni des moyens pour le projet.

**1 Novembre**

Afin de ne pas perdre de temps pour démarrer un nouveau projet, ce rapport doit être terminé au plus tard le 1er novembre.

Un compte rendu bien fait et bien présenté est un outil essentiel pour faire connaître le club et le mettre en valeur auprès des médias (télévisions régionales, radios locales et surtout journaux qui laissent des traces...) et auprès des organismes et entreprises susceptibles d'aider le club. C'est une "référence" durable. De plus il servira de référence technique pour les équipes futures. Elles y trouveront l'expérience de leurs aînés qui auront probablement quitté le club.

L'activité d'un club qui grandit demande souvent des soutiens, tant en moyens qu'en finances, et ces soutiens doivent être trouvés dans l'environnement local. C'est pour cela qu'une bonne promotion du club est indispensable.

**D - LE ROLE DE L'ANSTJ PENDANT LE DEVELOPPEMENT DU PROJET**

Durant le déroulement du projet, le rôle de l'ANSTJ ne se limite pas à assurer les opérations ponctuelles définies dans ce chapitre. Son équipe d'animation se tient à la disposition des clubs, pour les aider durant tout le développement de ce projet en particulier par une correspondance suivie où doivent être abordés tous les problèmes. Il est certain que les animateurs de l'ANSTJ ne peuvent apporter une solution à tous les problèmes (et c'est heureux !) mais ils peuvent permettre d'en faire une meilleure approche et apporter idées et conseils.

Les responsables ANSTJ ne jouent un rôle de contrôleurs que dans les cas extrêmes (sécurité de fonctionnement, incompatibilités techniques) et lors de la qualification de la fusée. Ils sont toujours dans ce cas en accord avec le CNES qui approuve cette démarche.

Dans tous les cas, l'ANSTJ est votre Association. Il ne faut pas avoir honte d'exposer vos problèmes, et pour un groupe nouveau ils sont nombreux. Un dialogue suivi assure aussi une aide constante dans vos travaux, la prévention d'erreurs importantes et supprime le côté autoritaire des contrôles.

Enfin, il ne faut pas, à la vue de ce chapitre, que le chef de projet et son équipe prennent peur devant le travail que nous leur présentons. La plupart des opérations décrites ici sont réalisées intuitivement et le rôle de ce texte est d'informer pour éviter des erreurs ou des omissions. C'est par le nombre important et la diversité des activités que le développement d'un projet demeure d'une part, un lieu de loisirs et d'animation, d'autre part un moyen de formation technique et humaine des plus évolués.

**E - RESUME DES DIFFERENTES PHASES DE DEVELOPPEMENT D'UN PROJET**

Tâches / date	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct
Définition des objectifs	xxxxxx												
Avant projet		xxxxxxxx xx											
Définition du projet				xxxxxxxx									
Réalisation						xxxxxxxx							
Qualification								xxxxxxxx					
Campagne de lancement											xxxx		
Exploitation-Conclusion												xxxxxxxx	

**ECHEANCES AU PLUS TARD**

- 15 Novembre : Rapport de définition d'objectifs,
- 15 Janvier : Rapport d'avant projet,
- 1 Mars : Rapport de définition du projet
- 1 Novembre : Compte rendu d'expérience

## **E - TRAME DU RAPPORT DE DEFINITION D'OBJECTIFS**

Une définition d'objectif est un document qui doit aborder au moins les points suivants :

### **1) Evaluation des moyens**

\* Nombre de membres (actifs) du club, avec indication de leur niveau. Estimation des compétences au sein de l'équipe (électronique, mécanique, anciens participants de camp, anciens membres du club...).

\* Nombre de 1/2 journées ou de soirées disponibles pour chacun pendant l'année, (disponibilités des membres).

\* Local.

\* Matériel disponible et matériel auquel le club a accès.

\* Budget prévu pour l'année.

\* Personnes extérieures pouvant apporter un soutien au projet.

### **2) Vie du club**

\* Actions ou manifestations prévues pour l'année.

\* Demandes particulières à l'ANSTJ.

\* Problèmes généraux rencontrés par le club en ce moment.

### **3) Proposition d'expérience**

\* Nombre de projets prévus.

\* Eventuellement, bref rappel des projets commencés l'année précédente et de leurs objectifs.

\* Choix des objectifs du projet.

\* Proposition d'expérience (par projet).

\* En fonction de l'expérience envisagée :

- principe de l'expérience,

- principe du ou des capteurs réalisés par le club,

- type de codage de la mesure,

- principe du système de récupération,

- principe d'étalonnage de la mesure,

- particularité du concept de l'intégration de la charge utile.

N.B. Ce document est à remettre à l'ANSTJ pour le 1er décembre au plus tard.

Pour être pris en compte, ce document doit être précédé par l'envoi d'un compte rendu d'activité relatif au dernier projet développés. Pour un nouveau club ceci évidemment est sans objet.

## **G - RAPPORT D'AVANT PROJET**

Un rapport d'avant projet est un document qui doit aborder au moins les points suivants :

### **1) Rappel des objectifs**

### **2) Etude des points durs**

### **3) Choix définitif des solutions théoriques et techniques**

- Capteurs de mesure (technologie, étendue de mesure...)
- Codage
- Emission
- Décodage et méthode d'exploitation des mesures
- Intégration
- Système de récupération
- Choix du propulseur et raisons de ce choix.

### **4) Définition des éléments de la fusée**

- Description précise de l'expérience,
- Phénomènes physiques mesurés et étendus de mesures,
- Schémas des capteurs avec ordre de grandeurs des diverses côtes suite aux études théoriques.
- Schémas de principe précis des équipements électroniques,
- Définition des étalonnages,
- Structure : matériaux, diamètre, épaisseur...
- Schémas de principe des systèmes mécaniques avec côtes approximatives.
- Schémas de l'intégration,
- Contrôle de conformité avec les contraintes extérieures : étendues des mesures, rigidité, vibrations, matériaux, composants, antenne...
- Schémas des systèmes d'initialisation et de sécurité (minuterie, goupilles, bouchon de vol, éléments pyrotechniques, systèmes de tests..).
- Estimation de la masse totale (avec propulseur).

### **5) Organisation, gestion de projet**

- Principales dates butées de chaque tâches.
- Répartition des tâches en fonction des moyens humains et matériels du club (remise du document de Projet au plus tard le 1er mars).
- Désignation du Chef de Projet (et adresse pour contact avec ANSTJ).
- Aides et soutiens demandés à l'ANSTJ, nature et planning.
- Participation aux actions nationales (stages, Journées d'Etudes, campagne...).
- Manifestations locales du club (dates et équipes).

**6) Prévision des achats de matériels** ou d'utilisation de moyens d'essais, évaluation des besoins : documentation, visites d'industriels, matériels prêtés ou donnés...

N.B. Ce document est à remettre à l'ANSTJ pour le 1er janvier au plus tard.

## H - RAPPORT DE DEFINITION DE PROJET

Un rapport de projet est un document qui doit aborder au moins les points suivants :

- 1) **Rappel des objectifs,**
- 2) **Evolution du club depuis le précédent rapport,**
- 3) **Liasse de plans,**
  - plans mécaniques,
  - plans des circuits électroniques,
  - plans du câblage de la fusée avec les interrupteurs,
- 4) **Méthode d'étalonnage de l'expérience**
  - protocole,
  - courbe d'étalonnage,
- 4) **Planning de fabrication,**
- 6) **Difficultés rencontrées,**
- 7) **Nouvelles du clubs,**
  - expositions,
  - date des visites de l'ANSTJ souhaitées,
  - etc,

Le principe de ce document est qu'il devrait permettre à une entreprise indépendante de l'équipe projet de construire et régler entièrement la fusée, en y trouvant toutes les informations nécessaires.

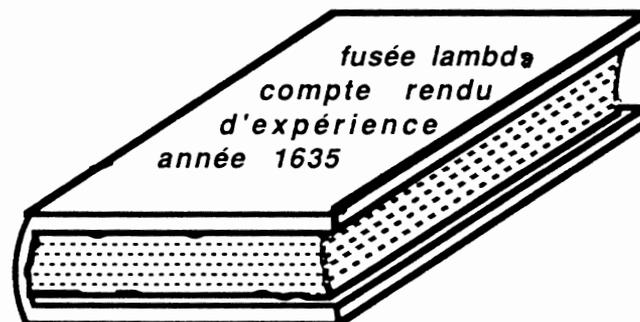


## **I - COMPTE RENDU D'EXPERIENCE**

Un compte rendu d'expérience est un document qui doit aborder au moins les points suivants :

- 1) Description rapide du club et de l'équipe,**
- 2) Description des objectifs scientifiques,**
- 3) Liasse de plans,**
  - plans mécaniques
  - plans des circuits électroniques
  - plans du câblage de la fusée avec les interrupteurs,
- 4) Bref résumé des étapes de la fabrication et des difficultés rencontrées,**
  - indications des modifications apportées au document projet,
- 5) Compte rendu de la campagne de lancement,**
- 6/ Résultats brutes obtenus pendant le vol,**
- 7) Interprétation des mesures et comparaisons avec les objectifs scientifiques initiaux,**
- 8) Remerciements aux personnes ayant soutenues l'équipe,**
- 9/ Une chouette photo de l'équipe avec la fusée,**

Ce rapport d'expérience est un document très important. Il va vous permettre l'année suivante de montrer votre savoir faire et vous permettre de convaincre plus de personnes pour réaliser un projet plus ambitieux.



# LE VOL DE LA FUSEE

3... 2... 1... ZERO.

Et la fusée s'élève majestueusement dans le ciel... Une fusée vole, c'est incontestable, mais comment ?

Comme tout véhicule, elle possède un moteur qui la propulse. Il n'est pas question de chauffeur qui la dirige. Elle doit se guider seule, ou presque, tout au moins sans intervention humaine.

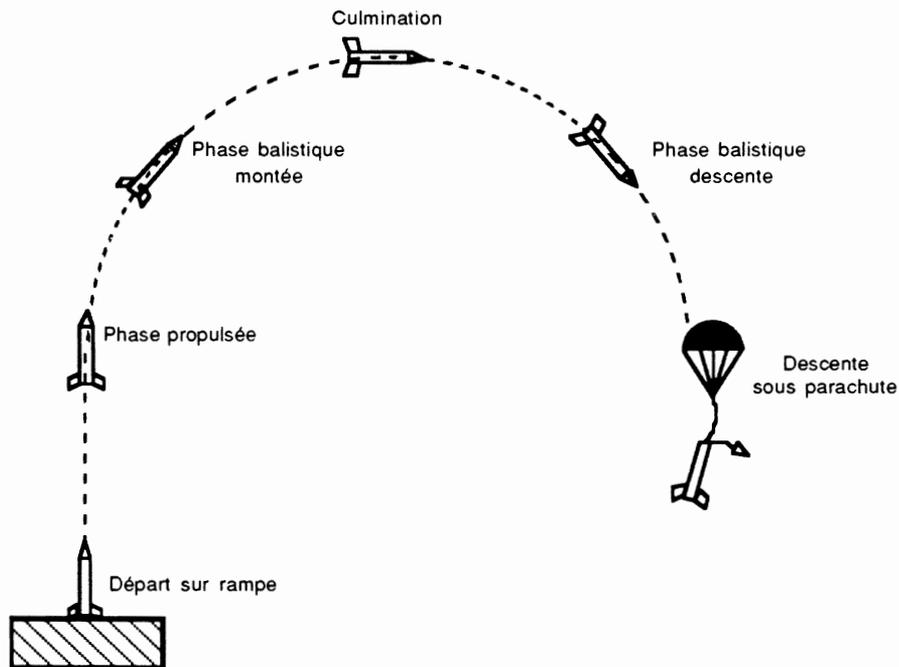
## A - QUELQUES DEFINITIONS

Nous appellerons **stabilité** la capacité pour la fusée de conserver la même attitude (pointée vers le ciel) durant son déplacement.

Le but de la fusée étant de transporter à une altitude donnée une expérience d'une masse donnée, nous nous intéresserons à sa trajectoire. Celle ci dépendra de la stabilité, de la masse, de la résistance de l'air, du moteur et de sa géométrie.

Le moteur propulse la fusée pendant la combustion de la poudre qu'il contient : c'est la **phase propulsée**.

Une fois la poudre consommée, la fusée poursuit sa montée grâce à la vitesse acquise, comme une pierre lancée en l'air : c'est la **phase balistique**.



La fusée ralentit à cause de son frottement dans l'air et de l'attraction de la terre, culmine puis redescend. C'est en général le moment choisi pour sortir le parachute qui permettra une descente en douceur de la fusée jusqu'au sol : c'est la **phase descente sous parachute**.

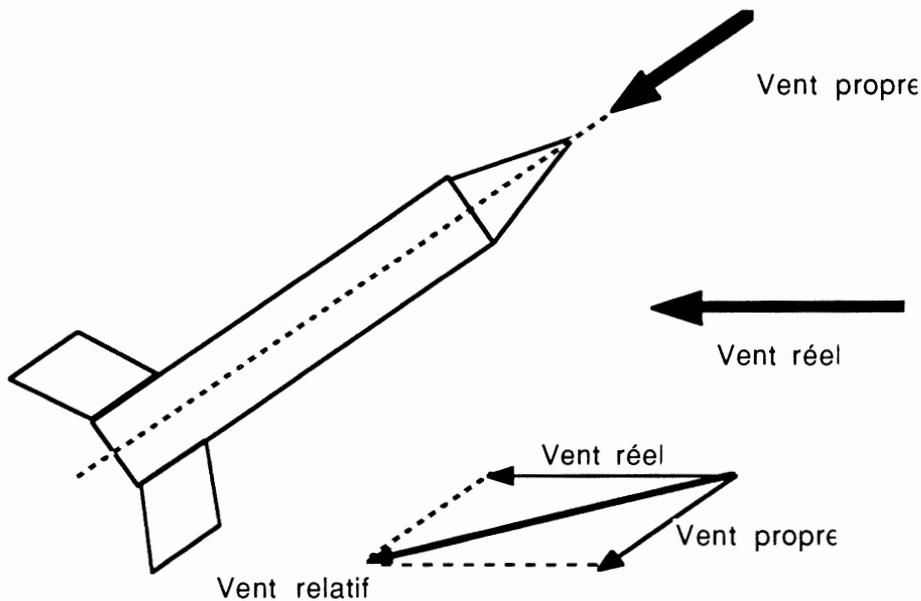
Trois forces contribuent au déplacement de la fusée :

- la **poussée** du moteur qui s'applique au Centre de Gravité (C.G.),
- le **poids** de la fusée qui s'applique aussi au Centre de Gravité,
- la **résistance de l'air** à l'avancement de la fusée qui s'applique en un point appelé "**Centre de Poussée aérodynamique**" (C.P.).

La résistance de l'air provient de l'action combinée :

- de l'air par rapport à la fusée en déplacement nommé le **vent propre**. La vitesse de ce vent est égale à la vitesse de déplacement de la fusée.
- de l'air en déplacement pour des raisons météorologiques nommé le **vent vrai ou réel**.

Les vitesses de ces deux vents s'additionnent pour ne donner qu'un seul déplacement d'air apparent : le **vent relatif ou apparent**.



Et pour ceux qui se laisse impressionner par la haute technologie, nous allons reprendre la démonstration avec un vélo. En roulant par un jour sans vent, vous sentez votre vent propre arriver de face sur votre visage. A l'arrêt ce vent n'existe plus.

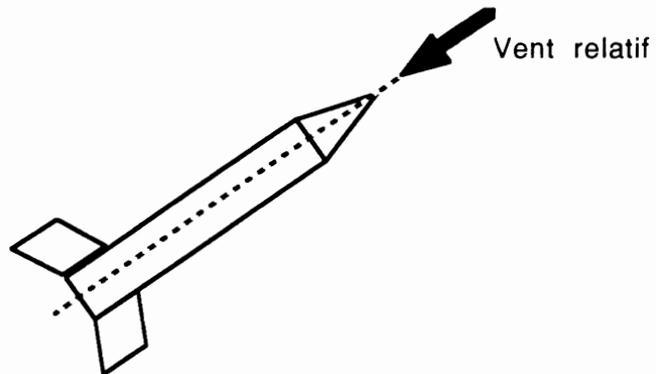
Le vent réel est celui contrôlé par la Météorologie Nationale ! Quelque soit votre vitesse ce vent est le même.

Le vent apparent est la combinaison des deux. Si le vent réel est de 20 km/heure et que votre vitesse au compteur du vélo est aussi de 20 km/heure, vous pouvez vous retrouver dans une des situations suivantes :

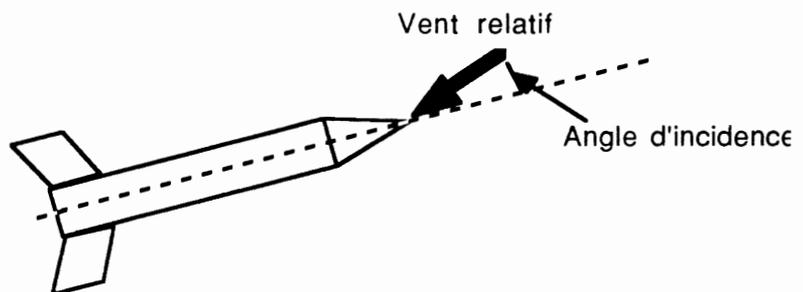
- vous roulez face au vent réel, votre vent apparent vient de face à 40 km/heure. Attention aux mollets !
- vous roulez dos au vent réel, votre vent apparent est alors nul. Ce n'est pratiquement plus la peine de pédaler.
- vous roulez avec un vent réel de travers. Le vent apparent arrive sur vous à 45° par l'avant à la vitesse de  $20 \times 1.414 = 28,28$  km/heure. Vérifiez tout cela en roulant avec un petit drapeau à la main.

## **B - LA STABILITE DE LA FUSEE**

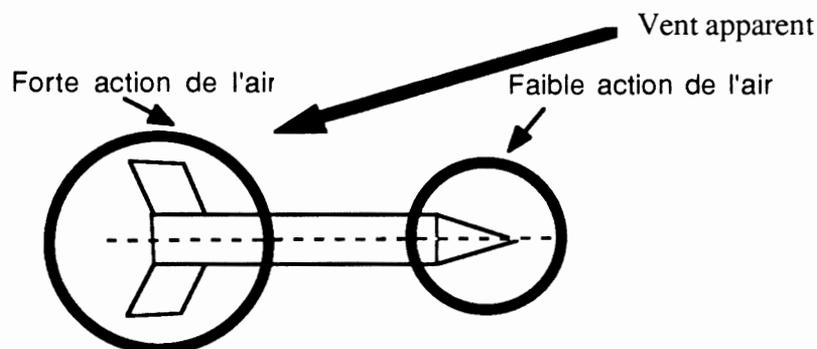
Pour être stable, la fusée doit conserver la même attitude durant son vol. Pour la fusée, **conserver son attitude** consiste à maintenir son **axe longitudinal aligné avec le vent relatif**.

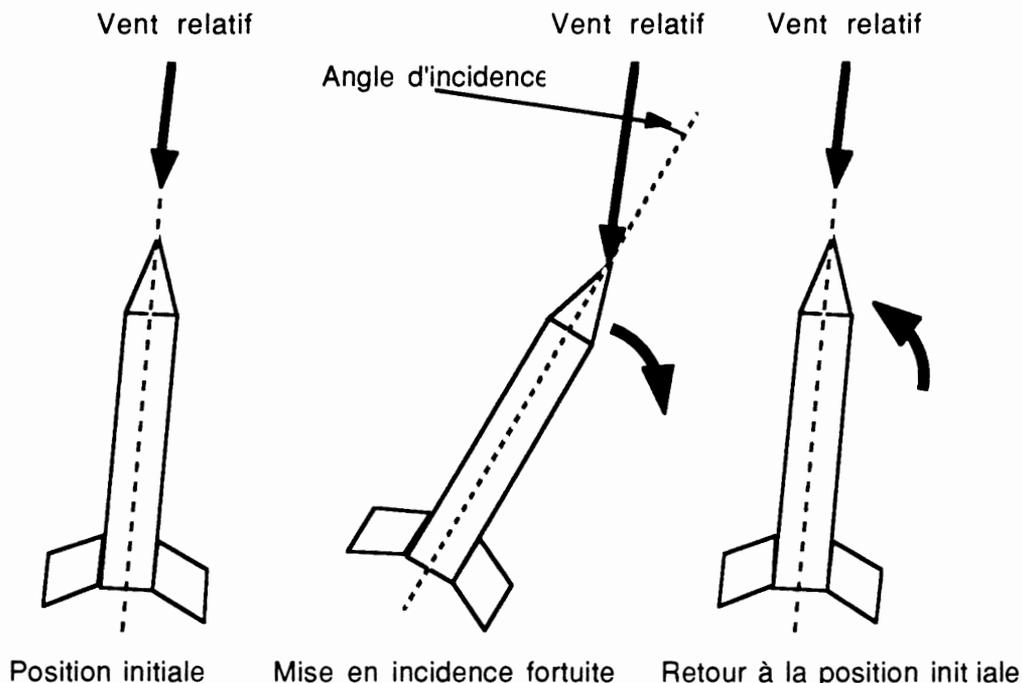


Lorsque cet alignement est rompu, la fusée est dite **en incidence**. L'angle que fait alors l'axe longitudinal de la fusée avec le vent relatif est l'**angle d'incidence**.



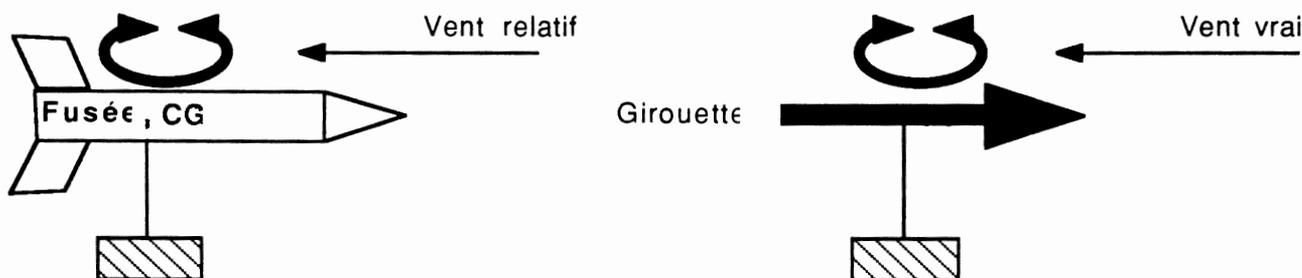
Lorsque la fusée se met en incidence, elle apparaît de profil par rapport au vent relatif. A ce moment, un couple de forces appliquée par les **ailerons** apparaît.





Si, pour une raison quelconque, la fusée se **met en incidence**, ce couple tend à la remettre dans sa position initiale (axe longitudinal aligné avec le vent relatif) si elle est **stable**.

La fusée ressemble à une girouette dont l'axe de rotation serait placé au centre de gravité, au détail près que la girouette ne possède pas de vent propre donc que son vent relatif est le seul vent vrai. De plus, cet effet ne se ressent pas seulement dans une direction comme pour la girouette, mais dans toutes les directions, la fusée pouvant se mettre en incidence dans une direction quelconque.



La nécessité de glisser la fusée dans une rampe de lancement standard nous impose de fixer 4 ailerons sur la fusée. L'ensemble de ces quatres ailerons se nomme **empennage**.

La rampe de lancement nous impose également une envergure maximale ( $D + 2e$ ) de 370 mm (soit environ 5,5 fois le diamètre  $D$ ).

Pour redresser la fusée si elle se met en incidence, il faut que l'air ait une efficacité suffisante sur les ailerons, ceux-ci doivent donc avoir une surface minimale. La relation entre la surface de la fusée vue de profil et la force appliquée par l'air s'exprime par le **coefficient de portance  $C_N$** .



$$C_n(\text{emp}) = \frac{45}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2f}{m+n}\right)^2}}$$

Le coefficient de portance de la fusée est égal à  $C_n(\text{og}) + C_n(\text{emp})$ , et doit être égal ou supérieur à 15.

D'un point de vue pratique, il est possible de réaliser n'importe quelle forme d'ailerons (carré, rectangle, parallélogramme,...), en respectant les conditions suivantes :

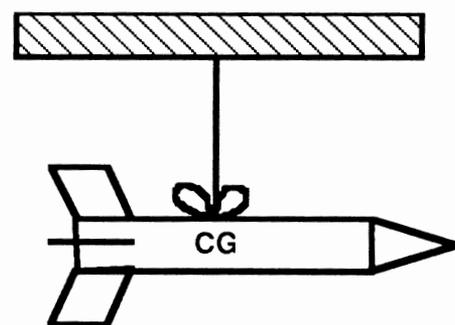
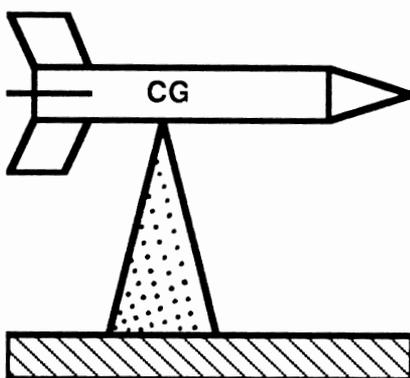
- 4 ailerons montés à  $90^\circ$  les uns par rapport aux autres
- $e = 1,5 D$
- $(D + 2e) < 370 \text{ mm}$
- $10D < H < 35D$

$$C_n = C_n(\text{og}) + C_n(\text{emp}) = 2 + \frac{45}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2f}{m+n}\right)^2}} > 15$$

Il va de soit que les lettres utilisées dans les formules correspondent aux dimensions de la fusée dessinée dans le schéma précédent.

### C - L'EMPLACEMENT DES AILERONS

Une fois fixées la taille et la forme des ailerons, il faut les placer. Cette opération ne peut en général se réaliser que lorsque la fusée est complète car il nous faut connaître la position du **centre de gravité**.



Le centre de gravité est à l'endroit de la position d'équilibre horizontal au repos de la fusée. Pour trouver sa position, il suffit de poser la fusée sur un objet mince ou bien de la pendre par une ficelle de façon à ce que la fusée soit juste en équilibre. Cette mesure ne peut être faite que lorsque la fusée est quasi-terminée et avec ses piles. Ce point est important car le CG est le centre de tous les mouvements de rotation de la fusée.

Avant la campagne de lancement, nous ne disposons que de la pointe, c'est à dire la fusée sans moteur puisque celui-ci sera donné par le C.N.E.S. qu'au dernier moment. Or c'est le centre de gravité de la fusée complète  $X_{cg}(\text{fusée})$  qu'il importe de connaître pour les calculs de stabilité. On se sort de ce dilemme grâce à la formule suivante qui à partir, des caractéristiques du moteur et de la pointe prises séparément, permet de trouver le centre de gravité de l'ensemble :

$$X_{cg}(\text{fusée}) = \frac{X_{cg}(\text{pointe}) * \text{Masse}(\text{pointe}) + X_{cg}(\text{moteur}) * \text{Masse}(\text{moteur})}{\text{Masse}(\text{pointe}) + \text{Masse}(\text{moteur})}$$

Les spécialistes reconnaîtront la formule du barycentre.

La masse de la fusée sans moteur peut se déterminer à l'aide d'une balance de ménage, la position du CG  $X_{cg}(\text{pointe})$  (fusée sans moteur) avec la technique présentée ci-dessus. La position du centre de gravité du moteur et sa masse sont indiquées dans le chapitre suivant qui présente le moteur Izard.

Attention : Les distances X sont toujours mesurées arbitrairement à partir de l'extrémité du cône de la fusée. Pour obtenir des résultats cohérents, il est impératif de toujours conserver cette même référence. En particulier le  $X_{cg}(\text{moteur})$  est la valeur donnée dans le chapitre "le propulseur Izard" mesurée à partir du fond avant du propulseur, à laquelle il faut rajouter la longueur de la fusée sans moteur afin de déplacer la référence du fond avant au sommet du cône.

Une fois connue la position du centre de gravité, il nous reste à la comparer à celle du point d'application de la résistance de l'air, le **centre de poussée** qui dépend non seulement de la taille des ailerons mais aussi de leur position sur la fusée.

La position du centre de poussée de la fusée  $X_{cp}(\text{fusée})$  se calcule avec une formule analogue à celle du centre de gravité :

$$X_{cp}(\text{fusée}) = \frac{X_{cp}(\text{og}) * C_n(\text{og}) + X_{cp}(\text{emp}) * C_n(\text{emp})}{C_n(\text{og}) + C_n(\text{emp})}$$

Nous avons déterminé précédemment  $C_n(\text{co})$  et  $C_n(\text{emp})$ , il reste donc à calculer  $X_{cp}(\text{og})$  et  $X_{cp}(\text{emp})$ .

Pour le cône :

$$X_{cp}(\text{og}) = l/2$$

et pour l'empennage

$$X_{cp}(\text{emp}) = L + \frac{p(m + 2n)}{3(m + n)} + \frac{1}{6} \left( m + n - \frac{m n}{m + n} \right)$$

Les lettres correspondent toujours à celle du schéma de la page précédente. Ces formules se démontrent, ce que nous ne ferons pas ici pour ne pas compliquer notre propos.

En fait, ce n'est pas  $X_{cp}(\text{fusée})$  que nous cherchons mais L, position où nous allons fixer les ailerons. La meilleure position de  $X_{cp}(\text{fusée})$  doit donc être connue.

Si nous nous rappelons le fonctionnement de la girouette, il faudra que les ailerons, donc le centre de poussée qui en dépend, soient en arrière du centre de gravité par rapport au cône. Sinon, nous risquons de voir la fusée faire des "loopings", ce qui s'appelle communément l'instabilité.

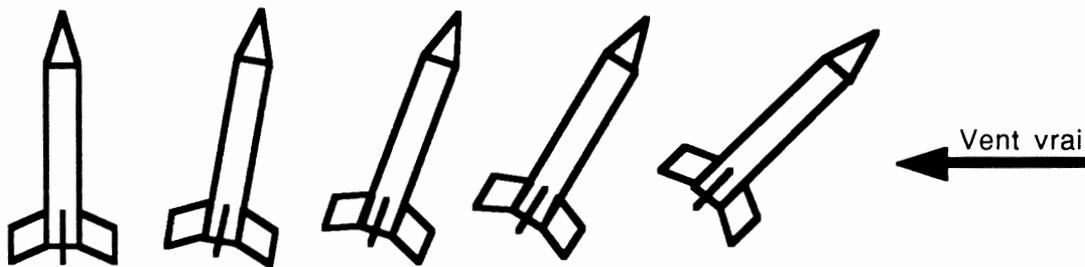
La distance entre le centre de gravité et le centre de poussée se nomme la **marge statique**.

Expérimentalement, il apparaît que la meilleure marge statique est égale à 3 diamètres, soit :

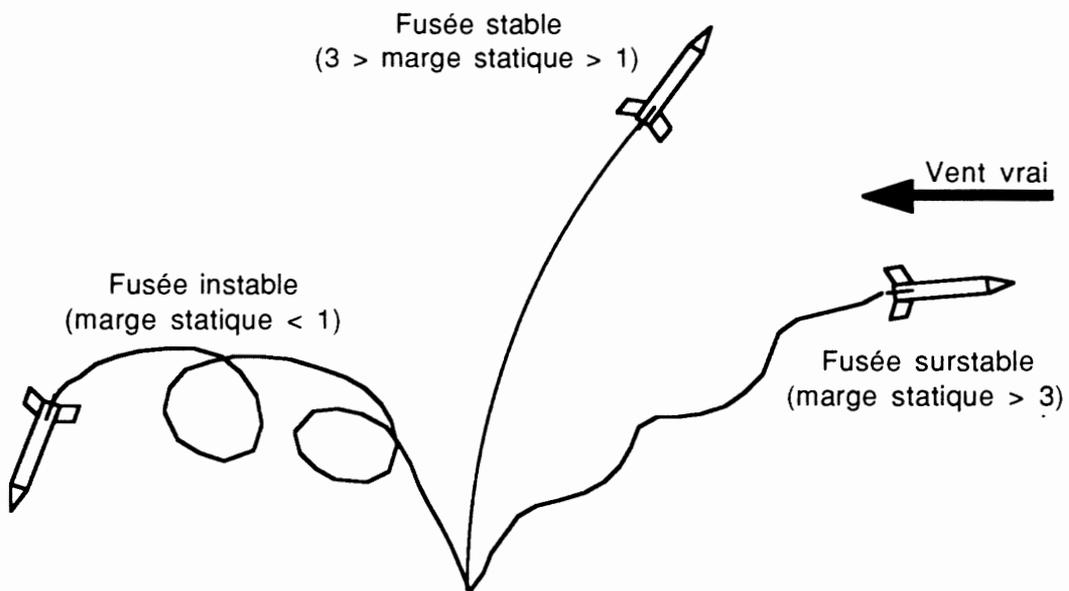
$$\text{marge statique} = X_{cp}(\text{fusée}) - X_{cg}(\text{fusée}) = 3 D$$

En effet, si la marge statique est trop grande, la force de rappel du vent sera très vigoureuse, renversera la fusée de l'autre côté du vent relatif et la fusée oscillera continuellement sans jamais trouver de position d'équilibre. Cette attitude est nommée **sur-stabilité**.

De plus, une fusée surstable va rapidement se mettre à l'horizontale. En effet, plus une fusée est stable, plus elle va aligner son axe longitudinal avec le vent relatif. Au début de son vol, la fusée a une vitesse faible donc son vent propre est faible par rapport au vent vrai (vent météo). Le vent relatif est alors très proche du vent vrai. Une fusée surstable se couchera donc dès le départ dans ce vent vrai. Une fusée stable ne s'y couchera que progressivement pendant son vol.



Evolution de l'attitude d'une fusée stable durant sa montée



Nous rechercherons donc une marge statique la plus proche possible de 3.

En manipulant habilement les formules précédentes, on détermine la longueur L comme suit :

$$L = \frac{(2 D + Xc g(\text{fusée})) * (Cn(\text{emp}) + 2) - 1}{Cn(\text{emp})} - \frac{p}{2} * \frac{m + 2 n}{3 (m + n)} + \frac{1}{6} \left( \frac{m n}{m + n} - m - n \right)$$

Nous pourrions croire que c'est fini. Il faut encore faire un effort en vérifiant que cette longueur est compatible avec la géométrie de la fusée. Il faut en effet pour des raisons de fabrication, que les ailerons soient fixés sur le module propulsion. Si c'est le cas, c'est gagné. Sinon, il faut revoir la taille des ailerons et recommencer le calcul. Chaque club abrite un membre ayant du goût pour l'informatique qui se fera un plaisir de vous programmer ces formules. Les premières fois qu'il vous présentera ses résultats n'omettez pas de les refaire en parallèle à la main. Si deux ou trois fois de suite vous trouvez la même chose commencez à lui faire confiance.

### **D- LE GUIDAGE DES GROSSES FUSEES.**

Les grosses fusées comme Ariane ou Proton utilisent un guidage qui est basé sur un tout autre principe que celui de la fusée Lambda.

Comme ces fusées sont conçues pour sortir de l'atmosphère il n'est pas possible d'utiliser des ailerons qui justement s'appuient sur l'air pour les stabiliser. Le guidage des fusées spatiales est obtenu en orientant les tuyères afin de modifier la direction de la poussée des moteurs. Cette technique n'est pas applicable sur la fusée Lambda, car elle est très complexe à mettre en oeuvre.

Une centrale à inertie mesure pendant le vol les écarts entre la trajectoire réelle et la trajectoire souhaitée par les techniciens avant le décollage. A partir de ces mesures, un ordinateur élabore des ordres pour orienter les tuyères dans la bonne direction et corriger les défauts de la trajectoire.

Ariane possède néanmoins quatre petits ailerons au bas de son premier étage. Ces ailerons jouent un rôle secondaire dans la stabilité du vol. Ils assurent la stabilité du premier étage au moment de sa séparation car à ce moment là les moteurs sont éteints. Cette opération s'effectue vers quarante kilomètres d'altitude. L'air est raréfié, mais comme la fusée va très vite, les ailerons restent efficaces. Les autres étages n'ont pas d'ailerons car ils fonctionnent en dehors de l'atmosphère.

La navette spatiale américaine a de véritables petites ailes, mais cette voilure est destinée à la faire planer pendant son vol atmosphérique de retour. Elle ne participe pas à la stabilité de l'engin pendant le décollage et elle est même un handicap pour cette partie du vol.

### **E - LA MECANIQUE DU VOL**

Reprenons plus en détail les trois forces qui contribuent à la trajectoire de la fusée :

- la poussée du moteur P(t),
- la résistance de l'air R(v),
- le poids de la fusée M(t)\*g,

La poussée du moteur est décrite complètement dans le chapitre sur le moteur Izard. L'indice t placé entre parenthèse après la lettre P et M est là pour rappeler que la poussée du moteur et sa masse sont des fonctions du temps c'est à dire que la poussée n'est pas constante pendant toute la trajectoire et que la masse diminue au fur et à mesure que la poudre brûle.

La formule générale qui permet de connaître la résistance de l'air est la suivante :

$$R(v) = \frac{1}{2} * r * S * C_x * V^2$$

avec

r = masse volumique de l'air soit 1,22 kg/m<sup>3</sup> au niveau de la mer.

S = maître couple de la fusée ou section de la fusée en m<sup>2</sup>.

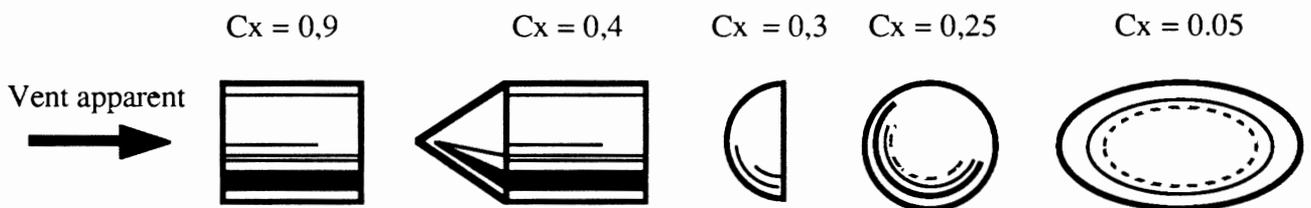
C<sub>x</sub> = coefficient aérodynamique de la fusée.

V = vitesse de la fusée en m/s.

L'air se raréfiant avec l'altitude la masse volumique de l'air diminue avec l'altitude. En haut du Mont Blanc la masse volumique de l'air est de 0,74 kg/m<sup>3</sup>. Mais on peut considérer que sur les 1000 m de dénivelé que parcourra votre fusée la masse volumique est quasi constante et cela facilite les calculs sans introduire beaucoup d'erreurs.

Tout objet qui se déplace dans l'air subit une résistance à l'avancement qui dépend à la fois de sa section S et de sa forme. Le coefficient aérodynamique C<sub>x</sub> caractérise cette forme. Une section plane a un C<sub>x</sub> de 1. Une section équivalente mais de forme pointue, l'ogive d'une fusée par exemple pénètre mieux dans l'air que la forme plane et son C<sub>x</sub> est inférieur à 1. Une section équivalente mais creuse comme un parachute pénètre moins dans l'air et son C<sub>x</sub> est supérieur à 1.

Le schéma suivant indique le C<sub>x</sub> de quelques formes typiques :



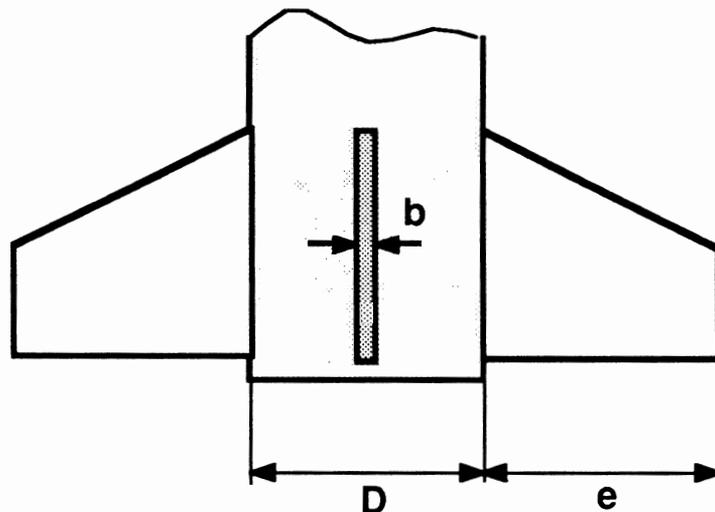
Le C<sub>x</sub> dépend aussi de la taille de l'objet par rapport aux molécules d'air. Plus ce rapport est grand plus le C<sub>x</sub> est faible. Ceci justifie pourquoi à forme équivalente une fusée de grande taille a un meilleur C<sub>x</sub> meilleur qu'une petite. Pour vous convaincre de cette propriété essayez d'enfoncer un bâton dans du gravier puis dans du sable, c'est deux matériaux sont de même densité tout en ayant des tailles de particules différentes. Concluez vous même.

Le C<sub>x</sub> de votre fusée est d'environ 0,5 mais peut varier dans de grandes proportions en fonction de la qualité de sa réalisation. Les aspérités, les ailerons mal finis, les têtes de vis saillantes sont autant de dégradations du C<sub>x</sub> qui en augmentant la résistance de l'air diminuent les performances de la fusée. Une peinture soignée, un état de surface lisse sont des atouts pour un meilleur C<sub>x</sub>.

Le  $C_x$  est une grandeur difficile à prédire par calcul. L'écoulement de l'air, les turbulences sont complexes à modéliser. On peut par contre le mesurer en soufflerie en reproduisant les conditions du vol. Il est peu probable que vous ayez accès à une soufflerie pour mesurer le  $C_x$  de votre fusée mais cela est sans importance car à l'ANSTJ nous avons l'habitude de fusée comme la votre et par expérience des lancements passés nous savons évaluer le  $C_x$  avec une précision suffisante pour déterminer sa trajectoire.

Le maître couple est la surface de la section de la fusée. Il se calcule de la manière suivante :

$$S = 3,14 * \left(\frac{D}{2}\right)^2 + 4 * e * b$$



avec  $D/2$  = rayon de la fusée,  
 $e$  = envergure d'un aileron,  
 $b$  = épaisseur d'un aileron,

## **F- LE CALCUL DE TRAJECTOIRE**

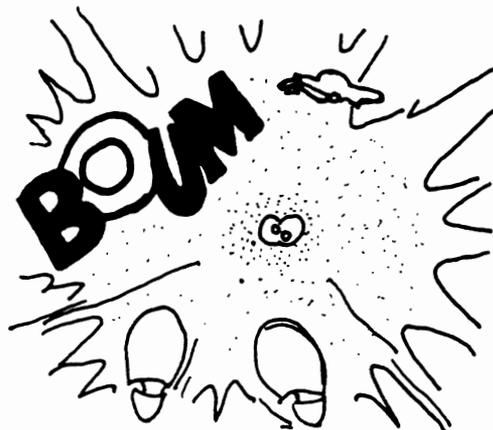
Ce calcul consiste à prévoir le mouvement de la fusée et en particulier de déterminer l'altitude atteinte, la durée du vol, la vitesse en sortie de rampe, la vitesse maximale, l'accélération maximale, le point d'atterrissage. L'ANSTJ tient à votre disposition des documents qui vous permettront de connaître les méthodes de calcul et un logiciel informatique qui à partir des caractéristiques de votre engin renvoie les principaux paramètres de la trajectoire. Pour votre première fusée appuyez vous sur notre logiciel. Ce logiciel est disponible gratuitement sur simple demande. Il calcule aussi la stabilité d'une fusée.

## LE PROPULSEUR ISARD

Le propulseur Isard qui va équiper votre fusée est fabriqué par la Société Thomson Brandt et fait parti d'une gamme de moteurs, gracieusement mis à la disposition des clubs aérospatiaux par le Centre National d'Études Spatiales lors des campagnes de lancement de fusées expérimentales.

Pourquoi cette générosité ?

Comme vous le constaterez dans les pages qui vont suivre, la fabrication d'un moteur de fusée est un métier difficile, voire dangereux. Pour éviter que les jeunes se lancent dans des travaux mettant leur vie en cause, le Centre National d'Études Spatiales a choisi de donner un moteur de fusée adapté à tous les groupes de jeunes qui souhaitent en fabriquer une. Comme nous l'avons signalé, avant cette date, plusieurs accidents mortels avaient montré que les amateurs étaient incompetents dans ce domaine.



Le propulseur Isard est un propulseur à **poudre**.

Les propulseurs à poudre sont préférés aux propulseurs à liquide quand l'utilisateur souhaite avoir une **poussée** très importante pendant très peu de temps avec une mise en oeuvre simple. C'est pourquoi la quasi-totalité des moteurs des fusées plus petites que les lanceurs de satellites, et les boosters d'appoint des gros lanceurs comme Ariane ou la Navette Spatiale sont des propulseurs à poudre.

Les propulseurs à liquides ont un rapport poussée masse plus élevé que les propulseurs à poudre mais leur mise en oeuvre est délicate.

La technique qui s'intéresse à la fabrication et la mise en oeuvre des poudres (propulsives ou explosives) se nomme **pyrotechnie**.

### A - HISTORIQUE

On rapporte qu'au début de l'ère chrétienne, les Chinois maîtrisaient certains aspects de la pyrotechnie, entre autres d'après des gravures, les feux d'artifices. Vers le VIIème siècle après Jésus Christ, les Grecs utilisèrent les feux Grégeois comme armes de guerre, feux obtenus par des mélanges de substances combustibles.

Mais ce sont les Arabes, qui vers le XIIIème siècle, se sont rendus compte des possibilités propulsives de la poudre noire et ont commencé sa fabrication en quantité.

Son introduction en Europe date du XIVème siècle époque où elle fût utilisée surtout par les militaires et les mineurs. En 1428 Jeanne d'Arc utilisa des fusées lors du siège d'Orléans. Sous Louis XIV et Louis XV, les frères Ruggièri, fort de l'expérience italienne, créent de magnifiques spectacles pyrotechniques qui vont désormais accompagner toutes les grandes célébrations en France, puis en Europe.

Au cours des XIX<sup>ème</sup> et XX<sup>ème</sup> siècles, d'autres types de poudres, plus performantes que la poudre noire et certaines particulièrement bien adaptées à la propulsion des fusées ont été mis au point.

Le Russe Konstantin TSIOLKOVSKI décrivit le premier, en 1903, les possibilités d'exploration de l'espace par les fusées. L'Américain Robert GODDARD met au point dans les années 1930, différents types de moteurs fusées à carburant liquide qui prouvèrent la validité du concept.

Les premières fusées sondes embarquant des expériences décollèrent en 1945 pour étudier l'atmosphère. Depuis les progrès ont été fulgurants et des milliers de fusées sondes ont été lancées. Après avoir mis un homme dans l'Espace, puis posé un homme sur la Lune, on envisage maintenant la conquête de Mars.

En France, la première fusée expérimentale fabriquée par des amateurs a décollé le 24 novembre 1963. Elle s'appelait Algol IF et était propulsée par un moteur Atef 74 fourni par le Centre National d'Études Spatiales. Elle avait été conçue par le club A.A.A. de Paris.

Si vous vous intéressez à l'histoire des sciences, vous trouverez dans toutes les bonnes bibliothèques, de votre école et d'ailleurs, des livres remplis de photographies qui vous apprendront les débuts de cette épopée.

## **B - UN PEU DE CHIMIE : LA POUFRE**

### **B.1 La combustion de la poudre**

L'Isard utilise la combustion d'une poudre solide pour fournir une poussée. Cette poudre se trouve à l'intérieur d'une enveloppe en métal nommée **chambre de combustion**. Elle est principalement constituée de :

- un combustible ou carburant (réducteur) qui brûle.
- un comburant (oxydant) qui contient l'oxygène nécessaire à l'entretien de la combustion.

Dans le domaine spatial, ces corps se nomment **ergols**. La poudre qui en est le mélange se nomme **propergol** car elle va permettre la propulsion.

### **B.2 La poudre SD**

Suivant les époques, les produits de base disponibles, le savoir faire des chimistes, les utilisations envisagées de nombreuses compositions ont été élaborées. La poudre utilisée autrefois était dite poudre noire. Cette poudre a été utilisée dans les toutes premières fusées, sa couleur est due à la présence du carbone. Pour permettre une combustion régulière, la "poudre" ne se présente plus de nos jours sous forme de poudre mais sous forme d'un bloc solide nommé **pain de poudre**.

Votre futur propulseur Isard utilise une composition dont le nom de référence est SD. Il s'agit d'une poudre double base, c'est à dire que pour améliorer son efficacité les chimistes ont mélangé deux compositions : 66 % de nitrocellulose et 25 % de nitroglycérine. Son **impulsion spécifique** est de 180 s.

L'impulsion spécifique est un paramètre qui permet de comparer les poudres entre elles <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Si un kg de poudre placée dans un moteur est capable de produit une poussée de 1 Newton pendant x seconde ; l'impulsion spécifique de la poudre est de x secondes.

Le poudrier fabrique cette poudre en mélangeant intimement les constituants de base dans un malaxeur. Des additifs sont ajoutés en particulier des **stabilisants** pour éviter que la composition évolue après sa fabrication. La pâte est mise sous pression afin de la faire passer à travers une filière qui lui donne la forme voulue. La barre de poudre obtenue est coupée à longueur pour obtenir le pain de poudre. Une radiographie permet de vérifier leur qualité. Les blocs fissurés ou contenant des bulles sont rejetés. Les pains sont ensuite ajustés à leurs cotes définitives par tournage puis une partie de leur surface est enduite d'un **inhibiteur**. L'inhibiteur est un isolant thermique qui enrobe le pain de poudre et permet de réguler la vitesse de combustion. Il empêche les gaz brûlants d'être directement en contact avec les parties métalliques du corps du moteur ce qui risquerait de les percer par fusion.

Les pains sont ensuite stockés à température constante jusqu'à leur utilisation. Les pains de poudre du moteur Isard pèsent 600 g et sont fabriqués par la société SNPE dans son usine de Saint Médard en Jalle.

Il est à noter, que contrairement aux propulseurs des avions à réaction, le propulseur à poudre n'a pas besoin de l'oxygène de l'air pour entretenir la combustion du carburant. Il emporte avec lui une matière qui contient cet oxygène sous forme solide. La combustion est dite anaérobie. C'est pour cette raison que les fusées spatiales peuvent fonctionner en dehors de l'atmosphère.

### B.3 Les dangers de la combustion de la poudre

Bien entendu, la poudre contenue dans un propulseur est destinée à fournir une énergie très importante. C'est la raison pour laquelle **IL NE FAUT JAMAIS OUVRIR UN PROPULSEUR A POUDRE ET ALLUMER CETTE POUDRE** : il pourrait en résulter de graves brûlures au malheureux expérimentateur.

De plus, les propulseurs à poudre sont fabriqués dans des conditions extrêmement rigoureuses qui en garantissent les bonnes performances et la sécurité d'utilisation. Un amateur, quelles que soient sa rigueur et les précautions prises, ne peut restituer ces performances et cette sécurité. Il est donc décevant pour les résultats et **EXTREMEMENT DANGEREUX DE VOULOIR REALISER PAR SOI-MEME SON PROPULSEUR**. Le mélange et la compression des matières décrites plus haut ou dans diverses publications sur les fusées, les feux d'artifices, les feux de bengales, etc..., présentent des **DANGERS TRES IMPORTANTS D'EXPLOSION. IL NE FAUT DONC JAMAIS REALISER CES OPERATIONS EN AMATEUR, MAIS PLUTOT UTILISER DES PRODUITS FABRIQUES ET MIS EN ŒUVRE PAR DES PROFESSIONNELS. LE CNES ET L'ANSTJ VOUS OFFRENT CE SERVICE.**

Ne pas suivre cette règle expose l'expérimentateur à des accidents qui nécessitent souvent l'intervention de la chirurgie esthétique quelque soit les quantités utilisées. C'est pourquoi la loi interdit ce genre de manipulation.



## C - UN PEU DE PHYSIQUE : LA PROPULSION

### C.1 La chambre de combustion

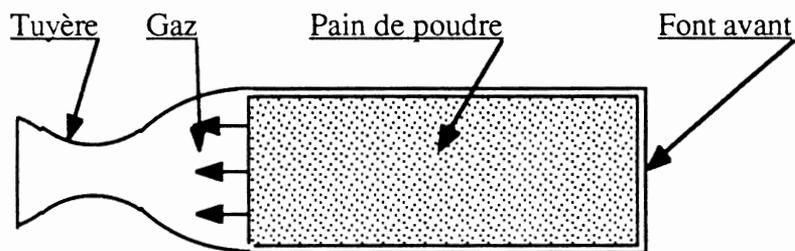
Lorsque la poudre brûle à l'air libre, les gaz produits par la combustion s'éjectent dans toutes les directions. Le concepteur du propulseur cherche à obtenir une poussée dirigée dans une seule direction. Il s'agit donc pour lui de maîtriser la direction et l'intensité de cette poussée. C'est le rôle de **la chambre de combustion**.

Une chambre de combustion est une enceinte où s'effectue la combustion. Pour orienter la poussée, on laisse cette enceinte ouverte en un endroit : **la tuyère**.

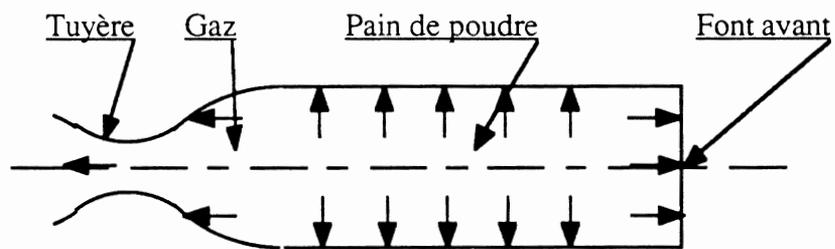
La pression importante, obtenue par le dégagement de gaz lors de la combustion de la poudre, produit des poussées sur toute la paroi de la chambre de combustion du propulseur.

Si la paroi de la chambre de combustion est symétrique et suffisamment résistante (ce qui est volontairement réalisé lors de la fabrication du propulseur) ces poussées s'équilibrent. Mais dans un propulseur réel cet équilibre est rompu par la présence d'une ouverture dans l'enveloppe de la tuyère.

Au niveau de la tuyère, la pression, au lieu de s'exercer sur une paroi, éjecte les gaz vers l'extérieur. Cette pression existe toujours sur la face opposée à la tuyère, c'est à dire sur le fond avant.



Il y a donc déséquilibre entre : la tuyère, où la poussée ne s'applique pas sur le propulseur mais à l'extérieur en éjectant les gaz, et le fond avant opposé à la tuyère, où s'applique une poussée. C'est cette poussée qui, transmise du propulseur à la fusée, la met en mouvement.



Ce phénomène se nomme **propulsion par réaction**.

### C.2 La propulsion par réaction

La poussée d'un propulseur à poudre dépend :

- De la quantité de poudre qui brûle. A un instant donné, plus il y aura de poudre qui brûle, plus il y aura de gaz dégagés et plus la poussée sera importante. Cette quantité se nomme le **débit massique** (masse de poudre débitée durant l'instant considéré).

- De la **vitesse d'éjection** des gaz. Plus cette vitesse sera grande, plus la poussée sera importante.

La valeur de la poussée est donnée par la relation :

$$F = q \cdot V$$

avec F la poussée du propulseur,  
q le débit massique (dm/dt) en kg/s,  
V la vitesse d'éjection des gaz en m/s.

L'Isard a un débit massique de 0.33 kg/s et une vitesse d'éjection de 1600 m/s environ.

Pour mieux comprendre cette formule, jouez avec un tuyau d'arrosage et constatez l'effet de recul obtenu quand le débit est important ou quand avec le pouce vous obstruez partiellement la sortie de l'eau. Dans ce cas vous faites monter la pression et sa vitesse d'éjection est alors plus importante.

Basée sur les principes d'inertie la propulsion par réaction ne nécessite aucun "appui" d'où la possibilité d'un fonctionnement dans le vide. La formule  $F = q \cdot V$  ne fait intervenir aucun paramètre lié à une quelconque atmosphère extérieure. Celle-ci est même un handicap car la pression de l'air s'oppose à l'éjection des gaz et diminue le rendement. Les avions à réaction fonctionnent sur le même principe. Contrairement à une idée reçue eux non plus ne "s'appuient" pas sur l'atmosphère pour avancer<sup>2</sup>. Ils ont besoin de l'oxygène de l'atmosphère uniquement comme comburant, ils embarquent à leur bord que leur carburant à l'inverse des fusées qui embarquent à la fois leur carburant et leur comburant.

## D - DESCRIPTION TECHNIQUE DU MOTEUR

### D.1 Le pain de poudre

Contrairement à un explosif qui détonne en réagissant quasi instantanément et simultanément dans toute sa masse, un pain de poudre de propulsion brûle uniquement en surface et le front de flamme avance à la vitesse de quelques centimètres à la seconde. L'inhibiteur permet de contrôler la surface de combustion.

A un instant donné, le débit de gaz va donc dépendre de la quantité de poudre qui brûle et qui varie principalement en fonction :

- De la vitesse de combustion de la poudre, paramètre déterminé par le type de poudre utilisé. Dans le cas du Isard la poudre brûle à une vitesse de l'ordre de 2 cm/s.
- De la surface de poudre qui brûlera en cet instant : plus la surface de combustion sera grande, plus il y aura de poudre en combustion et plus il y aura de gaz éjectés.

A partir d'un même pain de poudre initial, il est donc possible de modifier la poussée en modifiant la surface de la poudre en combustion. Techniquement, cet effet est obtenu en laissant un trou sur l'axe longitudinal du pain de poudre nommé canal central. Ce trou va avoir une profondeur et un diamètre variables en fonction de la surface de combustion voulue. Plus sa longueur et plus son diamètre seront grands, plus la surface de combustion sera grande et plus la poussée sera importante. Par contre, la poudre brûle plus vite, donc le moteur fonctionne moins longtemps.

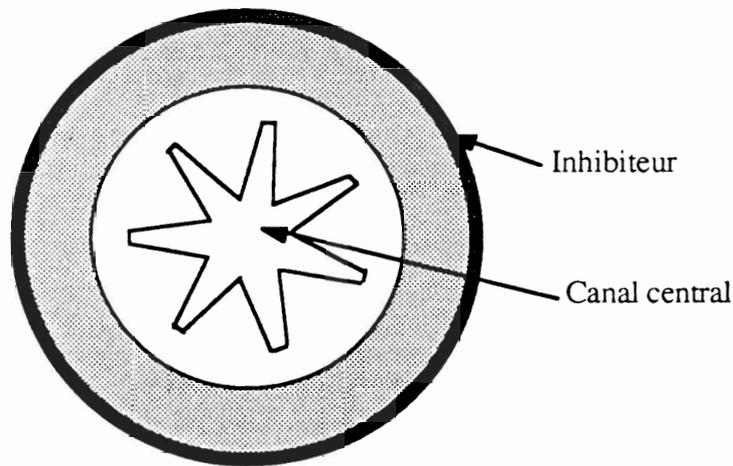
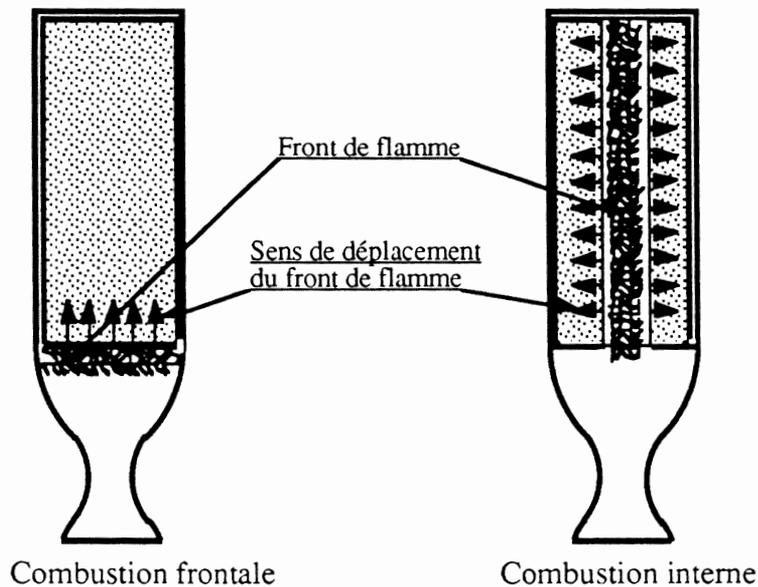
---

<sup>2</sup> Ne pas confondre la propulsion par réaction d'un avion avec sa sustentation qui elle nécessite une atmosphère comme appui.

Suivant l'utilisation, il faudra donc établir un compromis entre une poussée importante pendant peu de temps et une poussée plus faible mais plus longue. Les personnes qui ont calculé le moteur Isard ont choisies une poussée qui permet d'obtenir une vitesse supérieure à 20 m/s en sortie de la rampe ce qui garanti une bonne stabilité de la trajectoire mais ils ont décidé de ne pas aller au delà car les fortes accélérations produisent des contraintes mécaniques importantes. On rencontre deux formes principales de pain de poudre :

- Des blocs de poudre "à **combustion frontale**" ou "en cigarette" qui ont l'avantage de remplir la chambre de combustion d'un volume maximum de poudre, et la caractéristique de fournir une faible poussée pendant un long temps de combustion (la surface de combustion est égale à la section du bloc).

-Des blocs de poudre "à **combustion interne**" où la présence d'un canal central permet d'avoir des poussées fortes pendant des temps courts puisque la surface de combustion est plus grande (elle est égale au périmètre du canal par la hauteur du bloc). Le remplissage du moteur est plus faible car la partie réservée au canal central est perdue.



Coupe du pain de poudre de l'Isard.

Le bloc de poudre de l'Isard est du type à combustion interne. Cette géométrie a été choisie car elle permet d'obtenir une poussée constante. Pendant la combustion les branches de l'étoile s'érodent et la disparition de leur surface est compensée par l'augmentation du diamètre du canal central.

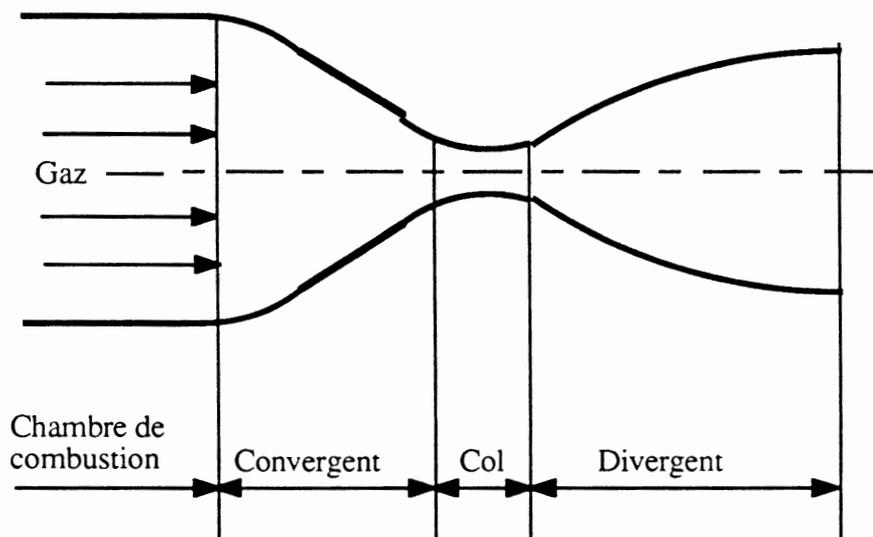
### D.2 La tuyère

Les performances maximales du propulseur ne sont obtenues que si les gaz ont la possibilité de sortir dans de bonnes conditions de la chambre de combustion. En effet, ces gaz sont sous une forte pression à l'intérieur de la chambre de combustion. Une fois sortis, ils se détendent jusqu'à atteindre la pression extérieure. Si cette détente se fait de manière irrégulière, elle génère des instabilités qui gênent la sortie des gaz de la chambre de combustion à l'instant suivant. C'est la raison pour laquelle la tuyère n'est pas un simple trou, mais a la forme de deux entonnoirs accolés.

La première partie, nommée **convergent**, est destinée à guider les gaz vers la sortie de la chambre en les comprimant pour qu'ils aient une vitesse d'éjection maximale.

La deuxième partie, l'ouverture proprement dite, se nomme **col de tuyère**.

La troisième partie nommée **divergent** est chargée d'assurer une détente régulière des gaz éjectés jusqu'à la pression extérieure.



Dans les lanceurs de satellites, c'est le divergent qui est visible à l'extérieur de la fusée. Plus la différence de pression entre le propulseur et le milieu extérieur sera grande, plus ce divergent sera grand. C'est pourquoi les tuyères des propulseurs destinés à fonctionner dans le vide (derniers étages des lanceurs de satellites, propulseur du module lunaire d'Apollo) sont plus grandes que celles des moteurs qui seront allumés au sol (premier étage, propulseurs d'appoint).

## E - PERFORMANCES DU PROPULSEUR ISARD

Pour concevoir ou choisir un propulseur adapté à son besoin, l'ingénieur va comparer les caractéristiques des propulseurs.

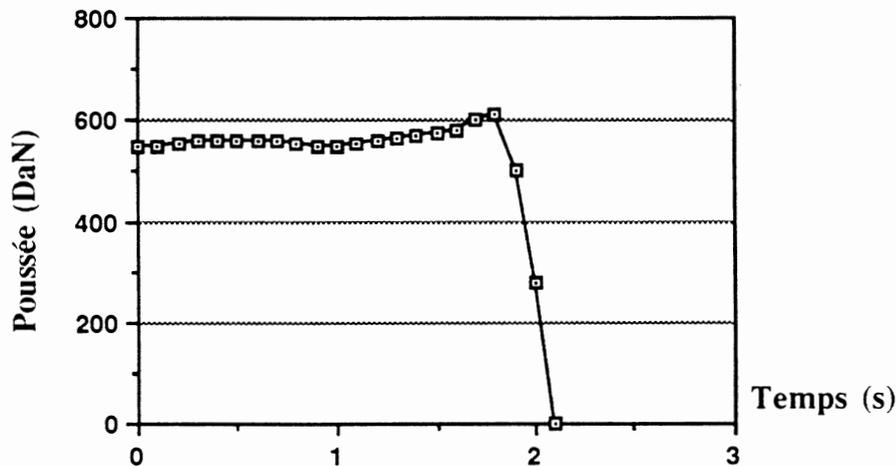
On va donc mesurer le principal paramètre lié au propulseur : la poussée en fonction du temps. Elle se représente sur un graphique avec le temps en abscisse et la poussée en ordonnée.

De cette courbe sont déduits :

- Le **temps de poussée** : temps durant lequel l'action propulsive du propulseur est significative. Il est ici de 1,8 secondes.

- L'**impulsion totale** : produit de la poussée par le temps. Comme la poussée n'est pas constante dans le temps, l'impulsion totale (également appelée intégrale de poussée) est obtenue en mesurant la surface comprise entre la courbe de poussée et l'axe horizontal du graphique. Pour l'Isard, l'impulsion totale est de 1125 Ns (newton.seconde).

- La **poussée moyenne** : quotient de l'impulsion totale par le temps de poussée. Pour le Isard, la poussée moyenne est de 560 N (newton).

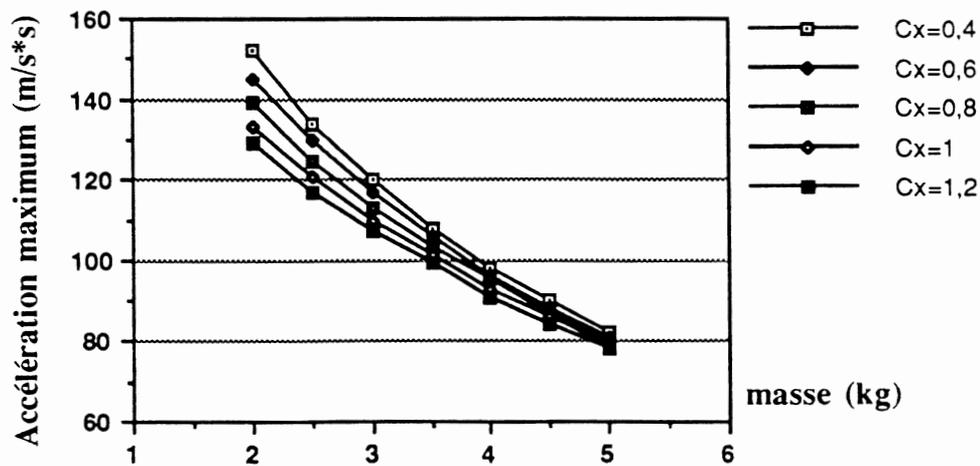
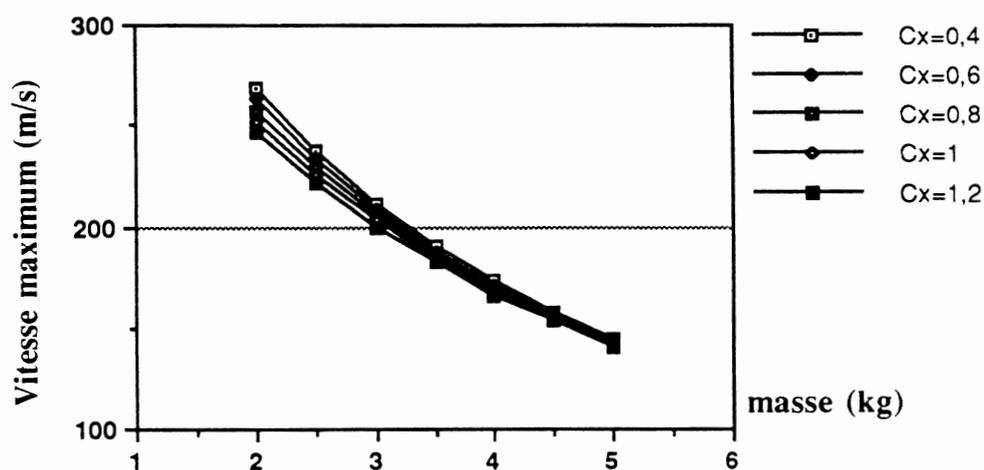
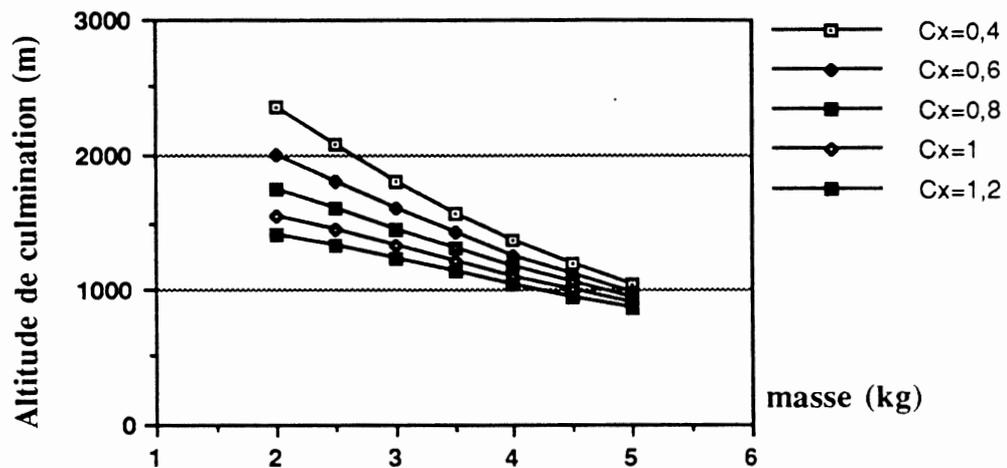


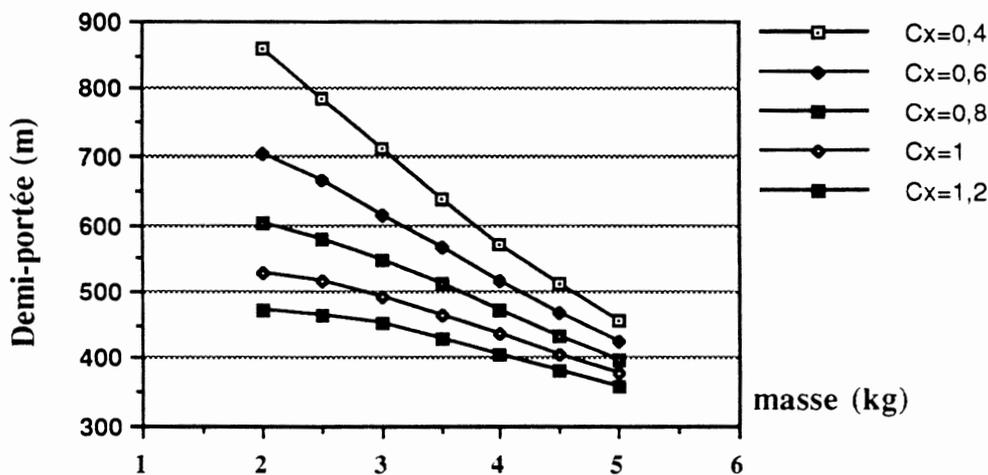
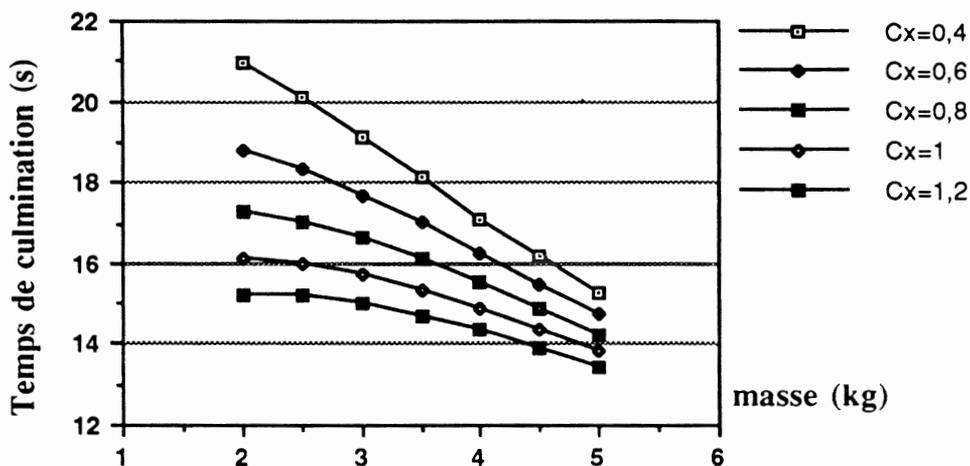
Courbe de poussée du moteur Isard

Le premier étage d'Ariane 4 utilise 4 moteurs fusées qui brûlent des ergols liquides. Chaque moteur, appelé Viking, a une poussée de 2500 kN pendant environ 145 secondes et consomme 250 kg d'ergol par seconde.

En connaissant les paramètres essentiels de la fusée et ses conditions de lancement, il est possible de réaliser un calcul prévisionnel de la trajectoire de votre fusée comme décrit dans le chapitre "Vol de la fusée". Ce calcul sera fait lors des contrôles finaux et peu de temps avant le lancement. Le document "Données numériques sur le Vol des fusées" éditée par l'ANSTJ et le CNES est à votre disposition si vous vous intéressez à ce calcul.

Dans un premier temps, il est possible d'utiliser les abaques suivantes qui donnent **l'altitude de culmination, la vitesse maximale, l'accélération maximale, la demi-portée et le temps de culmination** nécessaire pour atteindre l'altitude de culmination, en fonction de la masse  $m$  (en kilogramme) de la fusée sans le moteur ( cellule ) et de son  $C_x$ . Les courbes sont données pour un décollage à  $80^\circ$ .





## F - CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DU PROPULSEUR

Le plan du propulseur est placé à la fin de ce chapitre.

Les caractéristiques de masse sont les suivantes :

- Masse de poudre : 600 grammes.
- Masse du propulseur en charge : 2.047 kg.
- Impulsion totale : 1126 Ns.
- Impulsion moyenne : 566 N.
- Centre de gravité du moteur après combustion : 300 mm du fond avant.
- Centre de gravité du moteur avant combustion : 280 mm du fond avant.

## G - L'ALLUMAGE DU PROPULSEUR

La poudre SD s'enflamme difficilement. Il faut réunir des conditions de pression et de température particulières ce qui limite les risques d'allumage intempestif . Néanmoins de grandes précautions sont prises, aussi bien dans le transport et le stockage de cette poudre, que

lors de son allumage volontaire pour son utilisation. En particulier le moteur et son allumeur voyagent et sont stockés séparément. L'allumeur est posé sur le moteur au dernier moment.

La formule retenue est un allumage électrique à distance : un fil électrique chauffant recouvert de poudre, nommé **inflammateur électrique** ou allumeur pyrotechnique, est introduit dans le propulseur par la tuyère. Cet allumeur est raccordé à une alimentation électrique par l'intermédiaire d'un câble nommé **ligne de mise à feu** et d'un boîtier de commande nommée **pupitre de mise à feu**.

Lorsqu'un courant électrique commandé par le pupitre de mise à feu parcourt la ligne de mise à feu, il traverse l'allumeur pyrotechnique dont le fil chauffant enflamme la poudre qui le recouvre. Cette poudre enflammée allume alors le propulseur.

Pour éviter tout allumage intempestif, la ligne et le pupitre de mise à feu sont protégés de multiples manières :

- Le câble de mise à feu est réalisé en fil blindé (moins sensible aux parasites) et est isolé de tous les autres systèmes de l'aire de lancement. La longueur du câble soit la distance entre la rampe de lancement et le pupitre de mise à feu est supérieure à 100 m sur l'aire de lancement de l'ANSTJ.

- Le pupitre de mise à feu est muni de deux clés de sécurité empêchant toute circulation intempestive du courant électrique dans les fils de l'allumeur.

- L'allumeur du propulseur n'est raccordé que quelques instants (deux minutes) avant la mise à feu par un pyrotechnicien professionnel du C.N.E.S. qui est resté seul près de la rampe de lancement et qui détient l'une des deux clés du pupitre de mise à feu. L'autre clé vous sera confiée.

## **H - SÉCURITÉ DANS LA MISE EN OEUVRE DU PROPULSEUR**

Comme avec tout objet à poudre, d'autres précautions doivent absolument être prises :

- Tout choc est à éviter. Ils peuvent fêler le pain de poudre et conduire à son explosion après l'allumage par augmentation de la surface de combustion.

- Aucune manipulation mécanique ne doit être faite sur le propulseur : couper, scier, percer, écraser sont susceptibles de détruire ou d'enflammer spontanément le pain de poudre.

- L'ouverture du propulseur présente de graves dangers.

- L'utilisation de la poudre du propulseur pour d'autres fonctions (propulseur plus gros, feu d'artifice, etc...) est à prohiber absolument.

- Le stockage des propulseurs doit être réalisé dans un endroit frais et sec.

C'est pourquoi le propulseur n'est remis que peu de temps avant le lancement et sous la responsabilité d'un pyrotechnicien du C.N.E.S. Les propulseurs sont transportés sur le pas de tir dans des conteneurs adaptés et viennent soit directement d'usines soit d'une soute de stockage spécialisée du C.N.E.S..

Vous connaissez maintenant l'essentiel des caractéristiques de votre propulseur Isard.



## LA RECUPERATION

Votre expérience commence à prendre une tournure définitive. Vous avez décidé de la glisser dans un corps de fusée. Pour construire cet engin vous avez passé de nombreuses heures à choisir la solution technique optimale. Vous allez placer dans un volume restreint une somme considérable d'objets précieux : capteur, émetteur, minuterie. Vous êtes prêts à projeter l'ensemble très haut dans l'atmosphère, et cela vous fait mal au coeur de perdre définitivement le tout, même si l'ensemble des données expérimentales vous ont été transmises par radio et télémesure.

Il est d'ailleurs probable que l'observation après le vol de certaines parties de votre expérience soient sources d'informations précieuses que vous pourrez réinvestir dans une expérience future.

Tout cela vous incite naturellement à envisager un système permettant de récupérer votre fusée après sa culmination et avant son impact théorique au sol en chute libre.

Votre imagination débordante se mobilise. Vous faites dès maintenant un travail de chercheur. Par exemple, une hélice entrant en rotation à culmination pour ralentir la chute, comme un hélicoptère. Réfléchissons... pas très pratique à cause de l'encombrement.

Cherchons mieux ! La fusée gonfle un ballon qui au sommet de la trajectoire, par sa seule force de sustentation, freine la chute. Est-ce faisable ? D'après le livre de physique de votre grand frère, il faut 4 mètres cubes de gaz hélium, plus léger que l'air, pour soulever les 4 kilos de votre fusée. 4 mètres cubes ne sont pas très faciles à stocker, même comprimés, dans le corps d'une fusée où la miniaturisation et le faible poids sont de rigueur.

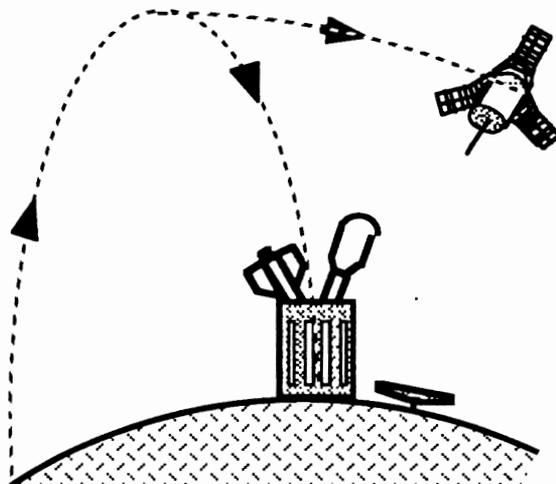
Pas de panique, vous finissez par trouver une idée qui a toutes les caractéristiques d'une bonne solution :

- simplicité,
- faisabilité,
- fiabilité,
- facilement explicable aux copains.

TILT ! Pourquoi pas un parachute ? Ce procédé semble fiable, certains hommes lui confient même leur vie et quant à l'expliquer aux copains..., l'affaire est gagnée !

La récupération des matériels après le vol d'une expérience spatiale est toujours d'une très grande importance.

A l'heure actuelle, les activités spatiales détruisent beaucoup de matériels onéreux, faute de savoir les récupérer. La fusée Ariane est un objet consommable qui doit être reconstruit à neuf à chaque vol. L'humanité a actuellement suffisamment de mal à porter quelques tonnes de matériels en orbite pour ne pas se préoccuper des problèmes de récupération. Quand des vies humaines sont en jeu, un effort particulier est fait à ce sujet et tout de suite les missions se compliquent.



Autre raison pour ralentir la chute de la fusée : la plupart des moteurs qui sont mis à la disposition des jeunes par le C.N.E.S. sont rechargeables. Il est possible de les remplir avec un nouveau pain de poudre et de les réutiliser, afin de diminuer leur coût. Cette manière de faire n'est envisageable que si le moteur a fait un atterrissage en douceur. Le C.N.E.S. demande aux clubs d'équiper les fusées de parachutes sauf si l'expérience justifie vraiment de sacrifier un moteur, ce qui est très rare.

Le procédé de base retenu est toujours le même : on se sert des frottements de l'air sur les coques des vaisseaux ou sur des toiles de parachutes pour freiner les engins. Frottez votre poing fermé énergiquement sur une surface en tissu. Vous dépensez de l'énergie et vous ressentez une sensation de chaleur. Le freinage d'un engin sur les couches denses de l'atmosphère utilise le même principe physique.

Lorsque la navette américaine rentre dans l'atmosphère, elle vole à 25 000 Km/heure. Entre l'instant de désorbitation et l'arrêt complet, il s'écoule une demi heure. Les frottements ont une action très efficace.

Dans notre cas, il reste donc à concevoir un système qui transporte le parachute dans la fusée jusqu'à culmination et qui le déploie au bon moment.

La détermination de cet instant est détaillé dans le chapitre "Minuterie". Nous ne parlerons donc maintenant que des aspects mécaniques du problème.

## **A - LE SYSTEME DE RECUPERATION**

Parmi les multiples procédés permettant d'ouvrir de façon automatique un parachute à culmination, nous vous en présentons un, appelé "**ouverture par séparation transversale**". Les pièces fournies dans la mallette permettent de réaliser une fusée qui utilise ce procédé. Il en existe d'autres mais nous l'avons retenu pour sa simplicité.

Vous constatez sur les schémas que la fusée est formée de deux parties qui s'emboîtent au niveau d'une **pièce dite de séparation**. Durant la montée, la fusée emporte le parachute plié dans un boîtier formé par deux demi-cylindres accolés, appelés **demi-coquilles**.

La tenue de l'ensemble est assurée par des **goupilles** qui traversent la peau de la fusée et vont s'emboîter dans deux **canons**.

Au moment où la fusée quitte la rampe, un connecteur fixé à cette dernière est arraché de la fusée. Le connecteur est accroché à la rampe par une ficelle qui l'empêche de suivre la fusée. Il donne le "**top départ**" à une minuterie électronique qui compte alors le temps jusqu'à la date prévisionnelle de culmination.

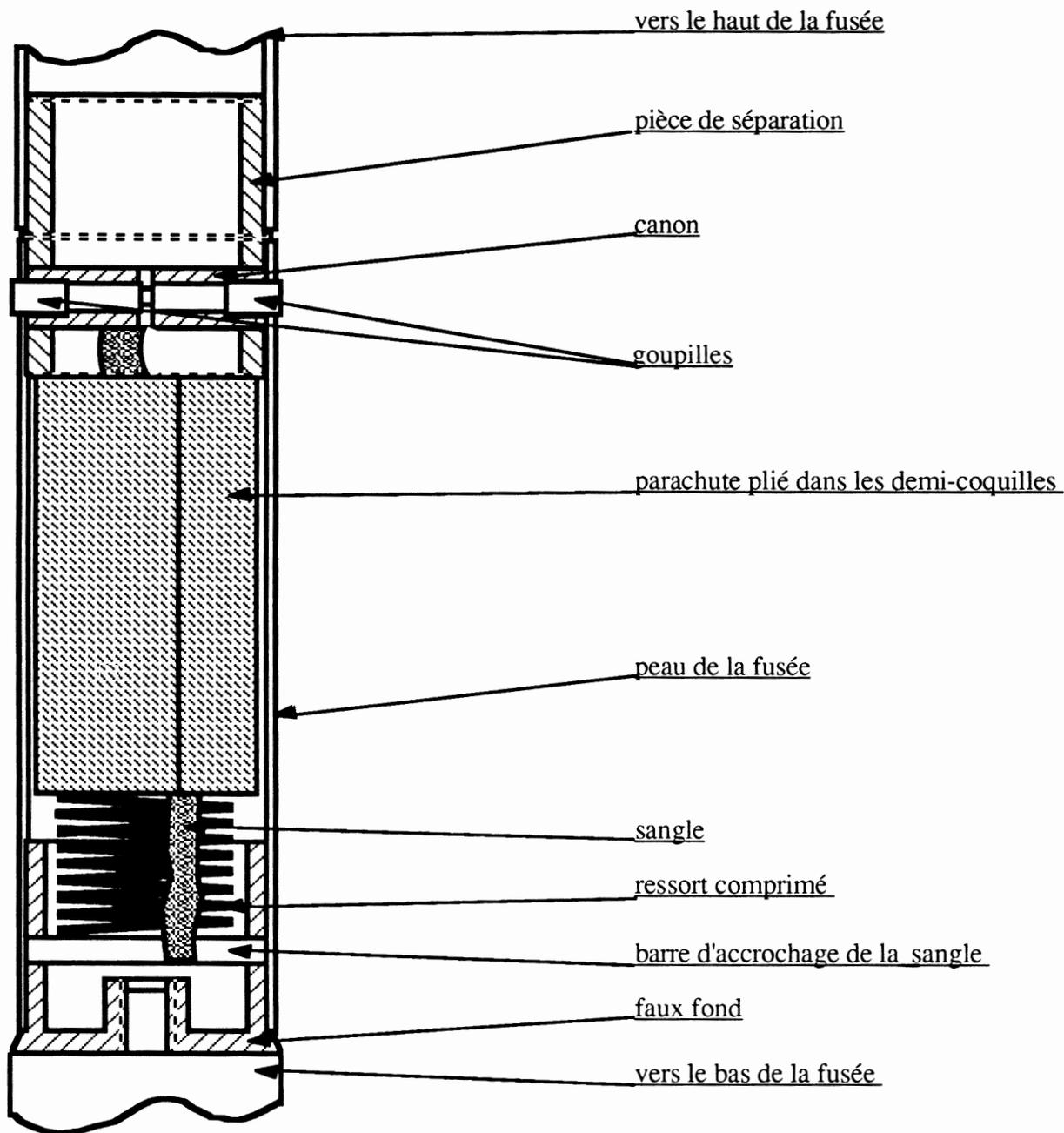
Une fois ce temps écoulé, la minuterie électronique délivre une commande électrique vers un **inflammateur pyrotechnique**, petite perle de poudre accolée à un fil chauffant.

Cette perle de poudre est placée au fond du canon, à l'arrière des goupilles. La poudre, en s'enflammant, dégage un volume important de gaz qui éjecte les deux goupilles de maintien de la fusée.

La fusée s'ouvre alors en deux au niveau de la pièce de séparation, libérant les demi-coquilles contenant le parachute. Un **ressort** facilite le mouvement.

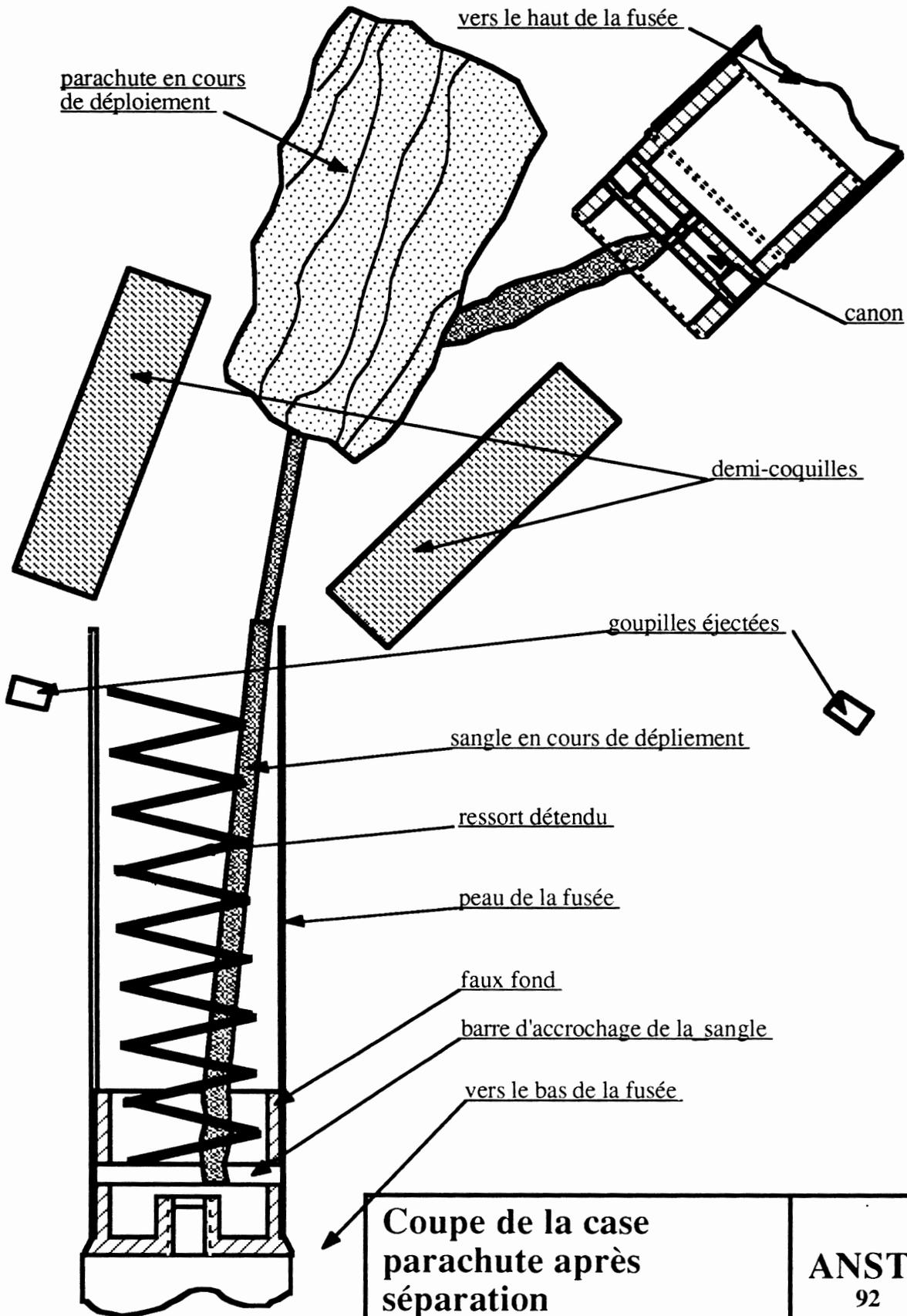
Une fois sorties, les demi-coquilles s'écartent et le parachute s'ouvre.

Mission accomplie : la fusée descend doucement sous son parachute.

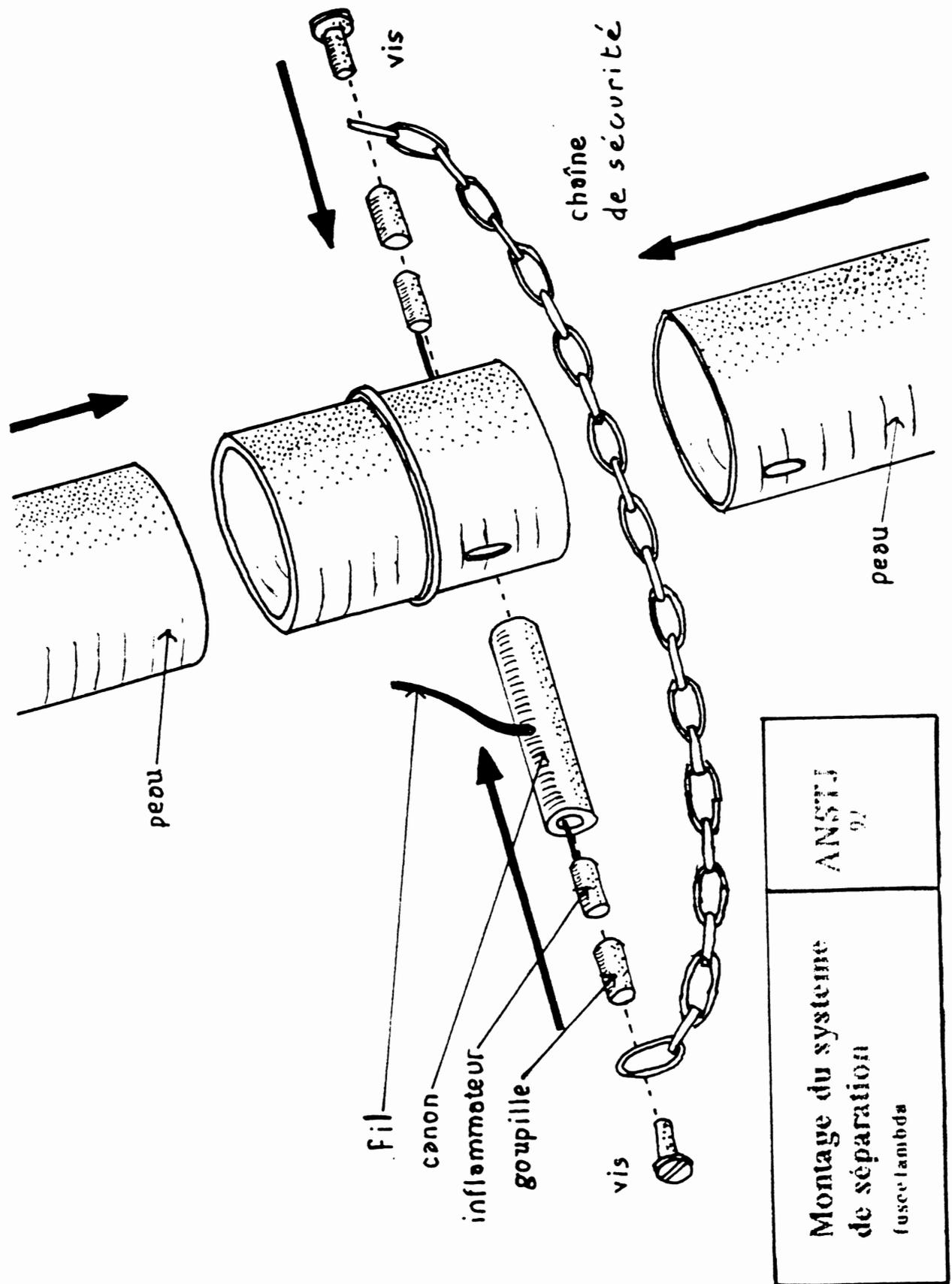


**Coupe de la case  
parachute avant  
séparation**  
fusée lambda

**ANSTJ**  
92



<p><b>Coupe de la case parachute après séparation</b> fusée lambda</p>	<p><b>ANSTJ</b> 92</p>
----------------------------------------------------------------------------	----------------------------



## **B - MONTAGE DU SYSTEME DE RECUPERATION**

La lecture du schéma de montage de la page précédente doit vous permettre de comprendre le montage du système. Les plans de chaque pièce à la fin du chapitre vous permettront de les reconnaître.

### **B.1 Inflammateurs électriques**

Fabriqué par la société Davey Bickford ou la société Gévelot, ils sont fournis par le CNES pour les essais et le vol de la fusée. Vous ne les trouverez donc pas dans la mallette. Vous mettrez au point votre récupération en simulant leur fonctionnement. Le jour des essais finaux, un animateur de l'A.N.S.T.J. vous en apportera et vous aidera à les mettre en oeuvre.

Il s'agit d'un petit cylindre en plastique vert de 5,9 mm de diamètre et 17,5 mm de long. Le fils électriques, 1,3 mm d'épaisseur et 2,5 mm de large, monobrin part au centre d'une des sections. Un signal provenant de la case équipement fait brûler une perle de poudre.

Comme tout élément pyrotechnique, les inflammateurs sont soumis à des règles de sécurité dont les principales sont :

- stockage dans un endroit fermé, protégé et non humide,
- les fils électriques sont court-circuités pendant le transport afin qu'ils ne captent pas des parasites susceptibles de les déclencher,
- l'inflammateur ne doit jamais être testé à l'ohmmètre (risque de mise à feu car un ohmmètre fait passer du courant dans l'élément qu'il mesure). Il existe pour cette opération des ohmmètres spéciaux : ohmmètre Ferret dont vous disposerez à la campagne de lancement.

### **B.2 Pièce de séparation, canons et goupilles pyrotechniques**

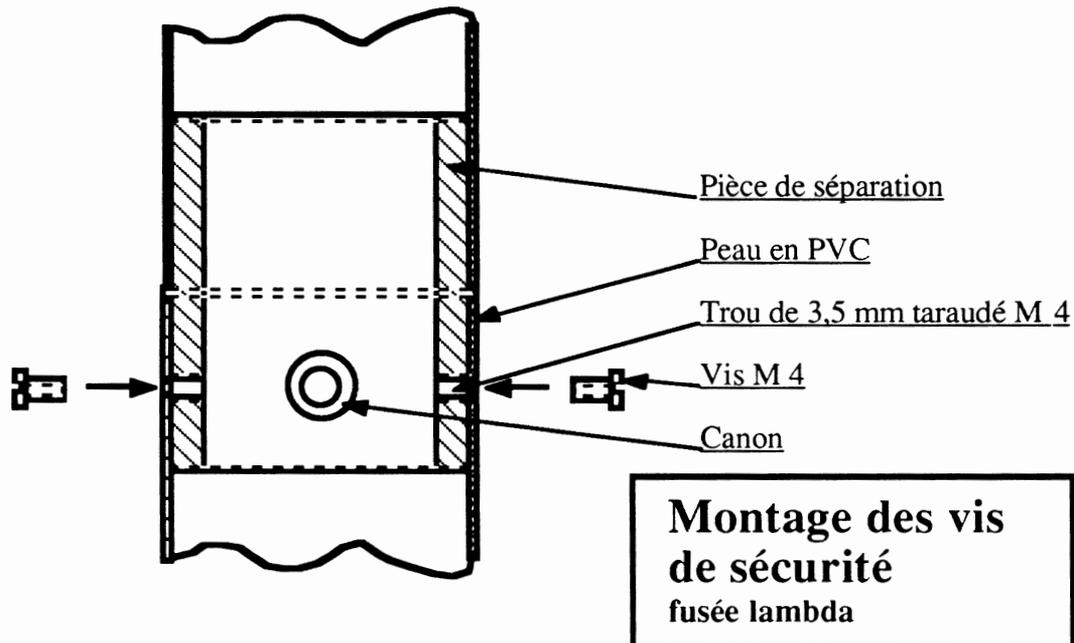
On vérifie que le canon a été bien fabriqué : bonnes dimensions et pas de bavures que l'on enlève éventuellement. On le glisse dans les trous de 14 mm de la pièce de séparation et de chaque par la gueule on enfle les fils électriques du premier inflammateur. Quand on aperçoit le fils au centre du canon à travers le trou de 4 mm, on le fait sortir en le poussant avec un tournevis fin. En tirant doucement sur les fils on place l'inflammateurs dans son logement. On peut se servir d'une goupille pour le pousser. On procède de même pour le deuxième inflammateur dans le logement symétrique en faisant sortir les fils électriques par l'autre côté du trou de 4 mm. On aura pris soin pour assurer l'étanchéité d'entourer l'arrière des inflammateurs d'un peu de mastic (le chewing-gun fait très bien l'affaire). Ce mastic doit fluer par le trou situé au fond du canon pour empêcher que les gaz sous pression produit par l'inflammateur ne fuie.

Les goupilles ne sortent qu'au moment voulu. Elles glissent dans le canon sans forcer, elles sont donc graissées. Elles ne doivent pas tomber toutes seules. Pour cela, on intègre dans la case parachute un ressort qui assure notamment, la tenue mécanique de l'ensemble par compression. En effet, les goupilles ont un jeu par rapport aux canons et au tube pour ne pas être coincées. La tension exercée par le ressort sur l'ensemble bloque les goupilles par cisaillement sur le tube. L'ajustage des trous de goupilles dans la peau doit être fait minutieusement. Se reporter au chapitre "Techniques de construction".

### **B.3 Dispositifs de sécurité**

Pour des raisons de sécurité les pyrotechniciens souhaitent pour qu'elle soit inoffensive manipuler la fusée sans ses goupilles. Si elles partaient intempestivement car hélas il n'y a jamais de réalisations humaines fiables à 100 % elles se comporteraient comme des balles de fusil, vous imaginez les dégâts !, un oeil est fragile. Il faut donc trouver une astuce qui

maintienne la case parachute fermée malgré l'absence des goupilles. On utilise pour cela des vis de sécurité qui jouent le même rôle que les goupilles mais sans système pyrotechnique. Elles sont placées au même niveau que les canons décalés de 90°. Elles maintiennent le ressort comprimé. Quelques minutes avant le décollage quand toutes les manipulations sont terminées, vous et le pyrotechnicien placerez les goupilles et ôterez les vis de sécurité. La pose des goupilles doit se faire avec les vis de sécurité en place. Il faut donc percer les trous des vis soigneusement, les goupilles en place dans les canons, de façon que les trous de la pièce de séparation et ceux de la peau tombent tous simultanément en face les uns des autres.



La séquence des opérations est la suivante :

La fusée sera enfilée dans la rampe sans ses goupilles et avec ses vis de sécurité. Au dernier moment les spectateurs ayant l'évacuation de la rampe, vous poserez les goupilles puis vous enlèverez les vis aidé par le pyrotechnicien. Vous effectuerez les dernières manipulations en évitant de vous placer sur la trajectoire des goupilles si elles partaient prématurément. Pour plus de sûreté encore vous enchaînez les goupilles en utilisant le trou de 3 mm qu'elles contiennent (voir le plan). Le pyrotechnicien, qui reste le dernier sur rampe, pourra relier la ligne de mise à feu sans crainte et il se chargera d'enlever la chaîne au tout derniers instants. Des "check-lists" préparés d'avance permettent de ne rien oublier dans ces moments souvent remplis d'émotion. Toutes ces opérations sont très simples à réaliser mais elles doivent faire l'objet de beaucoup de rigueur.

Le cahier des charges précise qu'il faut indiquer sur le corps de la fusée par une flèche rouge, l'endroit où il y a un système pyrotechnique. Sur la fusée lambda, elles pointent vers les trous des goupilles.

Ces sécurités sont OBLIGATOIRES. Si votre fusée ne les possède pas, aucun moteur ne lui sera attribué lors des contrôles finaux. L'ANSTJ et le CNES ont lancés environ 400 fusées de jeunes en plus de 30 ans. Des séquenceurs se sont déclenchés pendant les manipulations sur rampe soit à cause de pannes, soit à cause de fausses manoeuvres. Une fois le sursaut dû au bruit des inflammateurs passé, des éclats de rires ont toujours ponctué ces incidents car les dispositifs et les procédures de sécurité les avaient rendus bénins.

## B.4 Demi- coquilles

L'allumage des inflammateurs éjecte les goupilles. La pièce de séparation n'est plus alors tenue à la case parachute. Poussée par le ressort par l'intermédiaire des demi-coquilles, la pièce de séparation quitte la case parachute, la fusée se coupe en deux. Les demi-coquilles continuent leur mouvement vers l'extérieur. Prise par le vent, elles se séparent et libèrent le parachute qui se déploie. Pour éviter les mises en torche, les demi-coquilles ne sont pas attachées au reste de la fusée; abandonnées à elles même, elles descendent en tournoyant.

Pourquoi des demi-coquilles ?.

Le parachute ne peut être mis directement dans la fusée car le tissu est trop mou et se déformerait sous la pression du ressort. Il est placé dans une enveloppe rigide qui permet :

- d'appuyer sur le ressort avant la séparation.
- de faire sortir tout le parachute en même temps hors de la fusée.

Les demi coquilles forment une boîte qui protège le parachute et ses suspentes. Elles doivent être prévues assez grandes pour disposer d'une place suffisante pour loger le parachute, les suspentes et l'attache du parachute au reste de la fusée, mais pas trop, pour des raisons de poids et parce que le ressort possède une course limitée. Par des essais successifs de pliage, vous évalueriez le volume du parachute et des accessoires.

Elles doivent être résistantes, mais légères. Reprenons notre travail de recherche. Quels matériaux pouvons-nous utiliser ?

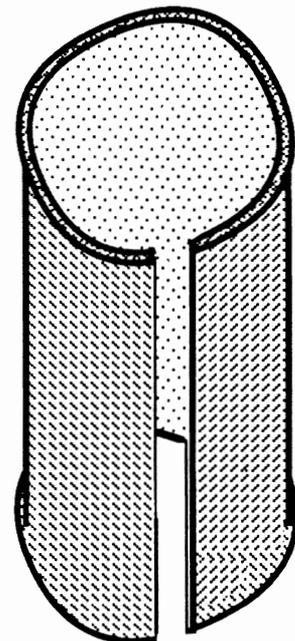
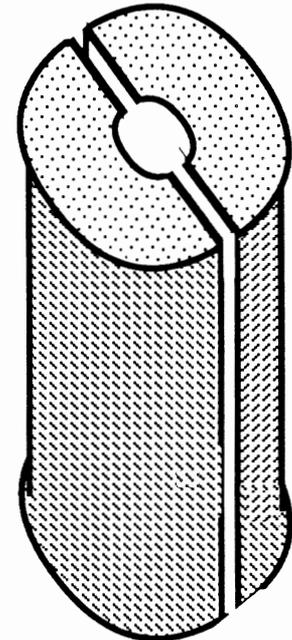
- un tube d'aluminium (résistant et léger) mais il est difficile à travailler (couper, scier, coller...).
- un tube PVC comme par exemple celui de la peau.

Les deux coquilles devant coulisser à l'intérieur de la fusée, leur diamètre devra donc être plus petit que celui de la peau. Deux possibilités s'offrent à vous :

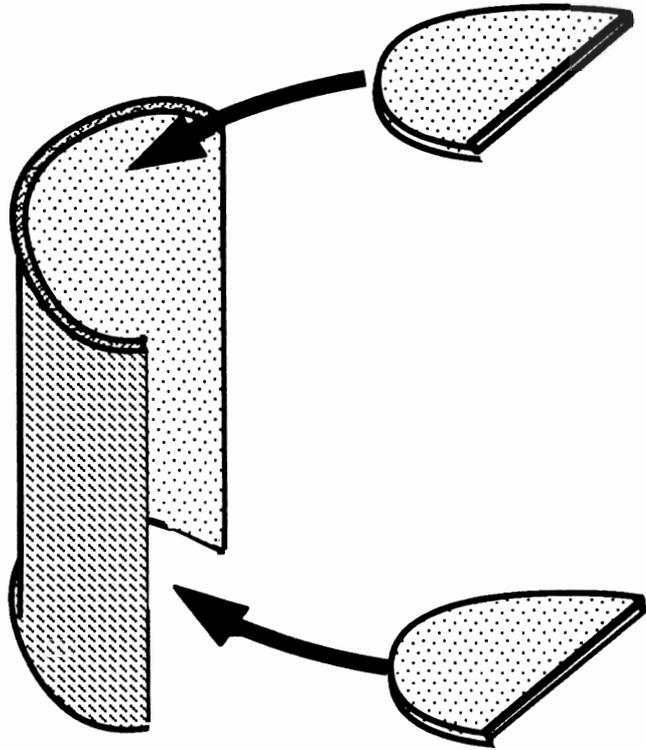
- utiliser un tube de diamètre inférieur que vous couperez en 2 demi- coquilles.
- utiliser un tube de même diamètre que la peau, mais auquel vous retirerez un secteur.

Le PVC n'est pas aussi facile à utiliser qu'il n'y paraît au premier abord. Mais un peu de patience permet d'arriver à tout. La façon la plus simple de découper un tube PVC longitudinalement est de faire un traçage au crayon, puis un traçage au cutter le long de la découpe. Il vaut mieux passer un grand nombre de fois en appuyant légèrement plutôt qu'une seule fois, très fortement. Si cela devient trop difficile, vous pouvez finir à la scie.

A vous de choisir entre ces diverses solutions et d'autres qui vous viendront à l'esprit.

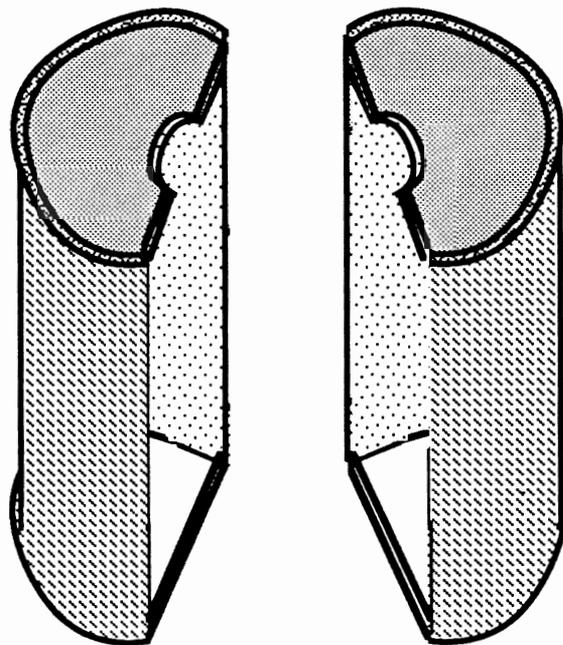


La découpe terminée, votre boîte a besoin de deux "couvercles" pour empêcher le parachute et les suspentes de sortir. Une plaque de PVC, de contreplaqué fin ou d'aluminium de quelques dixième de millimètres, découpée en 4 demi-cercles, conviendra parfaitement. Le diamètre des demi-cercles doit être très légèrement inférieur au diamètre intérieur de la case parachute afin que les demi-coquilles coulissent à frottement doux dans la case parachute.



Il vous suffira de coller ces plaques à chaque extrémité des demi-cylindres pour obtenir vos demi-coquilles. L'Araldite fera très bien l'affaire. Vous n'oublierez pas de laisser un passage pour l'attache du parachute aux deux bouts de vos demi-coquilles.

Avant d'encoller, l'état des surfaces doit être impeccable, propre et lisse. Il en est de même de la surface extérieure des deux demi-coquilles qui devra être ébarbée. En effet, rien ne devra gêner le mouvement. Quand tout est construit, comprimer plusieurs fois le ressort avec les demi-coquilles pour vérifier qu'elles ne se déforment pas. Si ce n'est pas le cas il faut recommencer, en plus solide.



## C - LE PARACHUTE

La fonction du parachute est de ralentir la chute de la fusée, pour la récupérer en bon état.

L'effet utilisé est la résistance de l'air à l'avancement. Ainsi, les qualités du parachute seront : une grande surface pour des frottements importants, une forme peu profilée mais symétrique pour éviter qu'il ne dérive. Il doit aussi être fabriqué solidement pour ne pas se déchirer au moment de l'ouverture. Pour éviter une descente trop longue et une trop grande dérive due au vent, le parachute ne doit pas non plus être trop grand. Le cahier des charges précise que la vitesse de descente sous parachute doit être comprise entre 5 et 15 m/s.

### C.1 Quelques formules pour ceux qui les aiment

La charge accrochée au parachute est soumise à la pesanteur (poids P) tandis que la résistance de l'air exerce sur le parachute une force en sens inverse (-R). Ces forces s'expriment ainsi :

poids :  $P = M g$

résistance de l'air :  $R = \frac{1}{2} A S C_x V^2$

avec

$A =$  masse volumique de l'air (Kg/m<sup>3</sup>) = 1,3 kg/m<sup>3</sup>

$S =$  maître couple du parachute (m<sup>2</sup>)

$C_x =$  coefficient aérodynamique du parachute (sans unité) = 1,4 environ

$V =$  vitesse de descente (m/s )

$M =$  masse de la charge et du parachute (kg)

$g =$  accélération de la pesanteur (m/s<sup>2</sup>) = 9,81 m/s

Le poids a tendance à augmenter la vitesse de la charge, ce qui augmente d'autant la résistance de l'air. Cette situation conduit rapidement à un état d'équilibre où la vitesse de descente devient pratiquement constante. Elle est alors appelée vitesse limite de chute. A l'équilibre :

$$P = R \quad \text{d'ou} \quad V = \sqrt{\frac{2 M g}{A S C_x}}$$

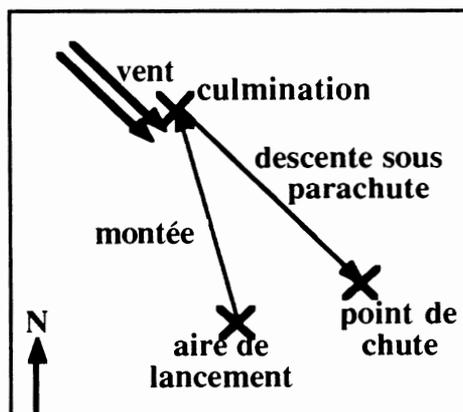
En toute rigueur cette vitesse n'est pas constante puisque A et g varient avec l'altitude. Mais comme votre fusée n'explore qu'une mince couche de l'atmosphère et ne s'éloigne pas beaucoup de la terre nous considérerons constants ces paramètres.

### C.2 Calcul du parachute

Sachant que la vitesse de descente sous parachute doit être comprise entre 7 m/s et 10 m/s il est facile de déterminer la surface du parachute connaissant la masse de la fusée. En deçà de 7 m/s la fusée peut être entraînée loin si le vent est important et au delà de 10 m/s le choc à l'atterrissage risque d'être trop brutal.

En considérant cette vitesse de chute atteinte dès l'ouverture du parachute à culmination, il est possible de déterminer :

- avant le lancement, le point de chute prévisionnel en fonction des conditions aérologiques et de l'altitude atteinte. Des ballons marqueurs sont lâchés et sont suivis par un théodolite. Entraînés par le vent en altitude, ils permettent de connaître sa vitesse et sa direction. Si le vent souffle à  $x$  m/s et que la descente dure  $y$  minutes, il n'est pas très difficile d'en déduire le point de chute connaissant le point de culmination et de connaître, après le lancement, l'altitude de culmination ( $h$ ) en fonction du temps de descente ( $t$ ) :  $h = V * t$

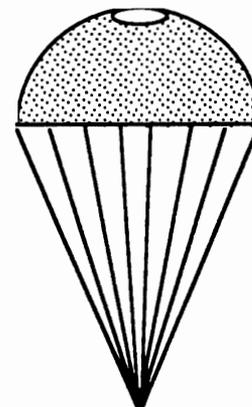


Quand votre fusée est presque finie, pesez-la, et faite le calcul pour avoir une idée du temps de vol total, notamment pour connaître la consommation électrique de la fusée, donc la taille des piles.

### C.3 Les différents types de parachute

\* Le parachute hémisphérique, longtemps utilisé par les parachutistes, est très efficace (vitesse de descente faible). Pour ne pas qu'il soit déchiré, sa vitesse à l'ouverture doit être faible.

Comme la réalisation pratique de ce parachute est difficile nous vous le déconseillons. En effet, la demi sphère n'étant pas développable, le parachute devra être réalisé à partir de bandes ou de fuseaux cousus.



\* Le parachute cruciforme est moins efficace mais beaucoup plus résistant que le parachute hémisphérique. Il permet des ouvertures à grande vitesse sans éclatement car sa forme évolue au fur et à mesure qu'il ralentit la fusée. Sa conception est d'une grande simplicité. Il présente beaucoup d'avantages pour l'utilisation que vous voulez en faire. Sa fabrication est à votre portée surtout si vous disposez d'une machine à coudre et de quelques conseils.

### C.4 Construire soi-même un parachute

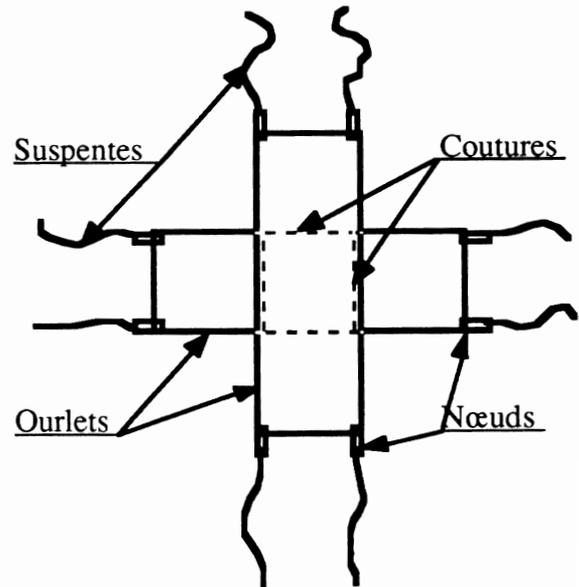
Il vous faut une machine à coudre réglée sur le point le plus solide, un fil solide, de la toile parachute. Prenez de la toile synthétique type doublure nylon ou toile de spi léger, du galon, et de la cordelette nylon de 3 mm. Des échantillons exemples vous sont fournis dans la mallette. Travaillez sur une surface propre dégagée de tous points chauds : cigarette, fer à souder et solvants.

Pour réaliser le parachute cruciforme, dessinez sur la toile deux bandes de 35 cm x 105 cm, plus une marge de 1,5 cm tout autour pour réaliser un ourlet. Puis découpez avec la marge. Cousez tout autour l'ourlet en le renforçant avec le galon.

Puis ajustez les deux rectangles l'un sur l'autre afin de former une croix grecque symétrique. Le panneau central est donc en double épaisseur. Vous coudrez les deux rectangles sur le pourtour du panneau central.

Pour les suspentes on coupe 8 brins faisant 1,20 m (longueur libre) + 0,10 m (noeud). Il faut faire, autour de chaque boucle de la voile, un noeud qui ne "coule" pas. Puis, avec du chatterton d'électricien, on réalise un arrêt propre de la suspente (sur environ 2 cm), bien serré.

Une fois les 8 noeuds réalisées, les suspentes sont rendues absolument égales en longueur. Cela est très important car sinon le parachute va "glisser" sur le côté pendant son vol. Puis on accroche très solidement les 8 suspentes à une boucle réalisée au bout de la sangle qui le reliera à la fusée avec des noeuds identiques aux précédents.

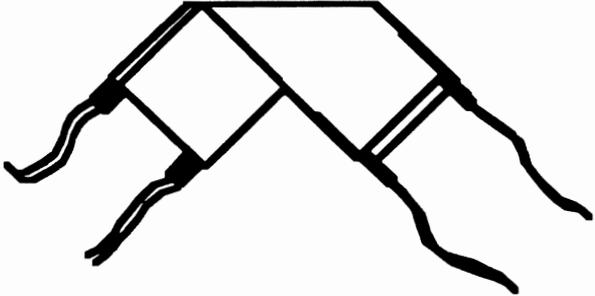
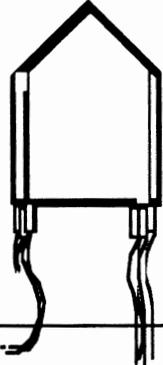


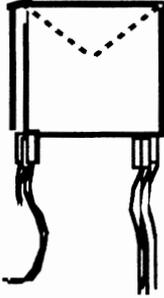
### C.5 Le pliage du parachute

Il est conseillé d'effectuer le pliage du parachute un ou deux jours avant le lancement et de le laisser bien serré. Cela permet au parachute de prendre sa place dans les coquilles qui n'auront pas tendance à s'ouvrir sous la pression de la toile.

Lorsque le parachute n'est pas utilisé, le mieux est de le laisser pendre le long d'un mur pour éviter les faux plis. Rappelez-vous qu'un parachute n'aime pas être percé, chaque défaut étant une amorce de déchirure à l'ouverture.

Les schémas suivants pourront être utiles pour plier un parachute cruciforme :

<p>* Après avoir démêlé les suspentes, étaler le parachute sur une table pour former la croix grecque (voir le dessin précédent).</p> <p>* Replier les panneaux pour obtenir le pliage de la figure Vérifier l'alignement des suspentes.</p>	
<p>* Répéter l'opération pour obtenir le pliage ci-contre.</p>	

<p>* Rabattez le triangle supérieur à milieu des couches de tissus.</p>	
<p>* Finalement repliez le paquet obtenu supérieur pour superposer les suspentes.</p> <p>* Pour rentrer l'ensemble dans les demi-coquilles, plier la toile en accordéon et lever les suspentes dessus. Cela permettra une extraction sans risque de mise en torche.</p>	

### C.6 La protection du parachute

Le parachute est enfermé dans deux demi-coquilles éjectées avec lui et ne s'ouvrant qu'à l'air libre. La case parachute doit être suffisamment vaste et dépourvue d'arêtes vives susceptibles d'accrocher la toile ou de scier la sangle au moment de l'éjection du parachute. Lors du déploiement du parachute, des forces très importantes sont appliquées sur l'ensemble des liaisons fusée-parachute : la sangle et les crochets doivent donc être de grande résistance.

Faisons par curiosité le calcul de la force exercer sur un parachute de 1,5 m<sup>2</sup> qui s'ouvre à la vitesse de 20 m/s. Cette valeur correspond à une chute libre de 40 mètres et une erreur sur la détermination de l'instant de culmination de 2 secondes. Au moment de l'ouverture le parachute est soumis à la résistance de l'air dont la formule de calcul a été exposée plus haut :

$$\text{résistance de l'air : } R = \frac{1}{2} A S C_x V^2 = 0,5 \times 1,3 \times 1,5 \times 1,4 \times 400 = 546 \text{ N}$$

Pour 3 secondes de chute libre, le parachute encaisse 1220 N. Conclusion fabriquez solide ! En réalité l'ouverture du parachute n'est pas instantanée et le freinage est progressive, l'effort supporté est plus faible. Un bon test est de prendre le parachute par ses suspentes et de le remplir avec un sac de sable de 20 kg et de vérifier ainsi la tenue des coutures.

Pour éviter que la sangle ne soit sectionnée, la voilure déchirée ou brûlée, des précautions doivent être prises :

- l'ouverture du parachute doit être réglée 0,5 s *avant* la culmination prévue !
- la longueur totale des sangles doit éloigner le parachute de la fusée d'au moins 3 fois la longueur de la fusée complète,

### C.7 La fixation du parachute

La manière de relier le parachute au reste de la fusée est donnée par le dessin ci-contre. Une sangle part du parachute et s'accroche à deux autres qui vont vers chaque morceau de fusée. Les sangles seront de longueur différentes pour éviter que les deux morceaux ne s'entrechoquent. La fusée pourra alors se balancer et tourner longitudinalement sur elle-même.

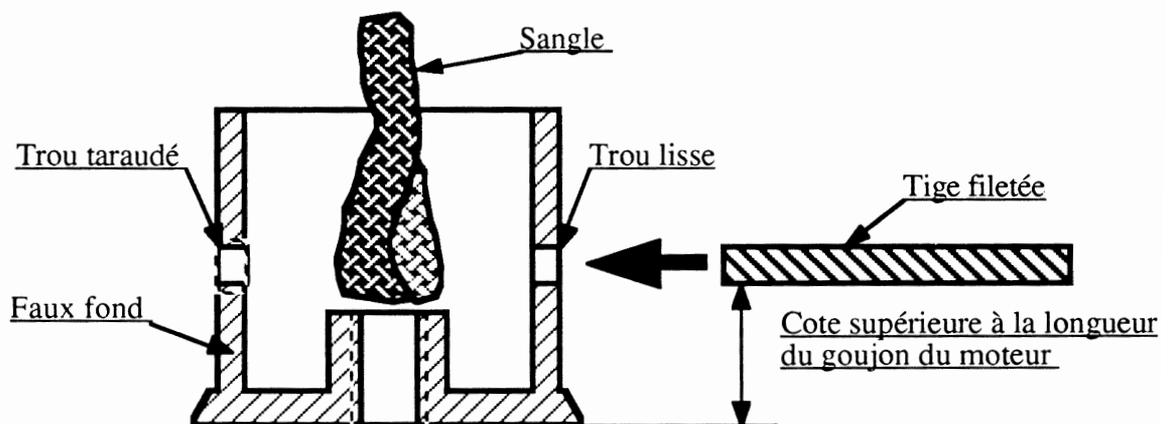
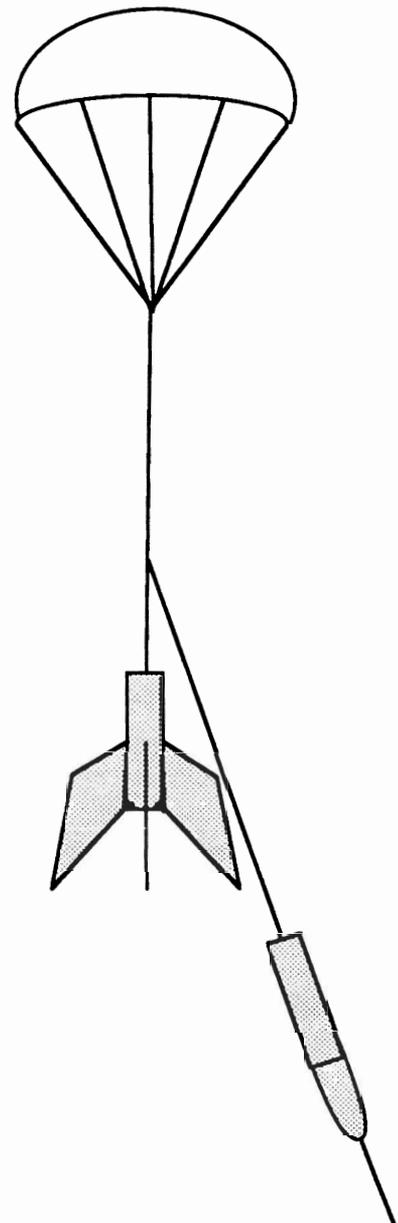
On peut limiter le risque de mise en torche par torsion des sangles en utilisant un émerillon au niveau de l'accrochage du parachute. Vérifiez la solidité du modèle avant de l'embarquer.

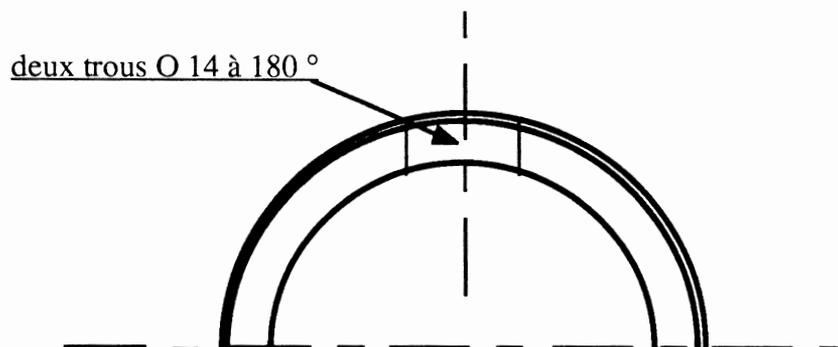
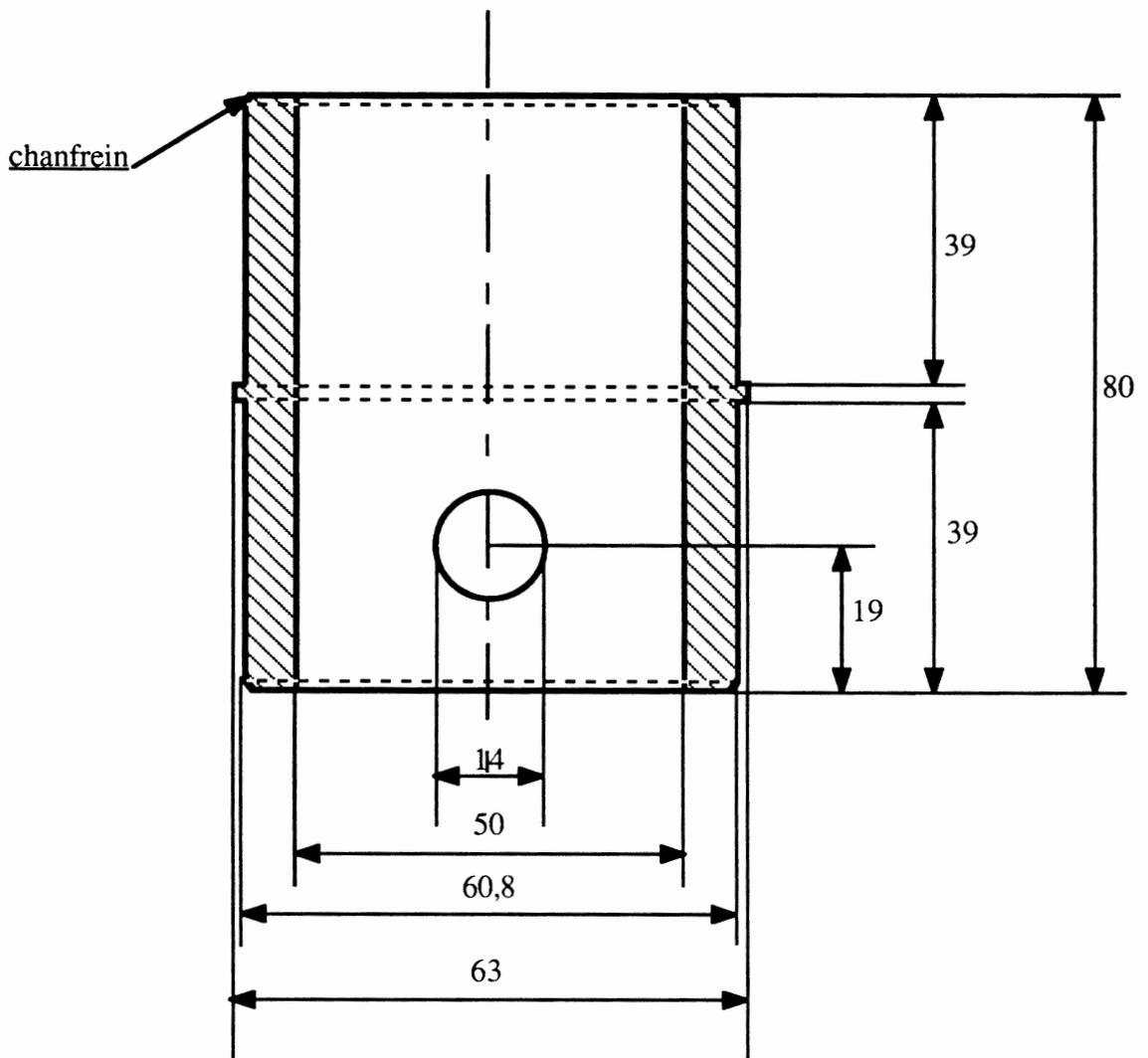
### C.8 Fixation des sangles à la fusée

Aux extrémités des sangles il faut réaliser des boucles que l'on obtient en cousant l'extrémité de la sangle sur elle-même sur une longueur de 10 cm.

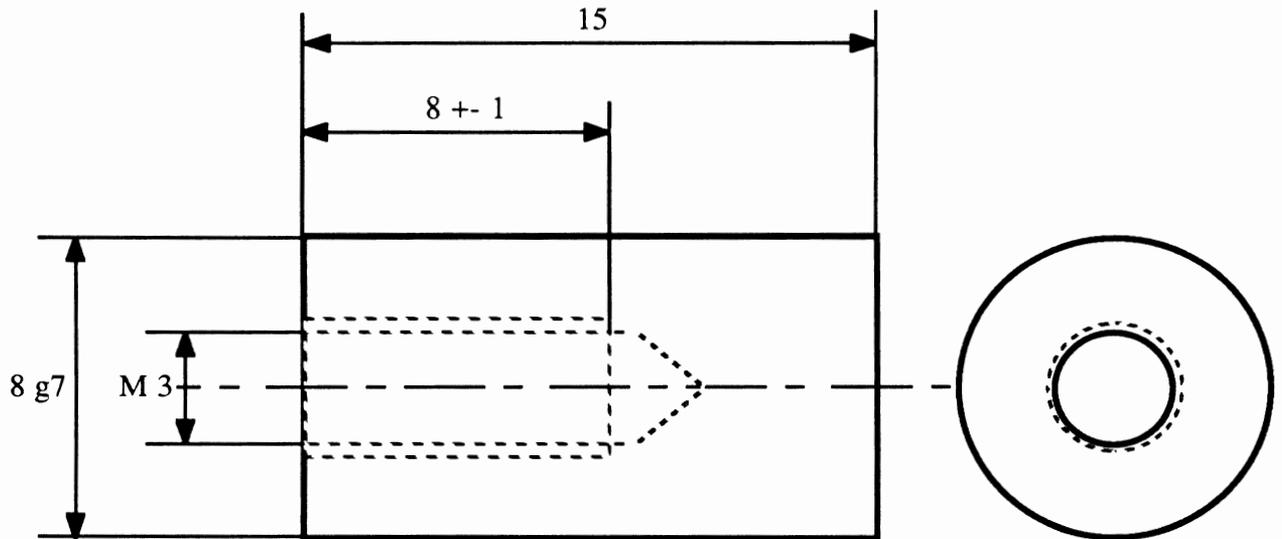
Côté pièce de séparation (le haut de la fusée), on passe la boucle autour du canon pyrotechnique. Comme il est usiné dans de l'acier, la fixation est très solide. Elle s'effectue en même temps que le montage des inflammateurs.

Côté case parachute (le bas de la fusée) il faut monter une barre d'accrochage. Cette barre peut être réalisée à l'aide d'une tige filetée en acier, d'un diamètre de 5 ou 6 mm au moins, après perçage des deux trous nécessaires dans la pièce de liaison moteur. Un des trous doit être fileté pour que la barre ne glisse pas. Il faut la placer à au moins x mm du bas du faux fond pour que le goujon de fixation du moteur ne butte pas dedans.

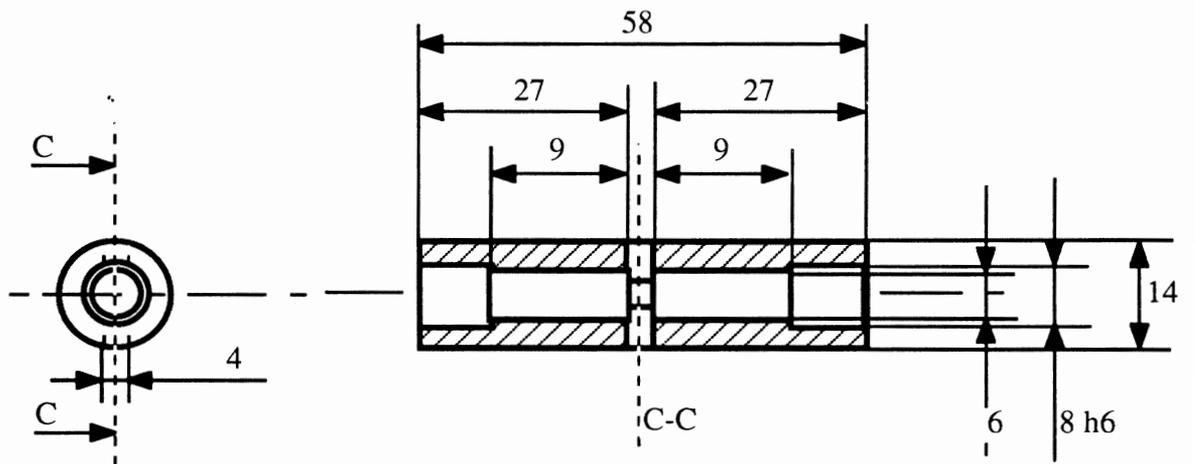




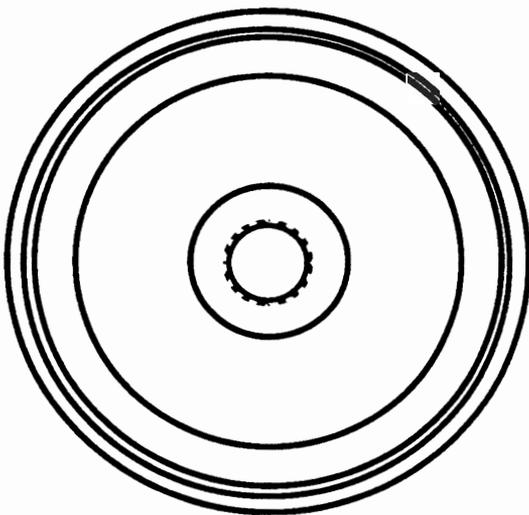
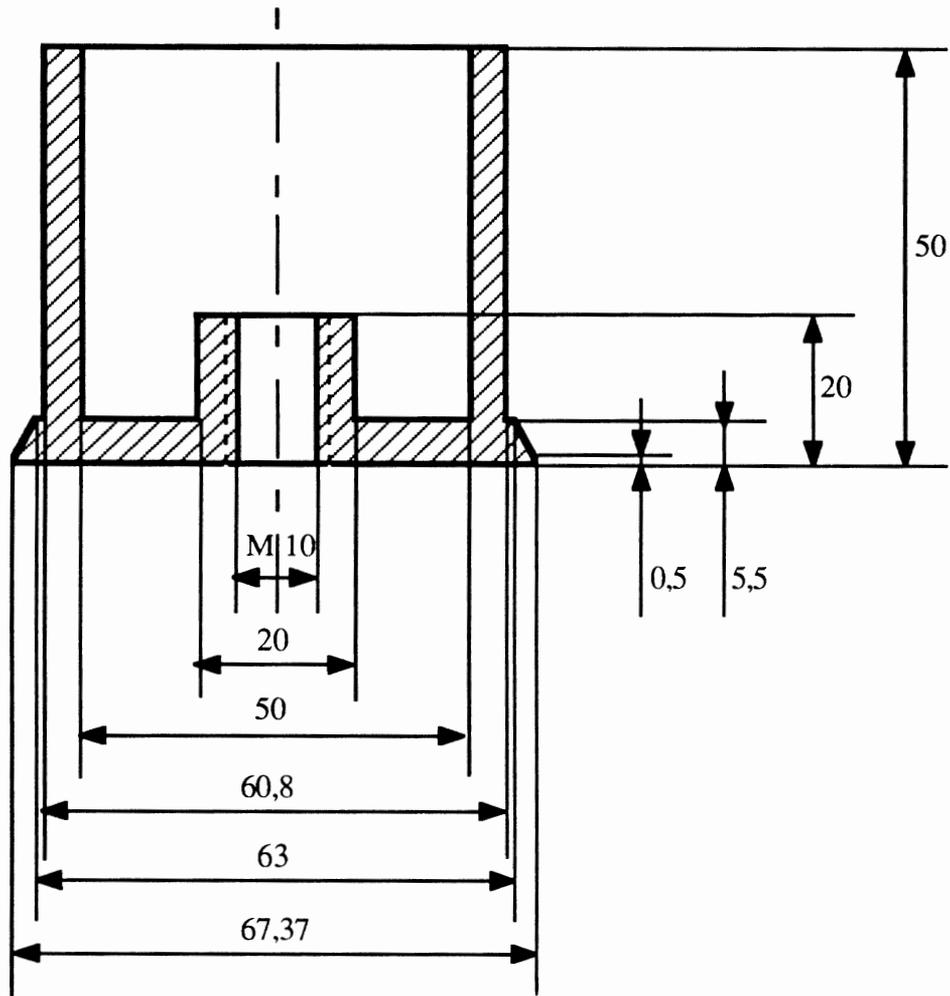
<p><b>Pièce de séparation</b> fusée lambda</p>	<p><b>ANSTJ</b> 92</p>
<p>Matière : AU4G Tolérance générale : 0.1</p>	
<p>Echelle : 1</p>	



<b>Goupille pyrotechnique</b> fusée lambda	<b>ANSTJ</b> 92
Matière : Acier Tolérance générale sauf s	Echelle : 5 pécification : 0.1



<b>Canon pyrotechnique</b> fusée lambda	<b>ANSTJ</b> 92
Matière : Acier Tolérance générale sauf s	Echelle : 5 pécification : 0.1



<b>Faux fond</b> fusée lambda	<b>ANSTJ</b> 92
Matière : AU4G Tolérance générale : 0.1	Echelle : 1

# L'INTEGRATION

Si en visitant un club, vous vous intéressez à **l'intégration**, les personnes responsables de cette partie du projet, vous montreront un objet qui se présente comme un bâti mécanique sur lequel les équipements de la fusée sont montés.

Mais plus qu'un objet, l'intégration est un concept.

C'est l'art d'agencer les éléments d'une fusée pour rendre leurs fonctionnements compatibles entre eux et optimiser leurs rôles dans la mission. Chaque objet, chaque équipement, possède ses contraintes propres. Certains ne doivent pas être trop secoués, d'autres ne supportent pas le froid ou le chaud d'autres doivent être placés dans des endroits privilégiés, une caméra par exemple. Intégrer, c'est trouver le meilleur compromis possible pour disposer les objets dans la fusée.

Le rôle principal de la structure mécanique est de transmettre à la charge utile la poussée du moteur et de minimiser les autres forces : freinage aérodynamique, vibrations etc...Elle protège les équipements vis-à-vis de l'environnement extérieur.

En fonction des besoins, la structure doit avoir des qualités spécifiques. La structure d'un avion de ligne est différente d'un avion d'arme. La répartition des masses, la manière d'accrocher la charge utile, la dimension des portes influent sa structure et son revêtement.

## **A - QUALITES DEMANDEES A LA STRUCTURE**

Dans une fusée, la poussée du moteur produit une accélération puisque l'une et l'autre sont reliées par la relation (principe fondamental de la dynamique) :

$$\text{Poussée} - \text{freinage aérodynamique} - \text{poids de la fusée} = m * a$$

Le signe - (moins) indique bien que la force de freinage est opposée à la poussée du moteur.

$m$  est la masse de la fusée et  $a$  est l'accélération.

Quand on a choisi un moteur, la poussée est imposée. Pour avoir la vitesse la plus élevée on doit chercher à avoir l'accélération la plus grande possible.

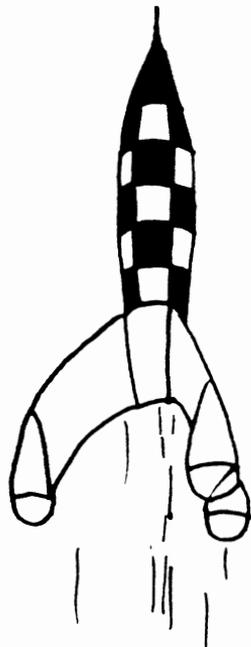
En effet,  $v = a * t$  avec  $v$  = vitesse de l'engin au bout du temps  $t$ .

L'interprétation de la formule est immédiate, il faut minimiser le freinage aérodynamique et la masse. Cyrano de Bergerac n'aurait pas dit mieux : plus cela est léger plus cela monte haut. De plus une structure lourde est un poids mort au détriment de la charge utile.

Pour minimiser le freinage aérodynamique, la structure doit avoir une forme pointue pour améliorer sa pénétration dans l'air et être sans aspérités pour limiter les turbulences : tête de vis, raccord de carrosserie, carrosserie appelée peau à cause de sa minceur.

Votre fusée sera guidée par des ailerons. Ils s'appuieront sur l'air (voir le chapitre sur le Vol de la Fusée) et provoqueront des forces de rappel qui redresseront la fusée sur sa trajectoire. Il vaut mieux que sous leurs actions rien ne casse. On n'imagine pas l'importance des efforts auxquels est soumise une structure.

Au maximum de la poussée, l'accélération d'une fusée de 4,5 kg équipée d'un propulseur Isard est de 150 m/s<sup>2</sup> soit 15 G ou 15 fois l'attraction terrestre.



En ce moment sur Terre, vous subissez 1 G. Sur la Lune, l'attraction est de 1/6 de G, d'où l'impression de légèreté donnée par les astronautes américains. Sur les films de l'époque, vous remarquerez qu'ils sautillent avec aisance.

Dans votre fusée, la situation sera inverse. Si on la compare à l'attraction de la pesanteur terrestre, un élément de la fusée pèsera 15 fois son poids habituel pendant les phases d'accélération.

L'effort sera dirigé vers l'arrière pendant la phase propulsée et vers l'avant pendant le reste du vol à cause du freinage aérodynamique. La cellule subira des forces de compression. Une peau porteuse, les vis de fixation d'une pièce de liaison auront par exemple à supporter un effort de l'ordre de 375 N ("38 kg force") si la partie supérieure pèse au sol 2,5 kg. Pour un objet placé dans la fusée, la situation sera la même que la votre dans une voiture qui démarre brutalement, vous êtes calé au fond du siège. Au moment d'un freinage les forces s'inversent et vous projettent vers l'avant (ordre de grandeur: 1 G).

A côté de ces forces principales faciles à calculer, il existe de nombreuses autres forces plus difficiles à évaluer. Ce sont les turbulences de l'air et le moteur qui génèrent des vibrations particulièrement destructrices car elles secouent les pièces dans tous les sens. Les éléments de la fusée, et plus particulièrement la cellule qui sera l'élément de transmission principal des efforts, doivent être particulièrement rigides et bien fixés entre eux. Une fixation insuffisante risque de provoquer la séparation d'éléments à la fin de propulsion moment où l'accélération et les forces aérodynamiques sont maximales.

En résumé, la structure d'une fusée doit être :

- aérodynamique / légère / rigide / n'amplifie pas les vibrations.

A ces qualités mécaniques s'ajoutent des qualités ergonomiques. Une structure doit permettre d'accéder facilement aux éléments de la fusée pour permettre leurs montages, leurs vérifications, leurs réparations. Par exemple changer les piles de la fusée ne doit pas prendre plus de quelques minutes et ne doit pas nécessiter un démontage complet de votre engin.



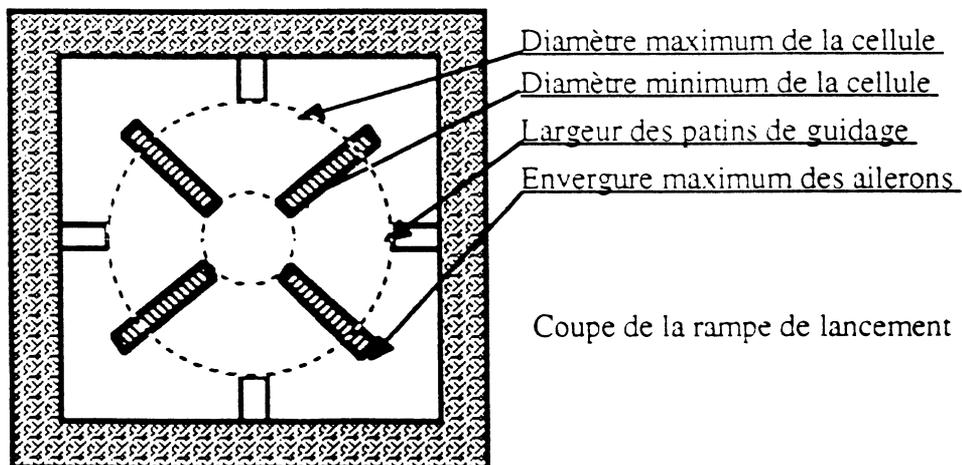
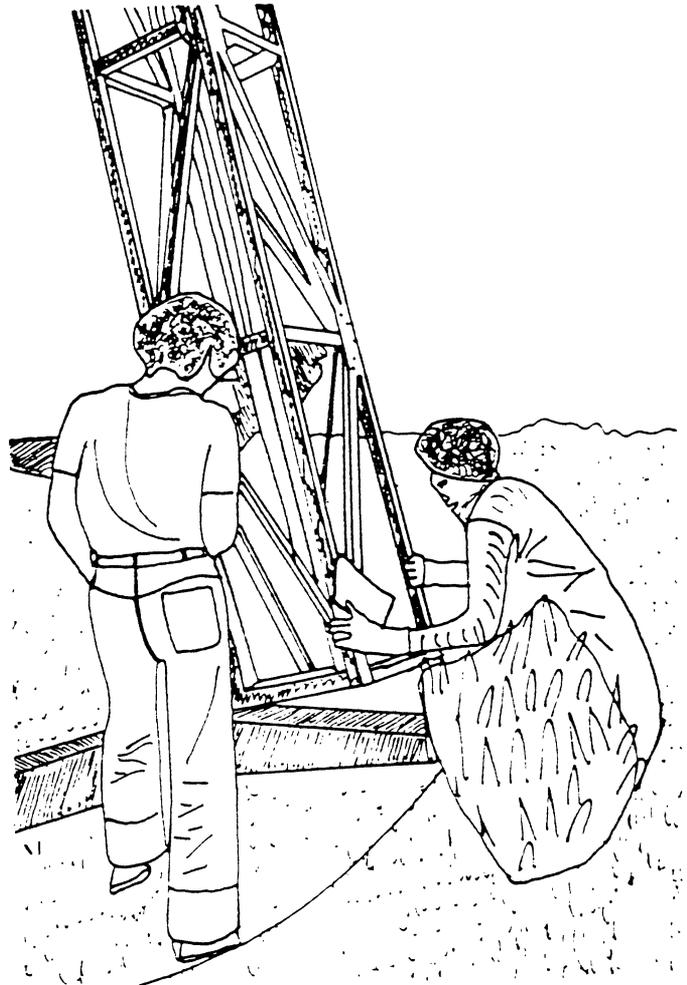
Certaines de ces qualités sont contradictoires. A vous, de trouver le meilleur compromis. Elles ne sont pas insurmontables, mais elles sortent de l'ordinaire. Ce qui ne peut être démonté à la main peut se déboîter en vol. La tenue mécanique de la fusée est éprouvée dans les trois premières secondes de vol, temps qu'aura mis la fusée pour atteindre une altitude proche de 250 m et une vitesse supérieure à 200 m/s (720 km/h).

## B - COMPATIBILITE DE LA STRUCTURE AVEC LA RAMPE DE LANCEMENT

En plus des qualités énumérées ci-dessus, la structure doit avoir une forme qui rende la fusée lançable avec une rampe de lancement. Elle guide la fusée au moment de son départ quand la vitesse au décollage est trop faible pour que les ailerons soient efficaces.

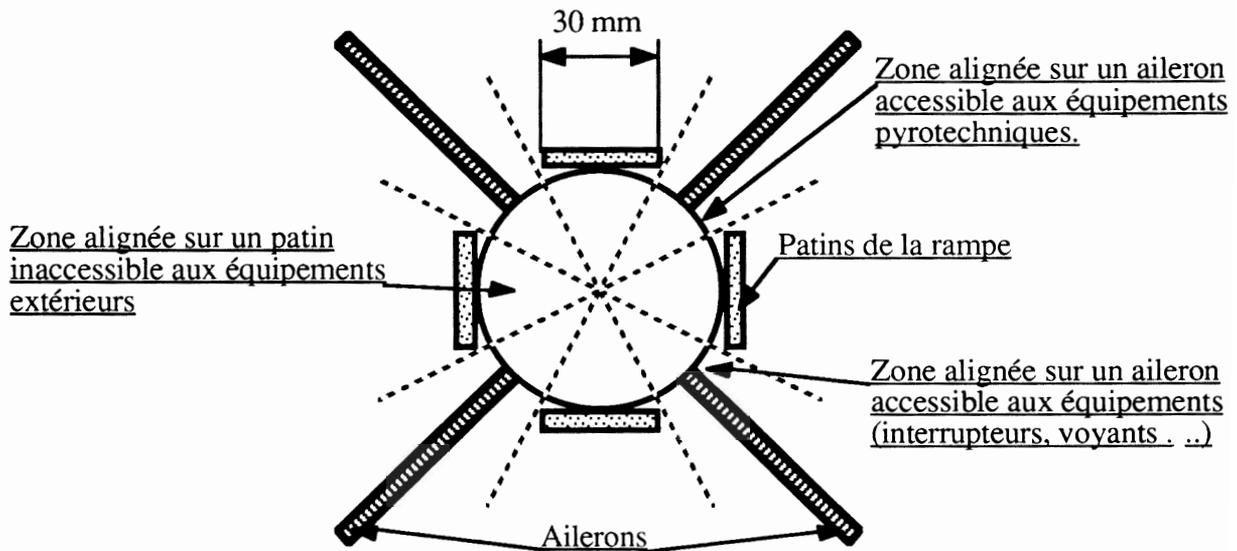
Il n'est pas question de réaliser une rampe spéciale pour chaque fusée. Aussi, des rampes standards sont à votre disposition. Celle que nous vous proposons est constituée d'un pied tripode supportant un fût vertical. Une cage vient se poser sur ce fût. La cage bascule sur ce fût. La position horizontale permet d'installer la fusée dans la rampe. La position verticale permet le lancement. La fusée est guidée sur 4 m.

Les équipes qui l'utilisent sur l'aire de lancement lui ont attribué un surnom. "Astérix". Cette rampe accepte des fusées d'un diamètre maximal de 130 millimètres, d'une envergure maximale de 370 millimètres et d'une masse maximale de 25 kg. La largeur des patins de guidage est de 30 mm.



L'ensemble des éléments dépassant latéralement de la cellule (vis de fixation, connecteurs, interrupteurs, câbles, antennes...) ainsi que les éléments devant être accessibles une fois la fusée sur rampe doivent se trouver, le mieux possible, sur deux lignes directrices alignées sur les ailerons. Le reste de la fusée est en effet caché par les patins de la rampe qui guident la fusée. Si vous placez un interrupteur derrière les patins vous ne pourrez pas le basculer.

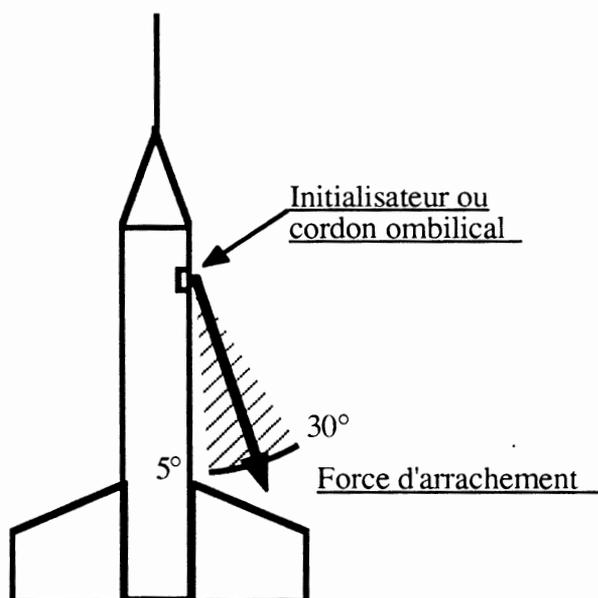
Pour assurer la sécurité des manipulateurs, les goupilles pyrotechniques utilisées pour la séparation de la fusée Lambda (voir chapitre Récupération) doivent se trouver sur les deux lignes directrices alignées sur les ailerons non occupés par les autres équipements. De plus, elles doivent être repérées par de grosses flèches rouges sur le corps de la fusée.



Position des patins de la rampe par rapport à la fusée, vue en coupe.

Par rotation du fût, la rampe est réglable en gisement. Par rotation de la cage autour du fût, la rampe est réglable en site. L'angle de site au lancement est compris entre 65 et 85 degrés et sa détermination dépend en outre des conditions météorologiques et de critères de sécurité au moment du lancement

Les initialisateurs (voir chapitre Minuterie) et les cordons ombilicaux, (câbles électriques assurant les liaisons entre la fusée et l'extérieur) qui se détachent lors du décollage de la fusée, doivent pouvoir s'arracher sous un angle allant de 5° à 30° par rapport à l'axe longitudinal de la fusée. Ceci est imposé par la méthode employée pour accrocher les cordons ombilicaux et les initialisateurs sur la rampe.



### **C - COMPATIBILITES DE LA CELLULE AVEC LES EQUIPEMENTS**

Il s'agit maintenant de disposer les équipements à l'intérieur de la cellule. Dans un premier temps, on évalue pour chacun deux leurs particularités. Voici quelques exemples de ces inventaires :

Equipements :	Accéléromètre SuperG	Remarques
Dimensions :	25 x 25 x 30 mm	
Position de fonctionnement:	verticale, le plus prêt possible du centre de gravité	La flèche gravée vers le haut
Poids :	75 g	
Accessibilité :	aucune	
Solidité :	supporte l'écrasement	
Alimentation électrique:	aucune	
Autres câblages :	trois fils repérés par leur couleur	

Equipements :	Emetteur de télémesure IBIS	Remarques
Dimensions :	97 x 38 x 31 mm	
Position de fonctionnement:	indifférente	
Poids :	120 g	
Accessibilité :	couvercle accessible et démontable	4 vis à démonter
Solidité :	supporte l'écrasement	
Alimentation électrique:	12 V DC, 35 mA	
Autres câblages :	signal de modulation AC, câble d'antenne,	Câble antenne le plus court possible. Un condensateur de 470 nF doit être câblé entre les pattes d'alimentation. Tous les fils de masse de l'électronique doivent être raccordé à la cosse négative de l'émetteur,

Equipements :	Piles	Remarques
Dimensions :	10 éléments cylindriques de 15x50	
Position de fonctionnement:	indifférente	Les contacts piles visibles pour mesurer l'état des piles
Poids :	120 g	
Accessibilité :	très bonne	
Solidité :	supporte l'écrasement	
Alimentation électrique:	2 fils avec connecteur	

Chaque élément doit être caractérisé avec le plus de précision possible. La résistance à l'écrasement indique si il est possible d'empiler les équipements ou si on doit les protéger dans un boîtier.

Ensuite vient l'étude d'un compromis entre les exigences souvent contradictoires des divers équipements. Certains choix sont évidents. Les tuyères placées en bas d'un engin sont orientées par des vérins qui reçoivent les ordres d'un ordinateur placé en général dans le haut. Faut-il placer les vérins à côté des moteurs ou du ordinateur ? Comme il est plus facile de transporter des signaux électriques que des mouvements mécaniques, la place des vérins près des moteurs semble naturelle. Parfois le compromis est plus difficile. Dans votre fusée faut-il placer les piles, objet lourd, en haut ou en bas de l'engin ? En haut, elles participent à la stabilité de la fusée en remontant le centre de gravité (voir le chapitre sur le Vol de la Fusée) mais elles obligent à construire une structure solide pour les porter et donc plus lourde ce qui est défavorable.

En proposant des pièces pré-réalisées dans la mallette nous avons orienté en partie ces choix. La partie suivante décrit un modèle d'intégration mais il vous est possible de le modifier si vous jugez qu'il n'est pas optimum pour vos besoins.

Pour ne pas avoir de mauvaises surprises au montage final, les intégrateurs ont pris l'habitude de participer à la conception des équipements. Ils définissent des normes sur la manière de prévoir la fixation des équipements, leur taille maximum, les connecteurs électriques utilisables, les tensions électriques disponibles à bord, les pollutions radioélectriques et chimiques admissibles,...

Cette nécessité d'être présent dans toutes les étapes de la conception fait que dans l'organisation du travail l'intégrateur est souvent le maître d'oeuvre c'est à dire la personne responsable dans sa globalité du projet. Il est donc le mieux à même pour donner des consignes et imposer des normes aux équipements.

Pour Ariane le CNES est le maître d'oeuvre. Outre la gestion des aspects financiers du programme, le CNES a pour rôle de vérifier que les divers industriels impliqués, travaillent de façon harmonieuse. Il vérifie en outre que la coiffe fabriquée en Suisse par la société .....se monte sur la case à équipement fabriquée par Matra en France et que le satellite du client Australien fabriqué par la société américaine Hughes entre dans la dite coiffe.



Nous vous conseillons d'avoir un fonctionnement similaire dans votre club, de définir un Chef de Projet et de lui confier uniquement les tâches d'intégration. Il s'agit d'une activité à part entière et si il lui arrive d'être libre, il peut toujours donner un coup de main pour la fabrication d'une pièce. Malgré son titre, le Chef de Projet n'est pas obligatoirement la plus "grande gueule" du club. On choisira un équipier dont la compétence technique est reconnue de tous et qui sait gérer les papiers avec soins. Il assure la coordination entre les membres. Il doit imposer des choix comme par exemple les modèles de vis ou les tensions électriques. Dans les domaines où il ne possède pas assez d'informations il doit proposer des enveloppes. Par exemple les circuits électroniques sont des éléments souvent terminés tard. Il est toutefois possible dès le début du projet de définir leurs dimensions limites à partir de l'avis des électroniciens et d'imposer le câblage des connecteurs. Ces renseignements suffisent pour définir l'intégration sans connaître tous les détails des équipements.

## D - REALISATION PRATIQUE DE LA CELLULE DE VOTRE FUSEE

La cellule est constituée d'une peau qui donne sa forme extérieure et de pièces intérieures qui assure sa solidité. Vous les trouverez dans la mallette. Elles ont été conçues pour résister aux efforts du vol. Lorsque vous allez les travailler (perçages, limage, sciage...), ne diminuez pas trop la quantité de matière qui les constitue : vous risqueriez de les fragiliser.

Ces pièces sont :

- la pièce d'adaptation au propulseur également nommée "plaque de poussée". Cette pièce se visse sur le goujon du moteur (voir le plan à la fin du chapitre La Récupération).

- la pièce de séparation (voir le plan à la fin du chapitre La Récupération).

- 3 disques permettant à votre gré de réaliser des étages intermédiaires pour fixer les équipements.

- et toutes autres pièces dont vous aurez besoin et que vous prendrez l'initiative de réaliser.

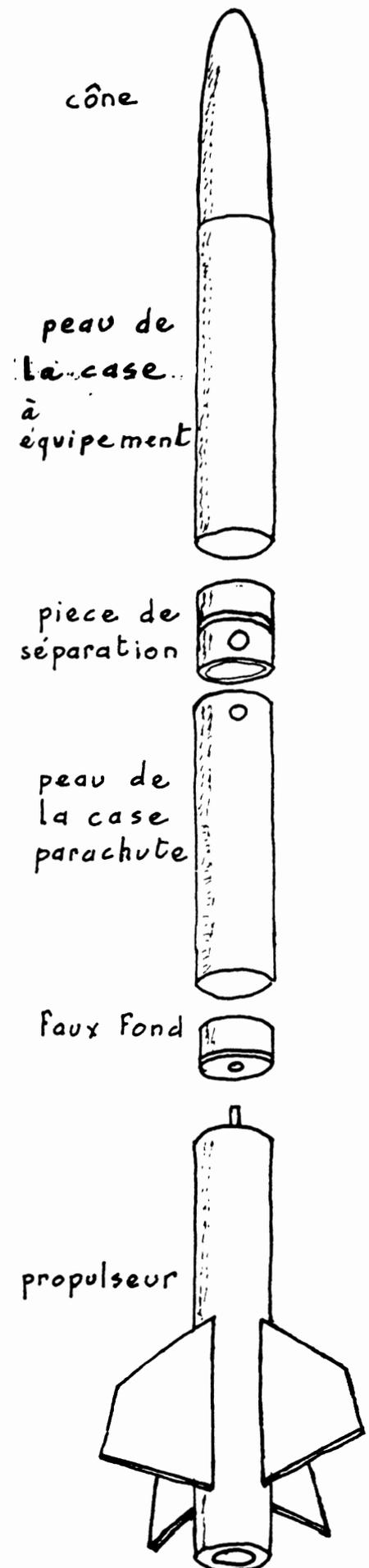
### D.1 La peau.

Depuis le haut de la fusée, la peau est constituée de 3 parties :

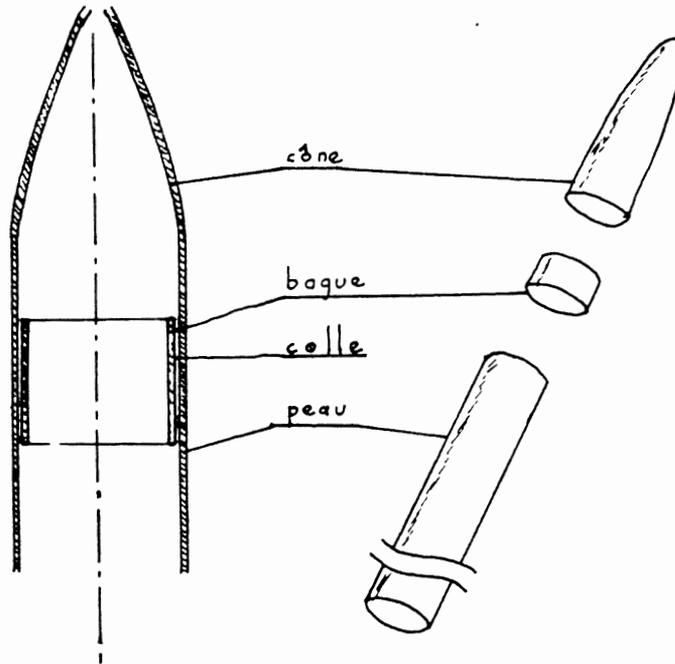
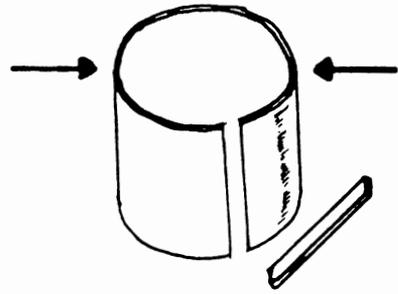
- le cône qui assure un profil aérodynamique.
- la peau de la case équipement qui enveloppe la charge utile.
- la peau de la case récupération qui enveloppe le ressort et le parachute maintenu dans ses deux demi-quilles (voir le chapitre "Récupération").

Le cône qui est dans la mallette se termine par un filetage. Il faut le scier car il est inutile pour la fusée Lambda. La peau est un tube de PVC de diamètre 63 mm extérieur qui est léger, résistant et facile à travailler. On le trouve dans les magasins d'accessoires pour le bâtiments. Vous demanderez du tube de 63 mm en qualité "fourreau" de 1 mm d'épaisseur. Il sert à protéger les câbles électriques quand on les enterre. Une bague échantillon est disponible dans la mallette.

La peau et le cône sont collés ensemble par l'intermédiaire d'un bague de raccord intérieur avec de la colle spéciale PVC utilisée en plomberie plastique. La bague s'obtient en coupant une rondelle du tube de PVC de quelques centimètres. Ensuite on découpe dans la



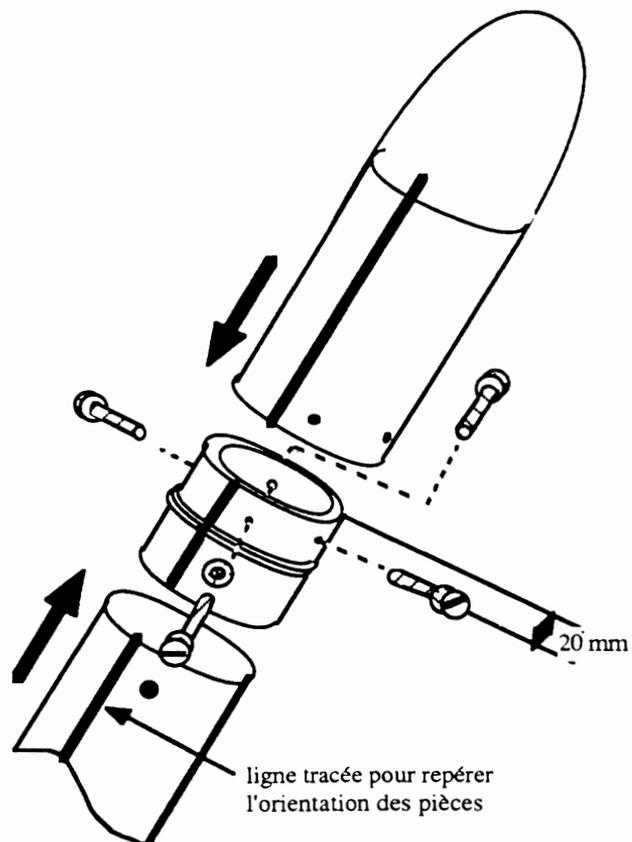
rondelle une languette de quelques millimètre. En reserrant la rondelle ainsi fendue, on peut diminuer son diamètre pour la faire rentrer dans le cône.



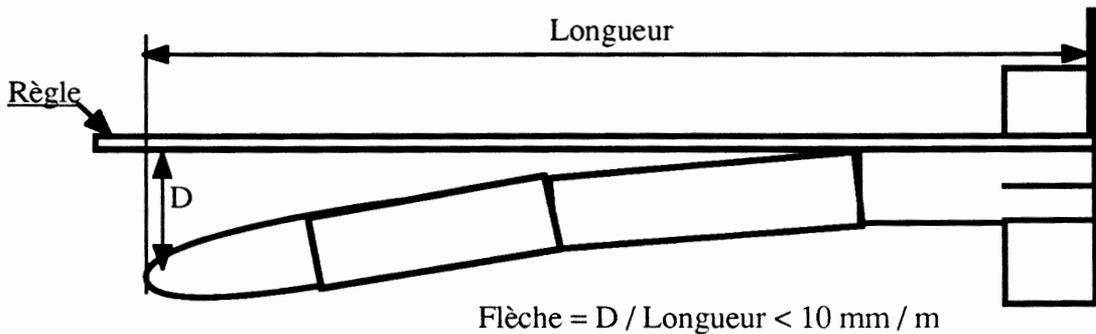
## D.2 Fixations des peaux sur les pièces de liaisons

Les peaux sont fixées sur les pièces de liaison par l'intermédiaire de 4 vis de diamètre 4 mm situées à  $90^\circ$  l'une de l'autre et à 20 mm du bord des tubes. Les trous percés dans les pièces de liaisons sont taraudés.

Une fois la fixation réalisée, il est rare que les trous soient exactement à  $90^\circ$  et de ce fait il est impossible de réaliser des rotations entre les tubes et les pièces. Pour éviter des recherches incessantes à chaque remontage, il est indispensable de repérer les trous correspondants sur la peau et sur les pièces. La solution pratique consiste à tirer un trait (ou coller un ruban adhésif) sur la longueur de la fusée.



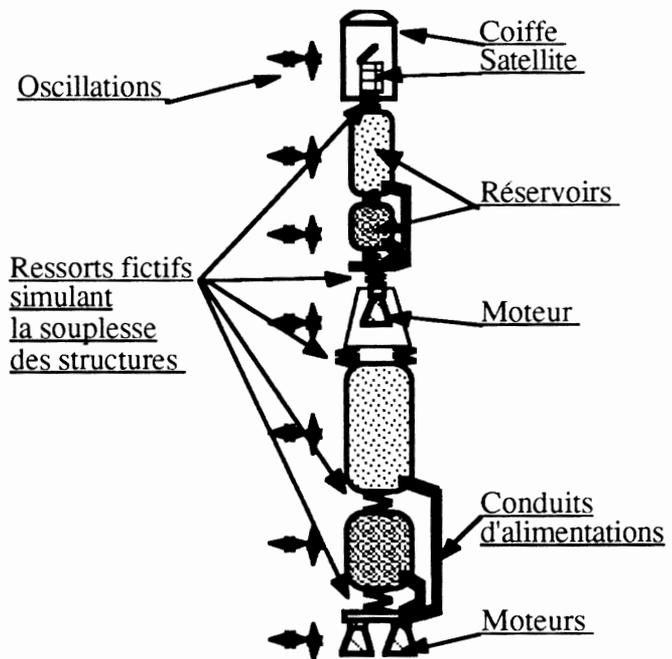
Le fait que toutes les pièces ne soient pas bien alignées fragilise beaucoup une cellule. On appelle cela "avoir de la flèche". La banane est un fruit qui a beaucoup de flèche ! Sous les efforts d'écrasement dus à l'accélération, la fusée aura tendance à se plier et risquerait de casser. La figure ci-dessous montre comment la flèche se mesure. La fusée complète est posée par son moteur sur le bord d'une table. Les autres parties sont au dessus du vide. Une règle permet de matérialiser l'horizontale. La fusée ne doit pas se courber de plus de 10 mm par mètre de longueur. Pour réaliser ce contrôle sans le moteur on le remplace le goujon de fixation par un morceau de tige filetée.



On minimise la flèche en soignant la fabrication de la cellule. Les tubes doivent être couper parfaitement d'équerre, les emboîtements avec les pièces doivent avoir au moins un demi diamètre et les trous de fixation dans la peau doivent être ajustés au diamètre des vis.

Sur Ariane, la rigidité de la fusée est en partie assurée par le gonflage sous pression des réservoirs. Ce procédé permet d'avoir des parois très minces. Astucieux !

Un modèle simple pour simuler la rigidité d'une grosse fusée est de l'imaginer comme un empilement de boîtes : la coiffe, la charge utile, les étages, les moteurs, les jupes, les réservoirs, etc, séparées par des ressorts. Les ressorts simulent la souplesse des matériaux. L'ensemble oscille excité par les vibrations des moteurs. Comme les réservoirs se vident au cours du vol, les fréquences de résonance évoluent. Quand il y a coïncidence entre la résonance d'une boîte et une vibration excitatrice, une partie de la fusée se met à avoir des mouvements d'oscillation par rapport aux autres dont l'amplitude peut amener la destruction de la fusée.



Ce phénomène s'appelle l'effet Pogo. Des correcteurs Pogo permettent de juguler ce phénomène, en faisant changer automatiquement le régime du moteur, ou bien en modifiant les fréquences d'accord des tuyaux d'alimentation en ergol qui sont responsables du couplage des vibrations entre les moteurs et le reste de la fusée.

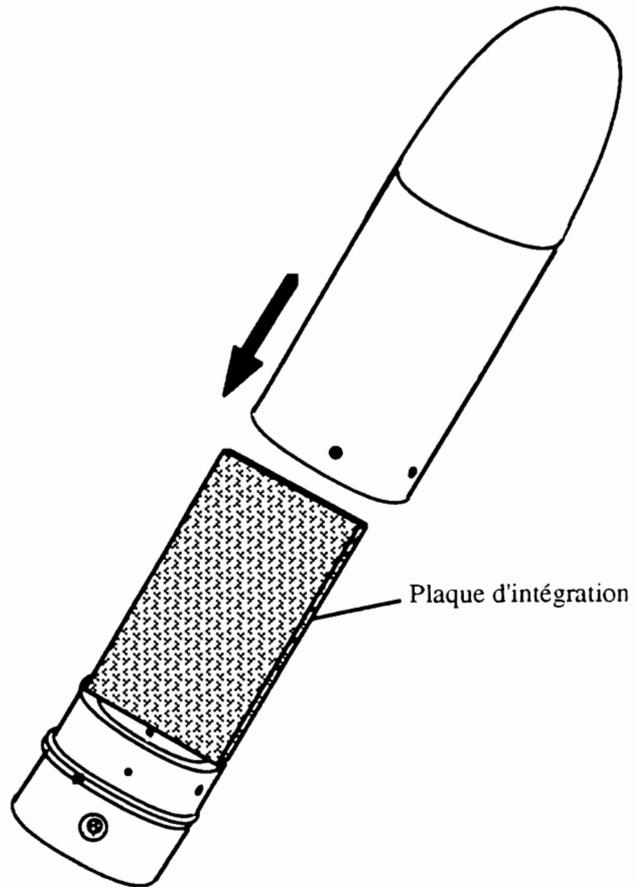
### D.3 Description de l'intégration

La cellule comprend un système d'intégration qui maintient les équipements. Nous vous proposons de réaliser l'intégration en plaçant les équipements sur une plaque rigide. Elle débute au niveau de la pièce de séparation et se termine à la base du cône. Des deux cotés de cette plaque viennent se fixer les capteurs, les piles, les plaques électroniques, les systèmes de contrôle, de commande et d'initialisation etc les faisceaux de câbles,

Cette plaque est taillée pour entrer dans la peau et elle peut être réalisée à votre choix soit :

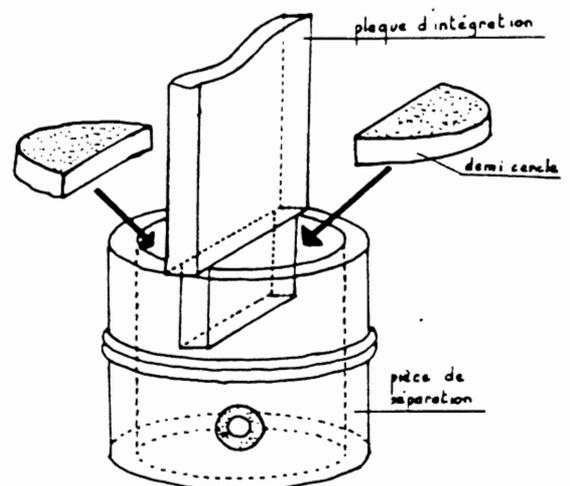
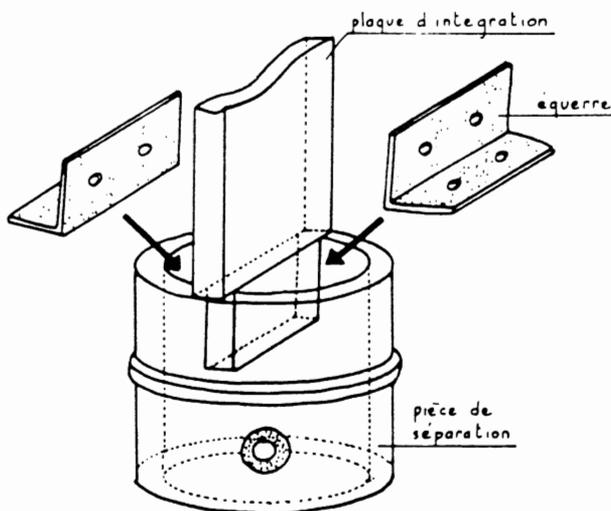
- dans une tôle d'aluminium de 2 ou 3 mm,
- dans une plaque de plastique, rigide (PVC, Delrin ...) de 4 ou 5 mm,

Des trous judicieusement placés peuvent l'alléger.



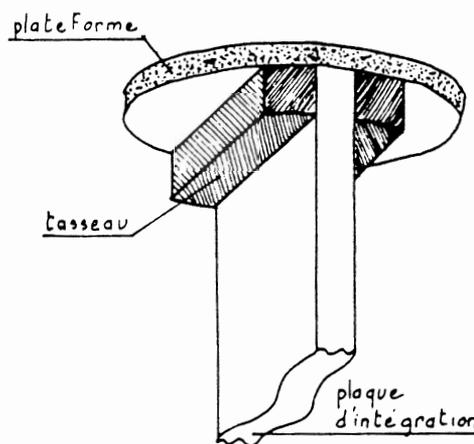
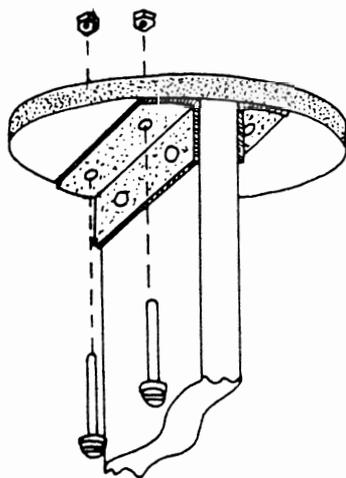
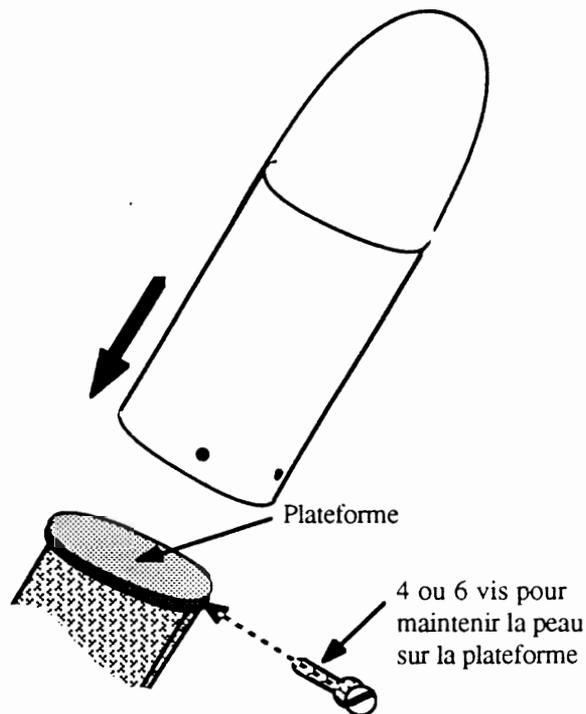
### D.4 Fixation de la plaque d'intégration

Il faut tout d'abord fixer cette plaque sur la pièce de séparation. Plusieurs méthodes sont possibles, les dessins ci-dessous vous en suggèrent deux. Une languette de 25 mm s'emboîte dans la pièce. Si le besoin de solidité le justifie on peut combiner les deux méthodes. Les demicercles peuvent être taillés dans une plaque de plastique ou de contre-plaqué. Pour les équerres le plus facile est de les tailler dans un profilé en aluminium.



Ensuite coté du cône il vous est proposé un système permettant de démonter la fusée facilement . Pour accéder à l'électronique la peau de la case à équipement coulisse. On arrive tout naturellement aux solutions suivantes mettant en œuvre une plate-forme de centrage. Cette plate-forme est un disque qui coulisse à frottement doux dans le tube. Son épaisseur doit être de l'ordre de 6 à 8 mm pour permettre de fixer la peau avec des vis. On peut la réaliser en métal ou en plastique et la aussi des découpes judicieuses peuvent l'alléger sans trop diminuer sa solidité.

Les dessins suivants proposent une solution pour fixer le disque sur la plaque d'intégration :

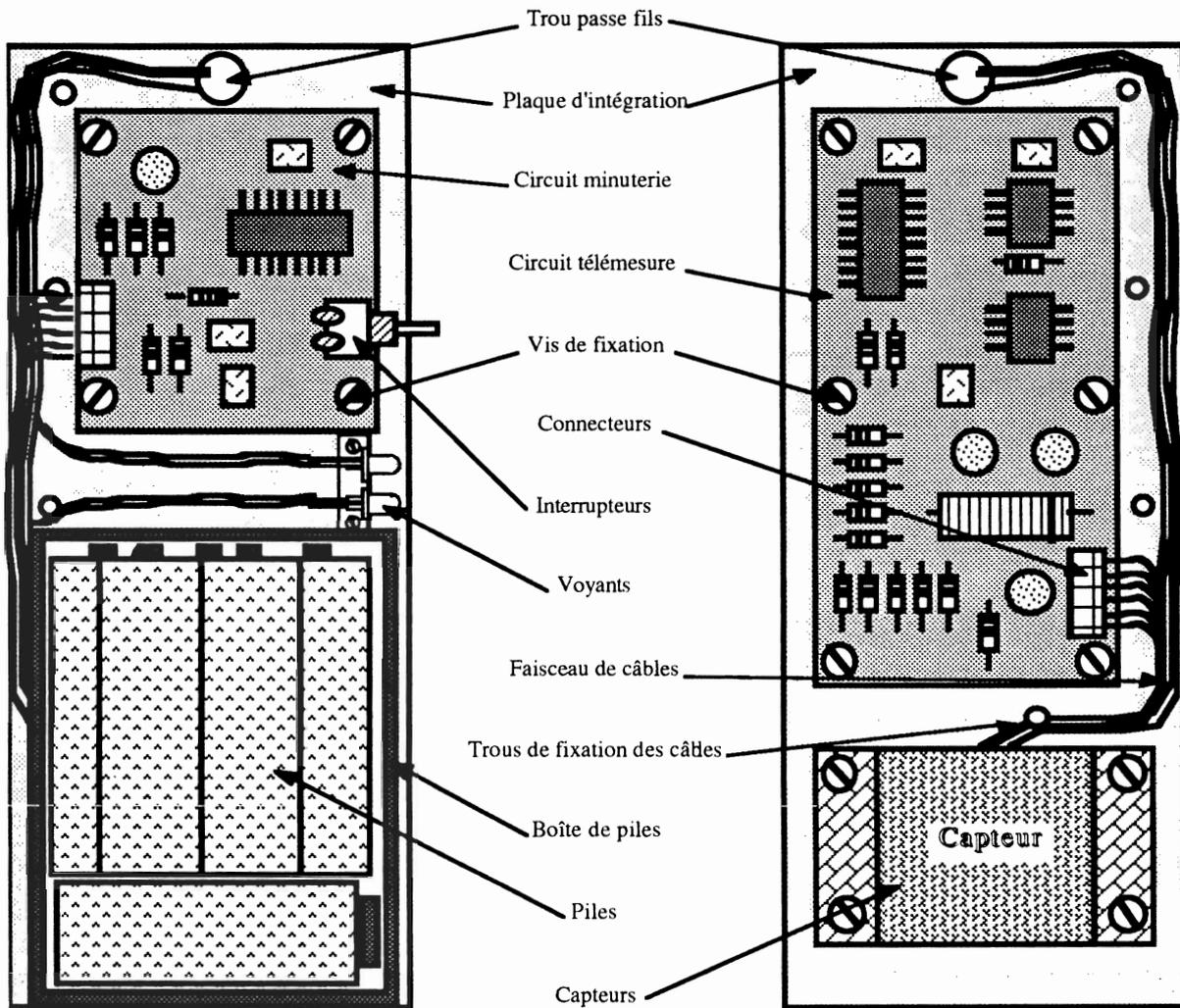


## E - DISPOSITION DES EQUIPEMENTS SUR LA PLAQUE D'INTEGRATION

L'inventaire préalablement effectué des équipements est mise à contribution pour les disposer. Les chapitres consacrés à l'électronique vous montrerons que la fusée Lambda possède une charge utile que l'on peut décomposer ainsi :

- un circuit électronique de minuterie,
- un capteur,
- des interrupteurs,
- un émetteur,
- un circuit électronique de télémétrie,
- un jeu de piles,
- des voyants,
- une antenne,

Un exemple de disposition vous est présenté dans les figures suivantes. Les circuits électroniques, le capteur, les piles et les accessoires sont placés de chaque coté de la plaque d'intégration. L'émetteur et l'antenne sont placés dans le cône. Vous pouvez en imaginer une autre mais en vous imposant de laisser l'émetteur en haut et en minimisant la longueur de tous les fils électriques qui relieront les équipements.



Recto

Verso

Exemple de disposition des équipements sur la plaque d'intégration.  
Les dimensions ne sont qu'indicatives

## **F - FIXATION DES EQUIPEMENTS SUR LA PLAQUE D'INTEGRATION**

### **F.1 Fixation des circuits électroniques**

Généralement, les plaques électroniques sont fixées par des vis de diamètre 3 mm situées aux quatre coins. Si elles sont longues, des vis intermédiaires sont implantées sur le plus grand coté. Attention, le contact des vis métalliques avec des composants électroniques ou des pistes de circuit imprimé est source de court-circuits. On éloigne donc les fils et les pistes des circuits imprimés, des vis de fixations. Les plaques sont fixées sur la plaque d'intégration les composants tournés vers l'extérieur. Elles sont sans contact avec la plaque grâce à des entretoises enfilées sur les vis. Il existe des entretoises toutes faites. Sinon, il est possible d'utiliser des tubes de petit diamètre ou même un corps coupé de stylo à bille.

Dès le début de l'étude un dessin standard de carte électronique qui tienne compte de la taille de la plaque d'intégration, de la hauteur des composants électroniques des trous de fixations et servitudes diverses est à définir. Une fois le plan standard retenu, un électronicien

peut disposer les composants sur les plaques tandis que le mécanicien construit l'intégration. Pour toute modification (d'un côté ou de l'autre), il faut se mettre préalablement d'accord.

## F.2 Fixation des capteurs

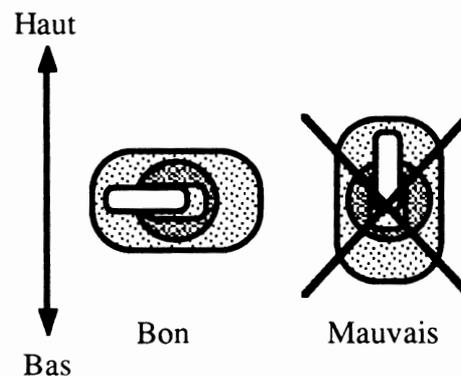
Les capteurs doivent être fixés solidement. Si vous les réalisez vous-mêmes, prévoyez dans leur construction leur mode de fixation (trous, support,...). Si ils sont tout faits, fixez les soit directement grâce aux trous prévus, soit par l'intermédiaire d'une cornière ou d'une équerre. S'ils ne permettent aucune fixation de ce type, trouvez ou réalisez une boîte ajustée et enfermez les dedans puis fixez la boîte comme décrit ci-dessus., A noter que certains capteurs de petite taille peuvent s'installer directement sur les circuits imprimés.

## F.3 Fixation des interrupteurs et des voyants

L'électronique d'une fusée possède des systèmes dont il faut vérifier le fonctionnement. Pour la mise en route et le contrôle, il faut installer des voyants, des connecteurs ou des interrupteurs. Ces objets se trouvent généralement fixés sur la plaque d'intégration car ils commandent des systèmes qui se trouvent placés dessus. Une découpe dans la peau permet d'y accéder de l'extérieur. Comme il faut diminuer la dimension des découpes on choisira des interrupteurs de petites tailles et des voyants de type LED.

Attention il faut disposer les interrupteurs horizontalement et non pas verticalement car dans ce cas l'accélération du décollage pourraient les faire basculer intempestivement.

Ces petits éléments doivent impérativement être fixés solidement car ils seront manipulés de nombreuses fois avant le vol. On peut les installer directement sur les circuits électroniques ou les implanter sur la plaque d'intégration. Des équerres, des cornières, des collages etc permettent de les maintenir en place.



Par exemple une des ailes d'un cornière est percée des trous permettant de fixer les interrupteurs et les voyants tandis que l'autre aile est percée et fixée par des boulons de diamètre 3 mm à la plaque d'intégration.

\*Lorsque l'on a plusieurs éléments à fixer, la meilleure solution consiste à utiliser la même cornière pour fixer tous ces éléments, ce qui diminue les trous de fixation sur la plaque d'intégration et permet de ne pratiquer qu'une seule ouverture dans la peau de la fusée pour accéder aux contrôles et commandes.

\*Dans le positionnement de la cornière et de la fenêtre dans la peau, ne pas oublier que les commandes et les contrôles doivent s'aligner avec les ailerons de la fusée.

## F.4 Fixation des piles

Pour la fixation des piles trois difficultés sont à contourner.

L'accès : Le mieux est de se procurer un boîtier de piles en démontant un vieux jouet électrique, un récepteur de radio etc. En prenant un tel boîtier comme exemple, on peut aussi en réaliser un soit même en matériaux plastiques collés ou en tôle pliée. La réalisation de petites alvéoles dans un matériaux isolants dans lesquelles les piles s'encastrent est une autre solution. Ne pas oublier de concevoir un système qui empêche les piles de sortir de leurs alvéoles ou de leurs boîtiers au décollage !

Le poids : les piles sont des objets lourds qui doivent être solidement maintenus. Sur l'exemple de la page précédente, elles sont placées sur le bas de la plaque d'intégration de façon à s'appuyer directement sur la pièce de séparation. Prévoyez de réaliser des fixations capable de supporter 20 fois le poids des piles : accélération de 10 G multipliée par un coefficient de sécurité de 2.

La qualité des contacts : sous l'action des vibrations les contacts peuvent être l'objet de microcoupures néfastes au fonctionnement de l'électronique, en particulier quand les piles sont maintenues par des ressorts. Les auteurs préconisent une solution radicale pour traiter ce point: la suppression des contacts et le remplacement par des soudures à l'étain directement sur les cosses des piles. Attention quand on réalise ces soudures il faut travailler vite pour ne pas trop chauffer les piles, ce qui les abîment.

### **F.5 Fixation des câbles et des connecteurs**

Les fils de câblage qui relient les équipements entre eux prennent un volume important dans l'intégration. Il faut donc dans la conception prévoir leur place et les trous pour leur passage.

Malgré les apparences, les fils de câblage pèsent, surtout s'ils deviennent assez longs. Or, avec l'accélération, et les vibrations ils tirent de manière sensible sur les soudures, qui ont une faible tenue mécanique. Individuellement les fils sont fragiles. Il vaut mieux les regrouper en torons ou faisceaux. Jetez un coup d'oeil sous le volant d'une voiture. Les fils y sont toronnés avec minutie et très bien protégés des frottements. Ils doivent être accrochés tout le long de leur cheminement. De plus les torons évitent de transformer l'intégration en toile d'araignée.

Pour réaliser des torons, on noue avec de la petite ficelle les câbles rassemblés ensembles. On peut aussi utiliser des colliers plastiques à usage unique prévus à cet effet. Des trous dans la plaque d'intégration permettent de les fixer.

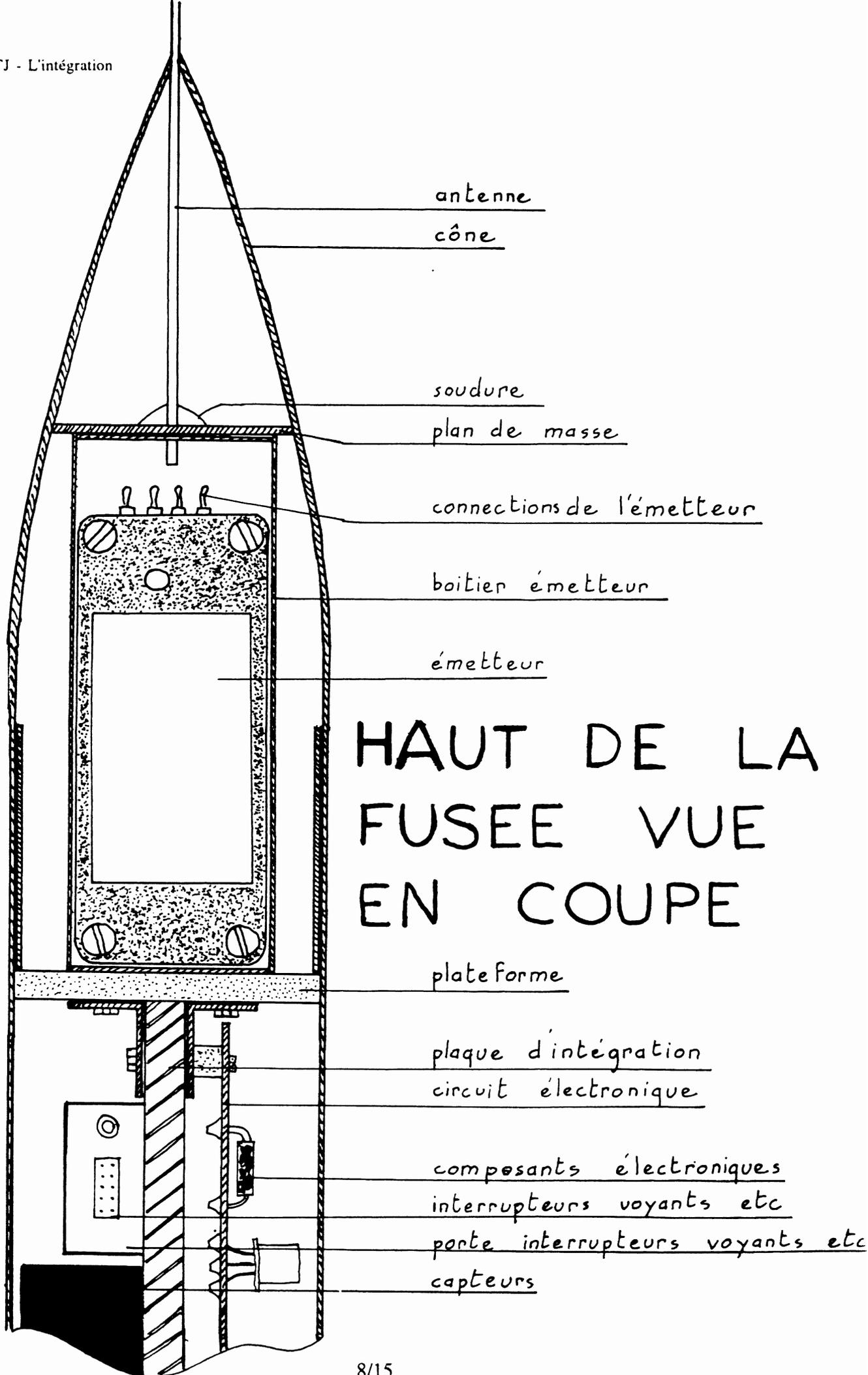
Le câblage utilise OBLIGATOIREMENT du fils multibrins. Le monobrin est trop cassant.

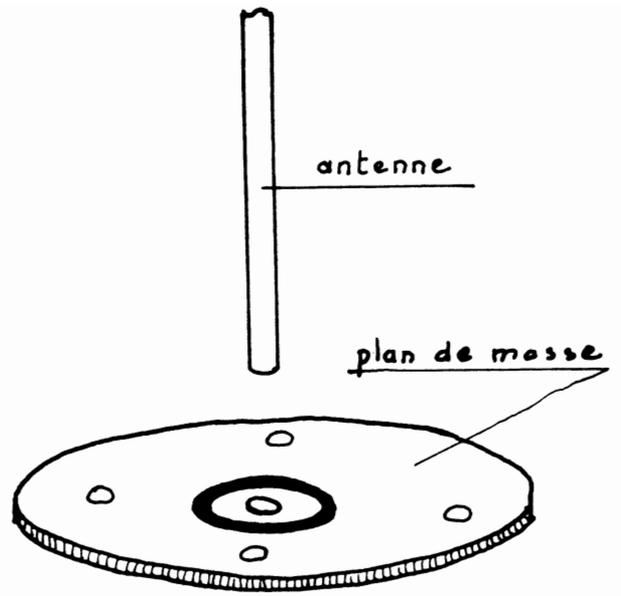
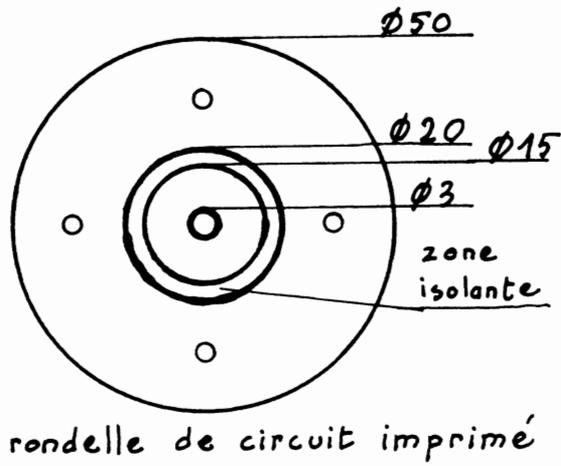
Les connecteurs en relation avec l'extérieur de la fusée doivent impérativement être des connecteurs femelles car un connecteur male a ses broches qui dépassent, cause de courts-circuits souvent destructifs pour les composants électroniques ou les piles. Pour fixer ces connecteurs, la méthode la plus simple consiste à prendre de la cornière métallique dans laquelle on réalise un trou au format du connecteur et des trous pour les vis de fixation du connecteur.

## **G - INTEGRATION DANS LE CONE**

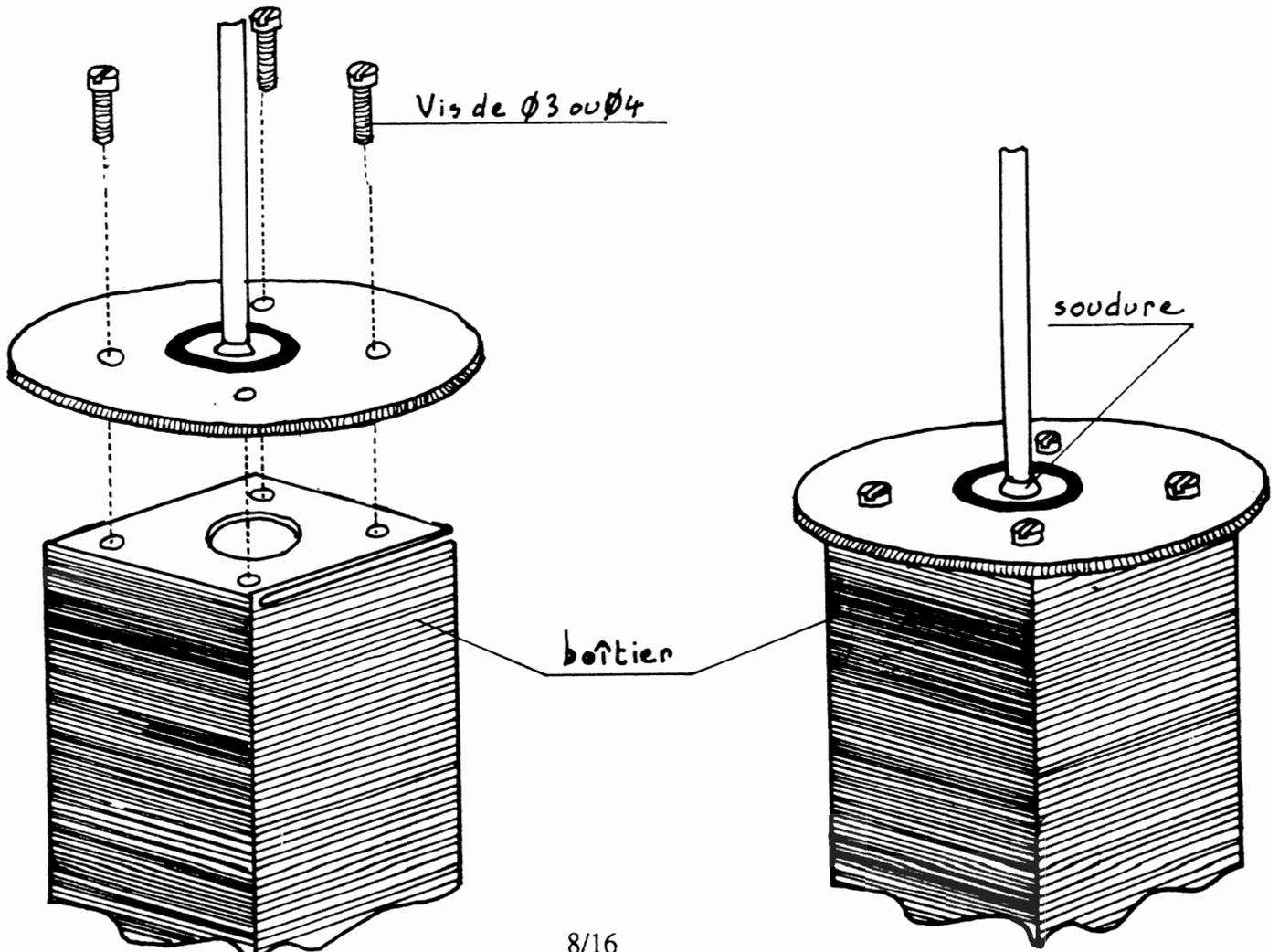
Pour des raisons qui sont expliquées dans le chapitre sur la Télémessure, l'antenne d'émission radioélectrique de la fusée Lambda doit être un tube en laiton de 3 mm de diamètre et de 52 cm de long. La méthode la plus simple pour embarquer une telle antenne est de la placer au bout du cône. Avec l'antenne est associé un émetteur Ibis (Ibis est le petit nom que nous donnons à cet objet) qui doit être placé le plus près possible de l'antenne, sa place est donc naturellement dans le cône au dessus de la plaque d'intégration.

A partir de la plate-forme, fixée sur la plaque d'intégration comme indiqué dans les paragraphes précédents, on trouve l'émetteur enfermé dans une boîte obtenue par pliage d'une tôle en alliage léger. Sur le dessus de cette boîte on place une rondelle, appelée plan de masse. Outre un rôle radioélectrique que nous décrirons par la suite, cette rondelle s'appuie sur le cône et assure ainsi la tenue mécanique de l'antenne qui est plantée en son milieu. L'antenne est fixée par soudure sur le plan de masse et sort du cône par un trou parfaitement ajusté.

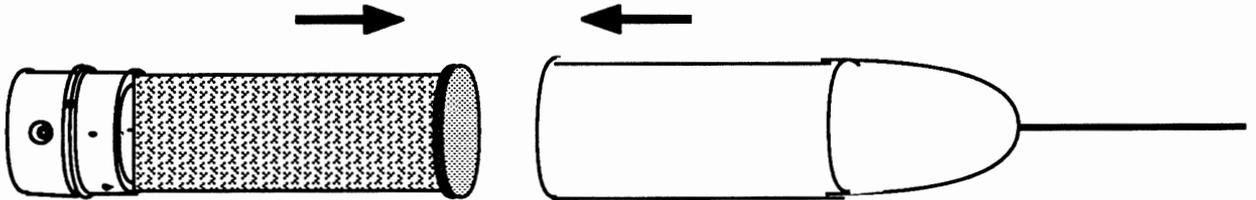




# MONTAGE DU PLAN DE MASSE



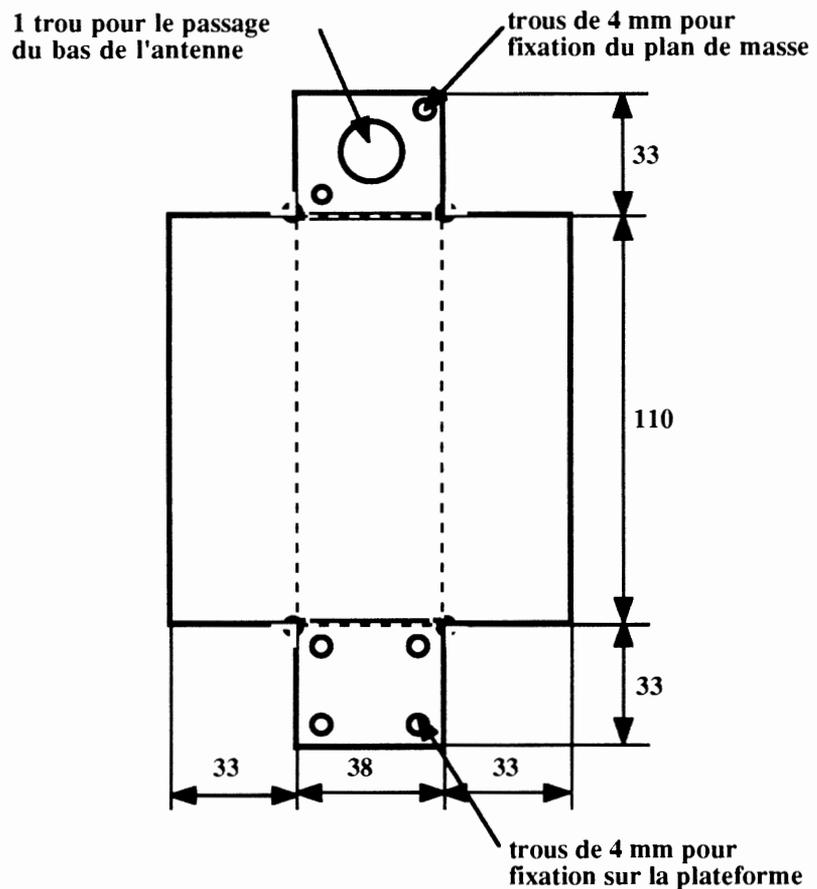
Pour le montage, on installe, l'émetteur, le plan de masse et l'antenne sur la plate-forme et on termine la fusée en faisant coulisser la peau et le cône le long de l'antenne. Reportez vous au dessin de la page 11 et au dessin ci-dessous.



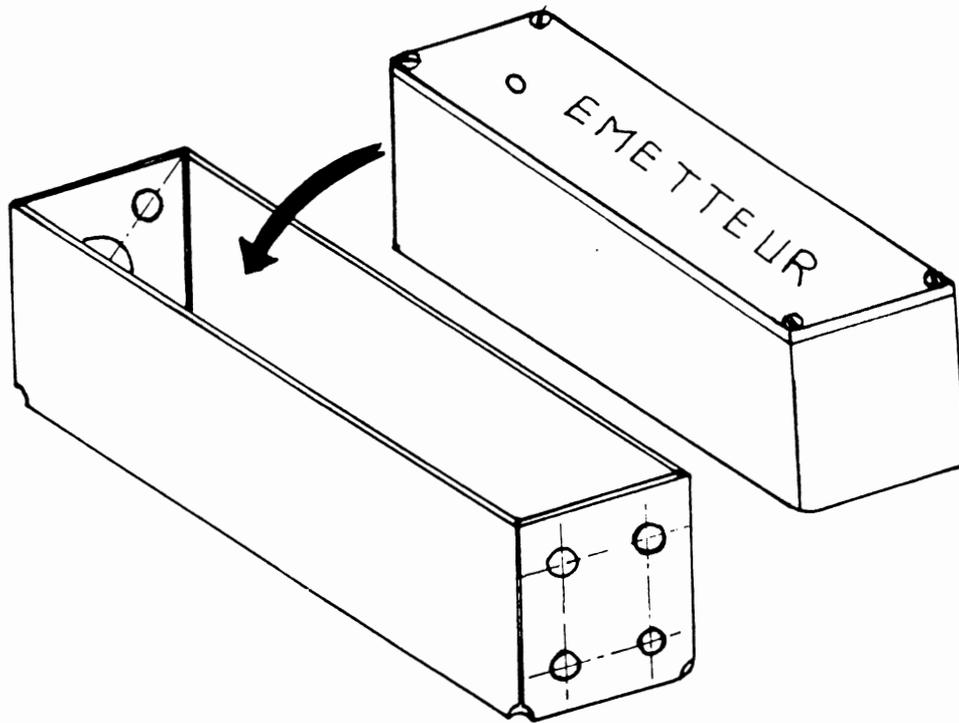
## H - L'EMETTEUR IBIS

### H.1 Fabrication de la boîte

On découpe un flan dans une tôle en alliage léger d'environ 1 mm d'épaisseur puis on réalise des pliages suivants les pointillés comme indiqués sur le plan.



On réalise ainsi une boîte dans laquelle on glisse l'émetteur. La boîte n'est pas complète de façon à laisser le couvercle de l'émetteur accessible pour éventuellement pouvoir le régler.

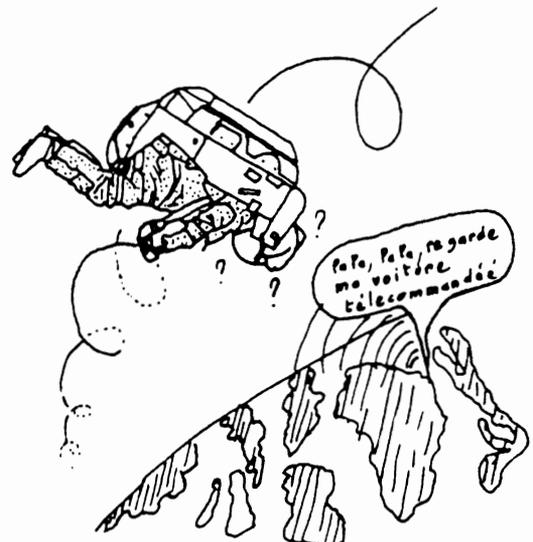


## H.2 Fabrication et montage du plan de masse

Le plan de masse est un élément indispensable au bon fonctionnement de l'antenne. Placé à sa base, il permet à l'émetteur d'assurer l'oscillation des courants, nécessaire à l'apparition d'un rayonnement radioélectrique. On le fabrique comme un circuit imprimé, en découpant une rondelle de circuit imprimé en époxy simple face. Une gravure de la couche de cuivre permet de réaliser deux zones concentriques séparées par une zone isolante. Les dessins de la page suivante donnent les dimensions de l'objet. Son diamètre totale doit être le plus grand possible, compatible avec le diamètre intérieur du cône. La zone centrale est percée d'un trou pour placer le pied de l'antenne et le souder dessus. Le tout est vissé sur la boîte de l'émetteur.

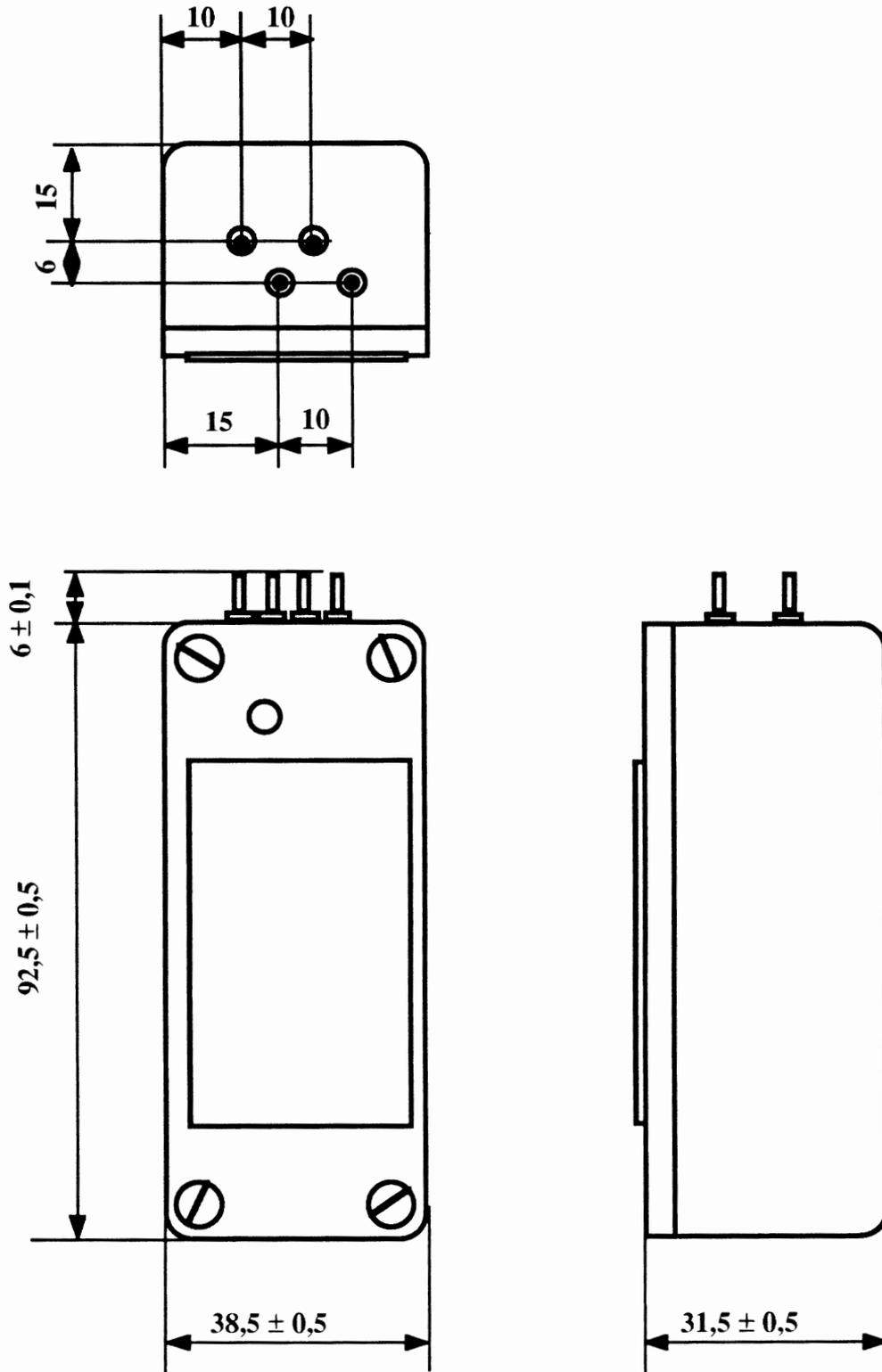
Les potentiels de masse de chaque circuit électronique, comme cela vous sera décrit dans les chapitre consacré à l'électronique, doivent être reliés individuellement au plan de masse par un fils. Il y a donc autant de fils de liaison que de circuit. Cette technique s'appelle : un câblage en étoile de la masse. En émettant vers le sol l'antenne rayonne aussi vers les circuits électroniques, ce qui peut les perturber. Cette technique permet de limiter l'influence de l'émetteur et de l'antenne sur le reste de la fusée. Prévoyez donc dans votre intégration une place pour câbler ces fils et reportez vous au chapitre Télémessure pour le plan de câblage. Ces fils venant de la plaque d'intégration, traversent la plate-forme puis longent la boîte

La discipline qui étudie le problème de ces perturbations s'appelle la Compatibilité Electromagnétique ou CEM. Dans un monde ou de plus en plus d'objets sont électroniques cette discipline complexe prend de l'importance. A titre d'exemple, elle a pour but d'éviter que le rayonnement d'un radiotéléphone de voiture bloque l'allumage électronique de cette dernière, que le fonctionnement du radar à bord d'un avion neutralise l'ordinateur de bord, que l'enclenchement d'un réfrigérateur fasse sauter l'image de la télévision et que la prothèse auditive d'un vieux monsieur grésille à chaque fois qu'il passe près d'un néon.



### H.3 Plan de l'émetteur IBIS

Et pour terminer ce chapitre, voici les plans de l'Ibis à l'échelle 1. Vous trouverez dans la mallette une maquette factice de l'émetteur ce qui vous permettra de faire vos essais d'intégration. Le jour du vol la maquette vous sera échangée contre un émetteur réel prêté pour le vol. Nous avons opté pour cette formule car le prix d'un émetteur est élevé.



## LA MINUTERIE

3.2.1. Allumage ! Votre fusée décolle et s'éloigne de vous. Telle est sa mission. Mais son rôle est aussi de revenir vers vous en fin d'expérience.

Qui va décider de l'instant du retour. Aucunement vous, puisque vous n'êtes pas à bord et une action par télécommande est à exclure, la fusée est trop haute, vous ne la voyez plus et elle n'est pas équipée d'un système vous informant de son état et de son altitude.

Pour augmenter la durée du vol, la décision d'ouvrir le parachute doit être prise à culmination. De nombreuses méthodes sont possibles. Passons en revue trois d'entre elles.

Détecter la culmination à partir de l'annulation de la vitesse est difficile car la fusée ne s'arrête pas réellement à culmination. Seule la composante verticale de la vitesse s'annule. Après avoir plané quelques instants en vol horizontal la fusée redescend sans s'être vraiment arrêtée.

Détecter la culmination à l'aide d'un altimètre ou d'un variomètre n'est guère plus efficace car la sensibilité des capteurs qu'il est possible d'embarquer laisse une incertitude de quelques centaines de mètres sur l'altitude. Si le parachute s'ouvre après 200 mètres de chute libre, la vitesse de l'engin est telle que le risque de déchirement à ouverture est important.

La fusée Lambda possède un moteur aux performances connues et une cellule dont les formes simples, un cône, un cylindre, des ailerons, facilitent les prévisions aérodynamiques. Un calcul prévisionnel de trajectoire est donc possible car les équations mathématiques qui régissent la mécanique du vol sont très bien connues. L'instant de culmination peut être calculé à la main avec un peu de patience ou plus rapidement à l'aide d'un micro-ordinateur avec une assez bonne précision. L'ANSTJ a publié un document à ce sujet : "Données numériques sur le vol des fusées" que nous tenons à votre disposition. Vous pouvez refaire le calcul pour les valeurs particulières de votre fusée ou bien utiliser les abaques que nous avons placées dans le chapitre Récupération. Le jour du lancement ce calcul sera refait précisément à l'aide d'un ordinateur prêté par l'ANSTJ. Le logiciel est disponible gratuitement sur simple demande auprès de l'ANSTJ.

Connaître l'instant de culmination, correspond au temps qui s'écoule entre le décollage et l'ouverture du parachute. Il est facile de concevoir un système qui s'enclenche au décollage, compte le temps et donne l'ordre d'ouverture. Cela s'appelle une **minuterie**. Nous vous proposons cette solution pour sa fiabilité.

Pour votre fusée le temps nécessaire est d'une dizaine de secondes.

A bord des fusées professionnelles, l'enchaînement des séquences est contrôlé à partir d'informations fournies par des capteurs et par des temporisations. Exemple : la séparation entre deux étages est décidée par un accéléromètre qui détecte une variation brutale de l'accélération quand les moteurs s'éteignent à cause de l'épuisement des ergols. L'allumage de l'étage suivant est décidé par une minuterie initialisée par la séparation. La minuterie est réglée au départ pour que l'étage vide ait le temps de s'éloigner et ne gêne pas le reste de la fusée. Il s'agit d'un calculateur de bord qui interprète les informations issues des capteurs et produit les ordres déclenchant les actions.

## A - SCHEMA DE LA MINUTERIE

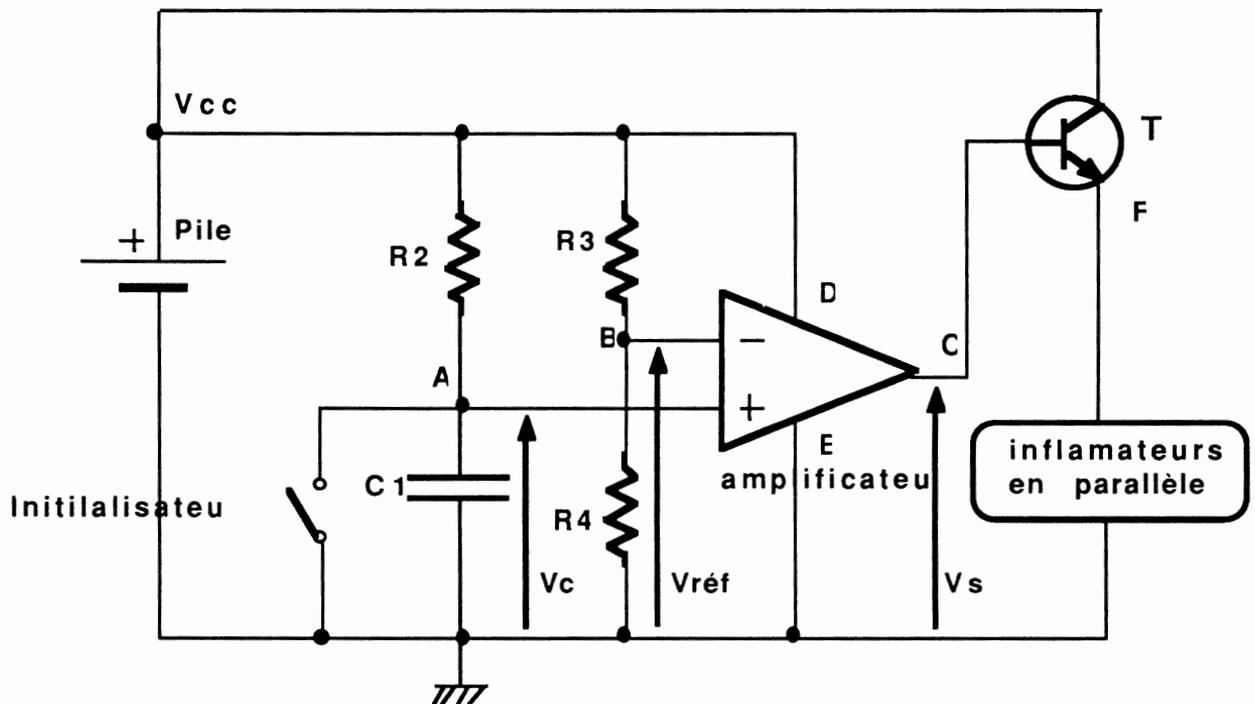
Il existe de nombreux schéma de minuterie électronique. Nous vous en proposons un, choisi pour sa simplicité et sa fiabilité. Nous avons essayé de décrire le plus simplement possible son fonctionnement. Pour certains d'entre vous il s'agit peut être de votre premier circuit électronique. Malgré cela nous avons utilisé des informations et un vocabulaire technique de base. Si aucun des membres de votre club n'a de connaissances en électronique vous avez deux solutions à votre disposition pour réaliser la minuterie nécessaire à votre fusée :

- acquérir un minimum de connaissance en lisant des livres d'initiation. Il en existe d'excellents dont certains sont cités dans la bibliographie en fin de ce livret. Vous progresserez un peu au début mais en essayant de mettre au point quelques montages simples vous ferez très vite des progrès.

- renforcer votre équipe en invitant un électronicien à vous rejoindre,

Les deux solutions peuvent être combinées et en les appliquant vous ferez preuve d'efficacité dans la gestion de votre club.

Le schéma de base de la minuterie est le suivant :



## **B - DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT**



### **Avant le décollage**

Quand la fusée est sur rampe, attendant l'allumage du moteur l'interrupteur appelé initialisateur est fermé et le courant issu de la pile circule dans la résistance R2 puis dans l'interrupteur. Cette pile produit une tension  $V_{cc}$ .

Les résistances R3 et R4 divisent la tension de la pile pour produire une valeur intermédiaire que nous appellerons  $V_{ref}$  (point B et masse).

L'amplificateur a pour rôle de comparer la tension aux bornes du condensateur à  $V_{ref}$ . Il mesure la différence entre  $V_c$  et  $V_{ref}$  et il est câblé pour avoir le fonctionnement suivant :

cas n°1 - si  $V_c - V_{ref} < 0$  alors  $V_s = 0$   
cas n° 2 - si  $V_c - V_{ref} > 0$  alors  $V_s = V_{cc}$

Avant le décollage, le condensateur C1 étant court-circuité par l'initialisateur sa tension  $V_c$  à ses bornes (point A et masse) est nulle. Nous sommes donc dans le cas n°1 car  $0 - V_{ref} < 0$  alors  $V_s = 0$ .

La sortie de l'amplificateur commande le transistor T par sa base. Celui ci joue de rôle d'un interrupteur électronique commandé par  $V_s$ . Quand la tension de base est nulle l'interrupteur est ouvert et aucun courant ne circule du collecteur vers l'émetteur du transistor. De ce fait les inflammateurs ne sont pas alimentés.

### **Au moment du décollage**

Au moment du décollage un système mécanique ouvre l'interrupteur et le courant traversant R2 se dirige maintenant vers le condensateur C1 et commence à le charger. La tension  $V_c$  croît mais nous restons toujours dans le cas n° 1 -  $V_c - V_{ref} < 0$  alors  $V_s = 0$  et le transistor est bloqué.

### **Pendant le vol**

La tension aux bornes du condensateur continue de croître et finie par être plus élevée que  $V_{ref}$ . A ce moment nous passons dans le cas n°2 -  $V_c - V_{ref} > 0$  alors  $V_s = V_{cc}$ .

La tension de base du transistor devient positif et le débloque. Un courant le traverse et circule dans les inflammateurs qui s'enflamment. Sous l'action des gaz, les goupilles sont éjectées et le parachute s'ouvre.

Il suffit de choisir judicieusement la valeur des composants pour obtenir une minuterie qui se déclenche à culmination.

Si vous n'avez pas tout compris suivez la flèche !!! et suivez l'explication un doigt sur le schéma.



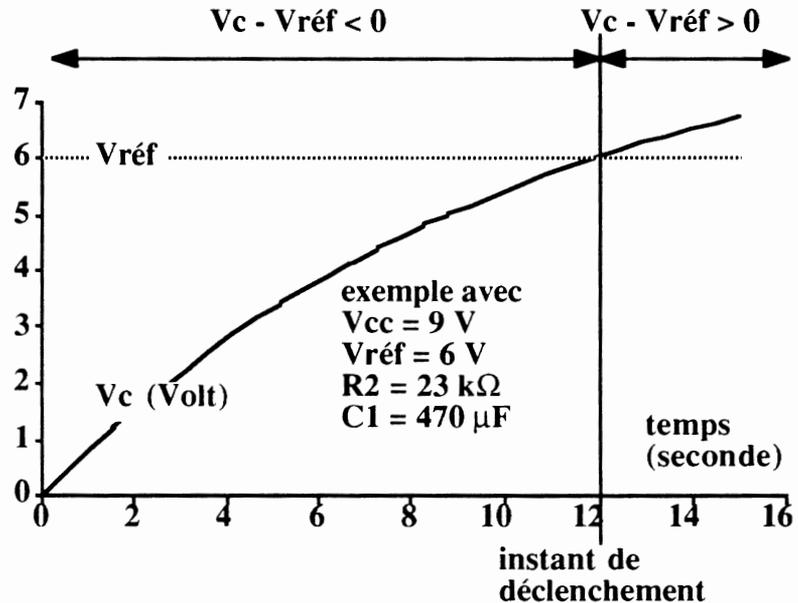
## C - CALCUL DES ELEMENTS

La tension aux bornes de la capacité évolue suivant la formule :

$$V_c = V_{cc} \times (1 - e^{-\frac{t}{(R_2 \times C_1)}}$$

avec

$V_{cc}$  = tension de la pile,  
 $R_2$  = valeur de la résistance  
 $C_1$  = valeur de la capacité  
 $e$  = fonction exponentielle,



Le déclenchement se fait quand  $V_c = V_{réf}$ . Dans la pratique on choisit souvent  $V_{réf} = 2/3$  de  $V_{cc}$ . , le temps de déclenchement de la minuterie correspond à :

$$V_c = V_{réf} = \frac{2}{3} V_{cc} = V_{cc} (1 - e^{-\frac{t}{(R C)}}) \text{ d'où } t = R C \ln 3 \approx R C$$

Le temps de déclenchement est donc approximativement égale au produit  $R C$ .

Pour obtenir  $V_{réf} = 2/3 V_{cc}$  il suffit de choisir les résistances  $R_3$  et  $R_4$  dans le même rapport.

Au moment où vous mettrez au point la minuterie vous ne connaîtrez pas avec exactitude le temps de culmination. Il est donc nécessaire de prévoir un réglage autour de la valeur la plus probable. En pratique il est plus facile de disposer d'une résistance variable, appelée potentiomètre, que d'un condensateur variable.

Pour une valeur choisie de  $C$ , on calcul donc deux valeurs de  $R$  ; la plus forte valeur correspond à la durée la plus longue.

Exemple numérique : vous souhaitez réaliser une minuterie variable de 10 à 15 s en utilisant un condensateur de  $470 \mu\text{F}$ .

$$\text{Pour } t = 10 \text{ s} - R = t/C = 21 \text{ k}\Omega.$$

$$\text{Pour } t = 15 \text{ s} - R = t/C = 32 \text{ k}\Omega.$$

On réalisera cette résistance variable en mettant en série une résistance  $R$  fixe de  $22 \text{ k}\Omega$  environ et un potentiomètre  $P$  de  $10 \text{ k}\Omega$ .



## D - ANALOGIE HYDRAULIQUE

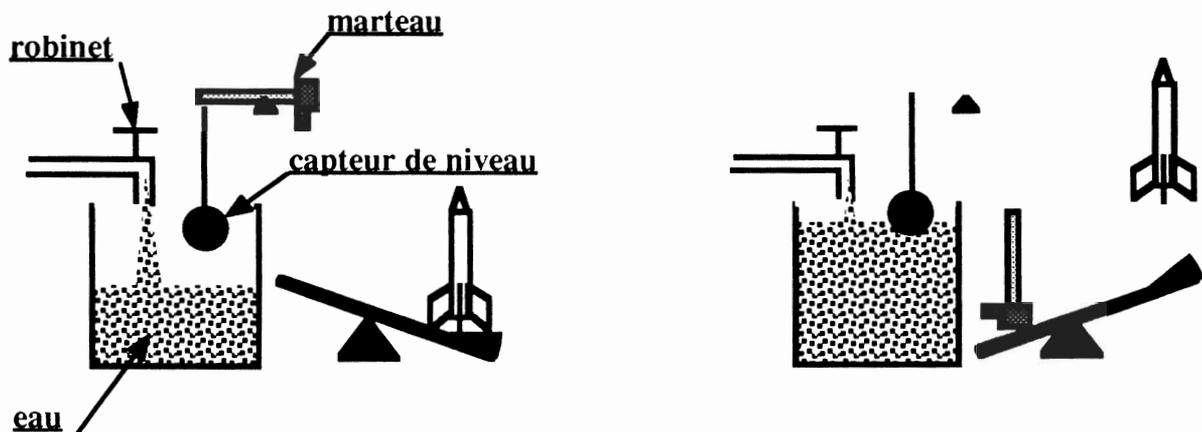
Pour ceux qui ont parcouru la flèche plusieurs fois, nous allons essayé de leur donner une explication imagée.

Le principe de la minuterie est simple : il s'agit de la détection d'un niveau. Imaginez un verre d'eau qui se remplit régulièrement. L'eau monte jusqu'à un capteur qui détecte sa présence et déclenche une action.

Pour régler le temps, le niveau du réservoir étant fixé, il suffit de régler le débit d'eau : plus le débit est faible, plus la temporisation sera longue. Inversement, plus le débit sera fort, plus la temporisation sera faible.

Le condensateur C1 peut s'apparenter à un réservoir (d'électrons), la résistance R2 au robinet de réglage du débit et l'amplificateur au détecteur de niveau.

Voici un exemple de minuterie à eau déclenchant le départ d'une fusée. Ce procédé est rarement employé, sûrement à cause du prix de l'eau.



## E - SYSTEME DE SECURITE

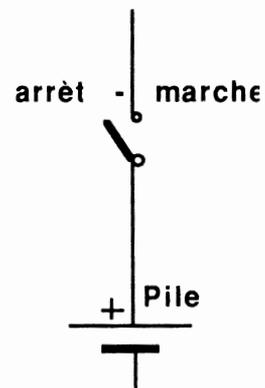
Sur ce schéma de base d'autres fonctionnalités doivent être ajoutées en particulier pour assurer la sécurité du circuit qui ne doit pas se déclencher intempestivement.

### **Remarque importante :**

**Si votre fusée n'est pas équipée de ces éléments de sécurité, vous n'obtiendrez pas l'autorisation de lancement. Les contrôles permettent de vérifier la présence de ces dispositifs.**

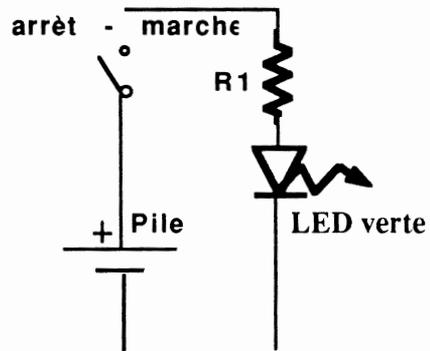
Le schéma complet de la minuterie est donné en fin du chapitre.

Un interrupteur marche-arrêt en série avec la pile.



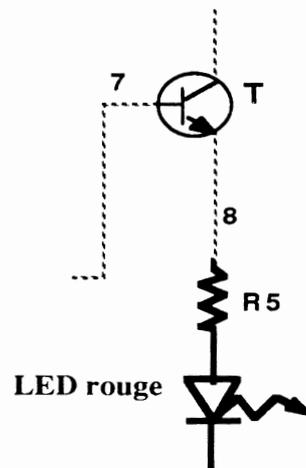
Une LED verte en parallèle sur la pile et l'interrupteur arrêt - marche.

LED est le nom technique pour nommer un type de voyant. Celle-ci permet de vérifier si la minuterie est sous tension et connaître l'état de la pile. Attention ce composant est polarisé c'est à dire qu'il ne faut pas le câbler dans n'importe quel sens. A l'achat la patte la plus courte est du côté de la pointe de la LED.



Une LED rouge à la sortie de la minuterie.

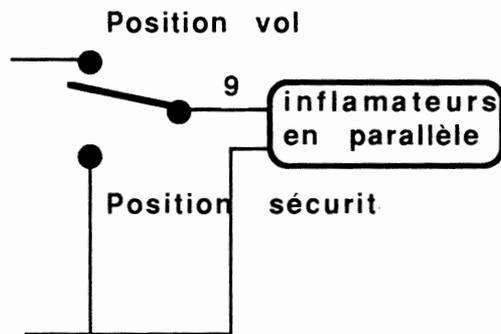
Ce voyant permet de visualiser le fonctionnement sans avoir à utiliser des inflammateurs. Il est très utile pendant les phases de réglage.



Un interrupteur inverseur en série avec les inflammateurs.

Cet interrupteur en position sécurité déconnecte les inflammateurs de la minuterie et les court-circuite. En cas de fonctionnement intempestif de la minuterie, rien ne se passe.

Au dernier moment sur la rampe, il est basculé en position vol et permet à la minuterie de déclencher les inflammateurs.



## **E - NOMENCLATURE DES COMPOSANTS**

### **Résistances :**

$R1 = 720 \Omega$  -  $R2 = 22 \text{ k}\Omega$  -  $R3 = 10 \text{ k}\Omega$  -  $R4 = 22 \text{ k}\Omega$  -  $R5 = 330 \Omega$ . Résistance 1/4 W.

### **Potentiomètre :**

$P1 = 10 \text{ k}\Omega$ .

### **Condensateurs :**

$Cd = 470 \mu\text{F}$  - 16 V environ -  $C1 = 470 - 16 \text{ V } \mu\text{F}$ .

### **Amplificateur :**

ampli op  $\mu\text{A}741$  ou TL081 ou équivalent.

### **Transistor :**

TIP ou transistor NPN équivalent.

### **Diodes :**

D1 diode de redressement 1 A - D2 et D3 2 diodes 1N4148 ou équivalente.

### **Voyants :**

une LED rouge - une LED verte.

### **Interrupteur :**

Interrupteur marche arrêt de petit taille - Un interrupteur inverseur.

### **Pile :**

Une pile 9 V alcaline. Cette pile ne doit pas servir à alimenter d'autres circuits dans la fusée.

La mallette contient ces composants sauf la pile, vous permettant de réaliser une maquette de minuterie immédiatement. Si dans vos expérimentations vous détruisez un des composants, ce n'est pas une catastrophe. il vous sera facile de le remplacer dans une boutique spécialisée. Les composants choisis sont d'usage courant et bon marché ( quelques francs pour les plus chers).

## **F - REALISATION PRATIQUE**

### **F1.Le circuit**

Un montage électronique ne marchant jamais du premier coup, il est nécessaire de faire une maquette pour le mettre au point. On appelle maquette un montage d'essai qui permet d'optimiser la conception du circuit avant de réaliser la version définitive.

Les petits malins et il n'est pas interdit d'être malin, qui auraient pompé un autre schéma dans une revue d'électronique auront également besoin d'une maquette, car il faut en général attendre que des lecteurs furieux ayant testé le montage, écrivent à la revue pour que celle-ci annonce dans un numéro ultérieur les raisons pour lesquelles le montage proposé ne pouvait marcher du premier coup.

Si vous n'avez que peu d'expérience en électronique nous vous proposons de procéder par étapes. Vous réaliserez d'abord une maquette puis quand elle fonctionnera vous aurez acquis le savoir faire nécessaire pour réaliserez le circuit définitif.

**pour la maquette vous avez plusieurs solutions :**

- soit utiliser des plaques de montage type LABDECK ou équivalent qui transforme l'électronique en un jeu de construction. L'avantage vient de la facilité du câblage il n'est pas nécessaire de souder mais ces plaques sont relativement chères. Vos enseignants pourront peut être vous en prêter une car les travaux pratiques d'électroniques sont souvent dispensés avec.

- soit utiliser des plaques à trous type VEROBOARD ou équivalentes. Il s'agit de plaque de circuit imprimé, percée de trous espacés de 2,54 mm, reliés par des pistes en cuivre. En coupant avec un cutter les pistes et en soudant les composants dessus à travers les trous on peut réaliser facilement ses propres circuits.

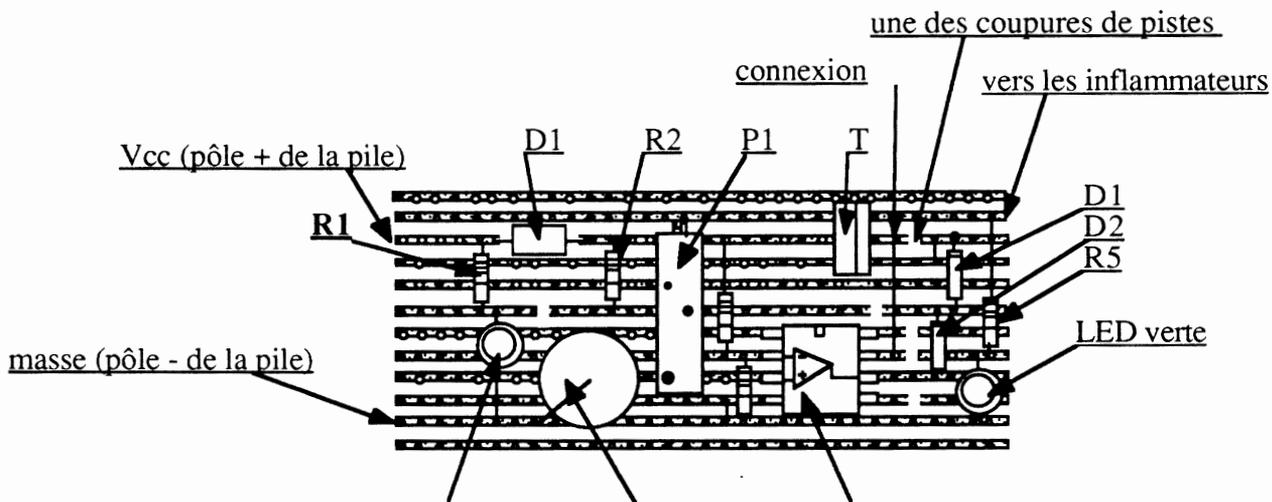
La mallette contient une de ces plaques que l'on trouve pour quelques francs dans les boutiques spécialisées.

**et pour le modèle de vol :**

- soit utiliser une nouvelle plaque à trous, dont la taille est adaptée à la cellule de votre fusée,

- soit réaliser un circuit imprimé par gravure. De nombreux ouvrages de vulgarisation décrivent la manière de réaliser ce tels circuits et nous vous invitons à vous y reporter, ou bien allez questionner des amis qui savent les faire.

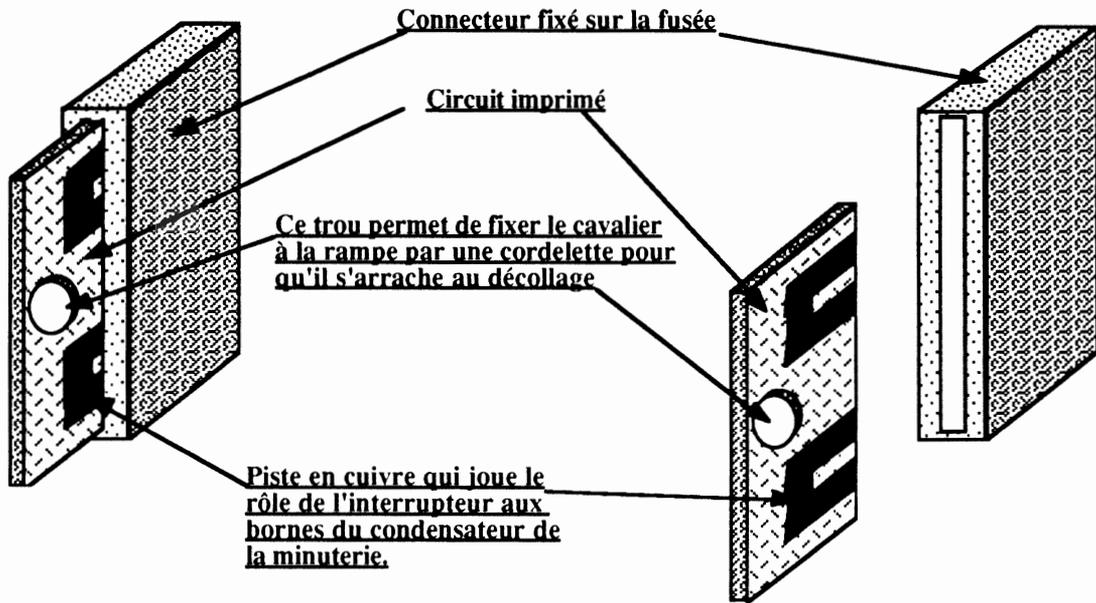
Le dessin suivant est un exemple de câblage de la minuterie sur une plaque à trous.



**F2. L'initialisateur**

Pour initialiser la minuterie, il nous faut prévoir un contact qui s'ouvrira lorsque la fusée partira. Le plus simple est de monter sur la fusée une sorte d'interrupteur dont une partie est accrochée à la rampe de lancement par une cordelette. Au décollage, la cordelette se tend et arrache le connecteur rompant ainsi le court-circuit qui empêchait le condensateur de se charger. Cela pourra être un connecteur encartable dont les contacts seront court-circuités par un morceau de circuit imprimé cuivré sur les deux faces ou bien un connecteur jack de 3,5 mm, du même modèle que ceux montés sur les casques des balladeurs. Les contacts devront être doublés pour plus de sécurité (jack stéréo).

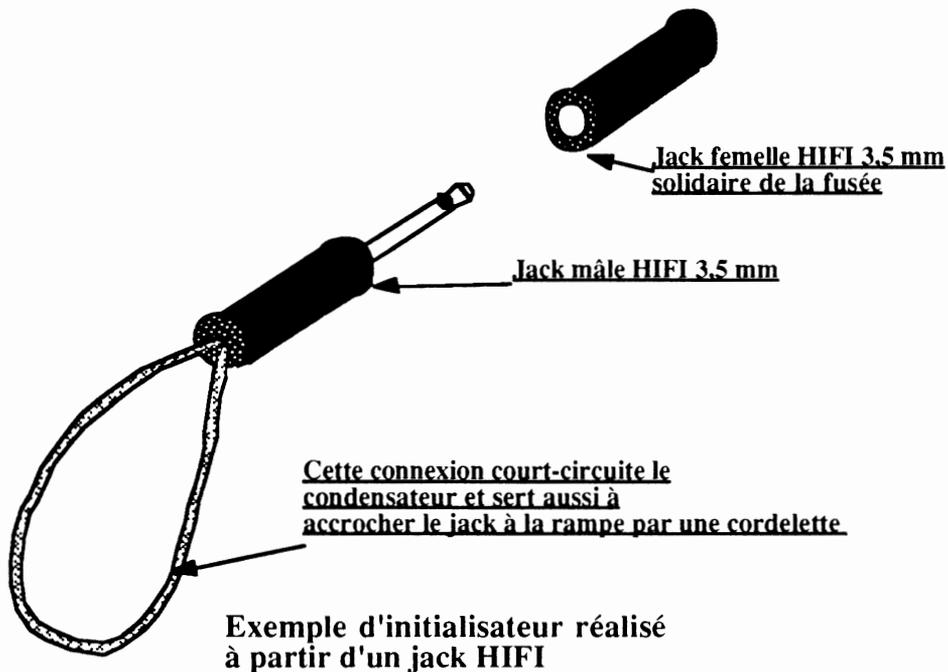
Les éléments fixés sur la fusée devront être solidement arrimés à l'intégration et inclinés à 45° vers le bas afin de faciliter l'arrachement du contact. Une fenêtre dans la peau de la fusée laisse le passage de la partie qui s'arrache. Dans le chapitre intégration le connecteur dessiné est d'un autre modèle, preuve qu'il existe de nombreuses variantes pour réaliser un initialiseur.



Avant le décollage

Juste au moment du décollage

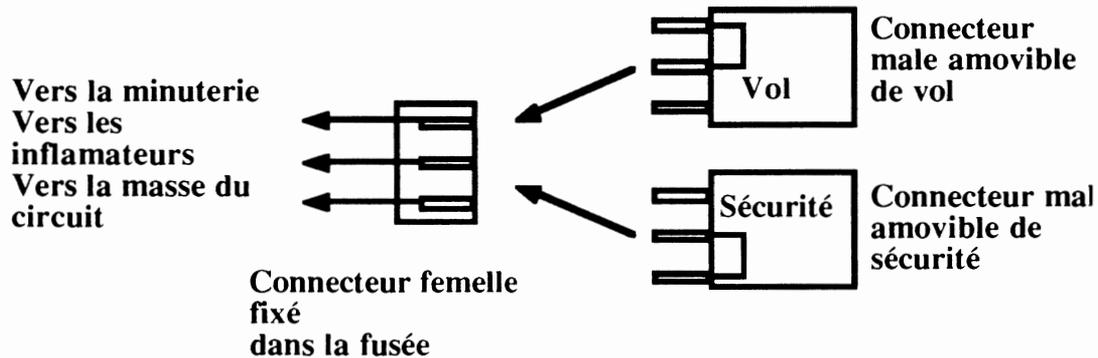
### Exemple d'initialisateur réalisé à partir d'un connecteur de circuit imprimé



### F3.L'interrupteur de sécurité

On peut utiliser un interrupteur inverseur mais il est aussi possible d'utiliser la technique du bouchon. Un bouchon est une connexion que l'on vient réaliser en enfilant un connecteur spécialisé dans une prise.

La fusée est équipée d'un connecteur femelle sur lequel sont ramenés les fils de la minuterie, des inflammateurs et la masse. Deux connecteurs mâles que l'on peut échanger permet de connecter les inflammateurs soit à la masse soit à la minuterie.



### G - MISE AU POINT ET DEPANNAGE

Ca y est ? Vous y êtes ? Vous êtes sûr de vous ?... On peut mettre sous tension ? ...

Zut !... Ca ne marche pas. Jamais on n'y arrivera... c'est la LED rouge qui s'allume et la LED verte est éteinte. D'ici que la fusée parte à l'envers !... Avant d'insulter celui qui a inventé le montage, essayons de voir ce qui se passe. Vous avez peut-être fait une erreur.

Surtout ne câblez par entièrement la minuterie pour l'essayer. Câblez par étape et faites des essais régulièrement. Entre chaque étape il vaut mieux démonter la pile.

1° câblez l'interrupteur marche - arrêt R1 et la LED verte. Un essai avec la pile et la LED doit s'allumer. Si ce n'est pas le cas vous avez probablement monté la LED à l'envers. Ce composant dont le symbole est une flèche possède un sens de câblage. La pile aussi peut être montée à l'envers ou bien usée.

2° câblez D1, R3 et R4. Avec un voltmètre vous mesurerez 8,4 V environ au point n°2 du schéma d'ensemble. Si ce n'est pas le cas vous avez probablement monté la diode à l'envers. Le repère sur le boîtier correspond à la pointe de la flèche sur le schéma. Ensuite vous devez obtenir 6 V environ au point n°4.

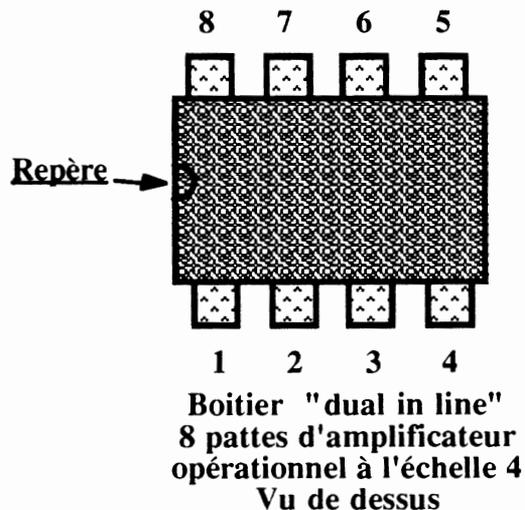
3° câblez R2, P1, C1 et l'initialisateur qui sur la plaque d'essai peut être un simple fils. Le condensateur doit être monté dans le bon sens, le fils - du boîtier à la masse. Placez votre voltmètre entre le point n°3 et la masse. Court-circuitez C1 grâce à l'initialisateur. La valeur lue est proche de 0 V. Enlevez l'initialisateur, la tension doit monter progressivement au delà de 6 V.

4° câblez l'amplificateur.

Voici le brochage de l'amplificateur opérationnel  $\mu A$  741 ou TL 081 ou équivalent

le numéro de la patte I numéro du point sur I schéma d'ensemble

1	NC	I
2	entrée -	I n°4
3	entrée +	I n°3
4	masse	I
5	NC	I
6	sortie	I n°5
7	Vcc	I
8	NC	I



NC = non connecté

Mettez sous tension attendez plus de 20 s et vérifiez que sur les pattes vous avez bien les signaux suivants :

patte n°1 = indifférent / n°2 = 6 V / n°3 = 8,4 V / n°4 = 0 V / n°5 = indifférent / n°6 = 8 V / n°7 = 9 V  
n°8 = indifférent.

Placez le voltmètre au point n° 5 du circuit qui correspond à la patte n° 6 du circuit. Connectez l'initialisateur, la tension doit retomber vers 0 V. Déconnectez l'initialisateur. Au bout d'une dizaine de seconde la tension bascule à 8 V environ. Si vous obtenez le phénomène inverse, c'est que vous avez échangé le rôle des pattes n°2 et n°3. Si vous obtenez toujours zéro vous avez oublié de connecter la patte n°7 au +Vcc. Si vous obtenez toujours 9 V vous avez oublié de relier la patte n°4 à la masse. Si malgré cela la minuterie ne veut pas compter on peut envisager que vous ayez détruit l'amplificateur. Toutes nos condoléances, ce composant est pourtant relativement solide. Filez chez un revendeur pour le remplacer. Cet élément coûte moins de 10 francs.

5° câblez le transistor, R5 et la LED rouge. Renouvelez les manipulations avec l'initialisateur ; la LED doit s'allumée.

La méthode de montage et de dépannage proposée est absolue. Nous avons probablement oublié dans les exemples des cas de panne, justement, entre autres, celui sur lequel vous buttez en ce moment ! Mais nous vous garantissons qu'en utilisant une méthode de dépannage systématique vos chances de succès sont totales. Une méthode de dépannage systématique consiste à passer en revue chaque fonction d'un montage dans l'ordre logique de leur dépendance. Ainsi vous paraîtra logique de tester les piles en premier, les interrupteurs "marche arrêt" ensuite, et ainsi de suite.

## H-TESTS FINAUX

Maintenant que votre circuit de vol est fabriqué et intégré dans la fusée, il faut s'assurer définitivement qu'il marche correctement. C'est la seule méthode qui garantisse une haute probabilité de fonctionnement de votre minuterie pendant les manipulations au sol et en vol. Cette procédure sera appliquée une dernière fois sur la fusée complète équipée des inflammateurs la veille du tir.

On réglera le potentiomètre de façon à avoir une temporisation de 11 secondes entre l'arrachage de l'initialisateur et l'allumage de la LED rouge.

\*Mettons l'interrupteur (ou le bouchon) de sécurité en position sécurité.

\*Mettons l'initialisateur.

\*Mettons la minuterie sous tension et attendons 22 s (2 fois la durée de la temporisation). La LED verte s'allume, la rouge reste éteinte.

\*Otons l'initialisateur et attendons de nouveau 22 s. La LED rouge s'allume mais les inflammateurs ne fonctionnent pas

\*Remettons l'initialisateur.

\*Mettons l'interrupteur (ou le bouchon) de sécurité en position vol.

\*Mettons la minuterie sous tension.

\*Attendons une nouvelle fois 22 s. La LED rouge et les inflammateurs ne s'allument pas

\*Arrachons l'initialisateur.

La LED rouge s'allume au bout de 11 secondes, ainsi que les inflammateurs.

NOTA : Le bouchon de sécurité sera repéré par un ruban rouge fixé dessus afin de bien le différencier du bouchon de vol. La présence d'un ruban rouge bien apparent évitera d'oublier de remplacer le bouchon de sécurité par le bouchon de vol. (eh oui, cela est déjà arrivé !! Et dans ce cas, la séparation a rarement lieu avant l'impact au sol !).

Si vous vous promenez un jour sur un aérodrome vous constaterez que sur les avions à l'arrêt des accessoires de protection sont posés sur les éléments fragiles comme les entrées d'air, les capteurs, etc. De grands rubans rouges identifient ces accessoires pour être sûr qu'aucun ne reste sur l'avion au décollage.

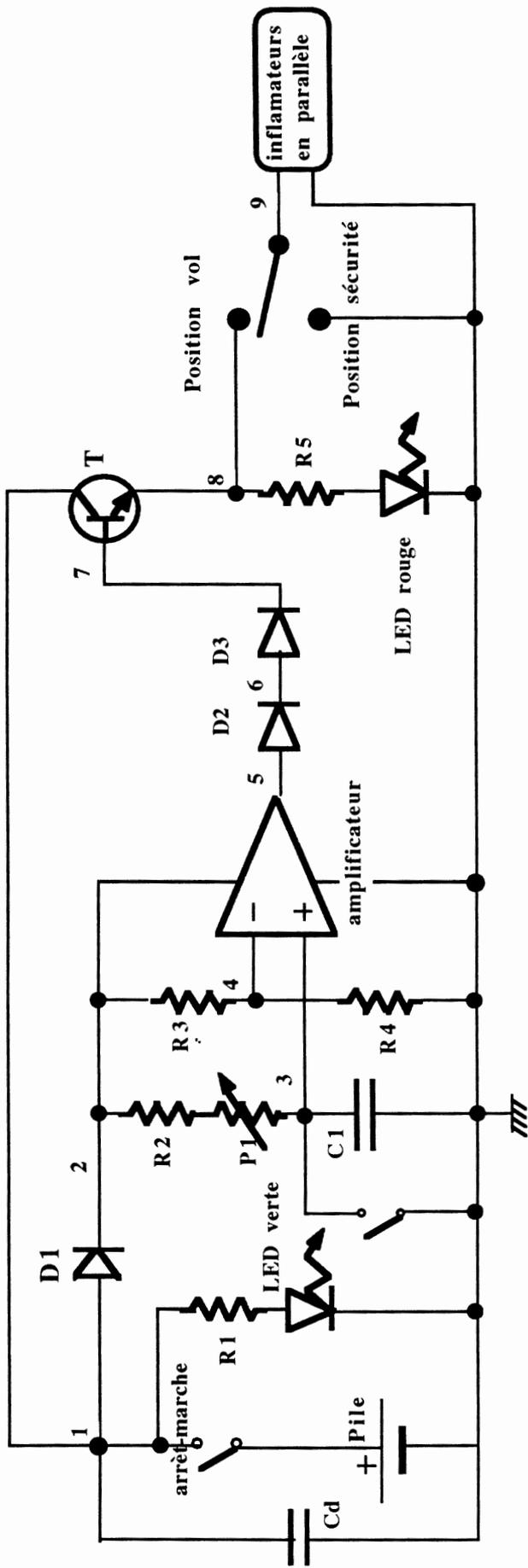
## **I- DOCUMENTATION**

Vous éprouverez probablement le besoin de redessiner certains plans pour les adapter à votre projet. Cette démarche est indispensable et le mieux est de regrouper vos documents dans un cahier. Une documentation avec les schémas électriques, les plans de montage, la nomenclature des pièces est indispensable pour que la minuterie fonctionne même si aucun électron n'a jamais circulé dans une feuille de papier ! Lorsque vous terminerez le montage vous connaîtrez les plans par coeur et vous n'éprouverez pas le besoin immédiat d'utiliser un support écrit.

### **Tant pis forcez vous.**

Il s'écoulera plusieurs semaines entre la fabrication et l'utilisation pendant lesquelles votre minuterie sera rangée dans un placard et votre esprit ailleurs. Alors une panne la veille du lancement et vous aurez tout oublié. Sans un plan vous serez perdu.

De plus pendant la campagne de lancement, l'ANSTJ invite quelques uns de ses vieux copains artistes en électronique et près à donner un coup de main aux jeunes clubs mais ces personnes ne sont efficaces qu'avec des plans. La documentation est le langage des techniciens.



Voici le schéma complet de la minuterie de la fusée Lambda. A vous de personnaliser ce montage en indiquant les particularités de votre fusée (connexions, couleur des fils de câblage etc)

Le condensateur Cd a pour objet d'améliorer les performances de la pile en stockant une partie de l'énergie nécessaire au déclenchement.

La diode D1 protège la minuterie si par inadvertance vous branchez la pile en sens opposé.

Les amplificateurs disponibles ne basculent jamais complètement à 0 V. Les diodes D2 et D3 en série ont pour rôle d'effacer cette tension résiduelle et de garantir le blocage du transistor.

Les connexions entre fils sont symbolisées par un point : ●

Schéma électrique  
de la minuterie

ANSTJ  
94

fusée lambda

## LA TELEMESURE

Votre fusée est un véhicule qui permet d'explorer une partie de l'Espace. Vous mettez à bord de la fusée les expériences que vous avez inventées et fabriquées avec minutie et 3, 2, 1, zéro ! l'instant décisif arrive. Un problème important se pose : la fusée part sans vous et les informations que l'engin doit recueillir restent hors de votre portée.

Si vous aviez accompagné la fusée, vous seriez monté à bord avec un crayon et du papier et vous auriez surveillé l'évolution des phénomènes que vous vous proposez d'étudier. Vous auriez transcrit vos observations sous forme de courbes ou de chiffres et vous auriez rapporté précieusement le tout à Terre. Eh bien, pour pallier votre absence à bord, il faut concevoir des systèmes, à côté de votre expérience, capables de rendre ces services tout en supportant les contraintes du vol.

Nous constatons intuitivement qu'il y a deux tâches distinctes à remplir : la surveillance de l'expérience et la transmission des informations vers le sol. Elle doivent être capable de vous donner l'impression d'être à bord tout en restant sur Terre, donc d'écrire à votre place, sur du papier au sol, les informations générées dans la fusée. On regroupe sous le terme de télémesure ce procédé : mesure à distance.

Prenons le premier point : surveiller l'expérience. Bien que vous ayez à apprécier des paramètres aussi variés que des températures, des pressions, des vitesses, des couleurs, vous les transcrivez toujours sous la même forme, souvent une donnée écrite. Avant l'écriture, il n'est pas interdit de passer par des formes intermédiaires plus facile à manipuler. Les signaux électriques ont cette qualité et pour en profiter vous allez être amenés à concevoir des appareils capables de lire des grandeurs physiques et de les transformer en grandeurs électriques : les capteurs.

Au milliers de paramètres physiques différents correspond des milliers de capteurs différents, mais ils ont une caractéristique commune : ils fournissent sous forme de signaux électriques les informations lues. Ceci simplifie singulièrement la complexité de la transmission des informations car quel que soit le capteur, vous n'aurez qu'un seul type de message à transmettre : des messages électriques.

Portons nos attentions sur le deuxième point la transmission. Il existe de nombreuses méthodes pour échanger des messages : le courrier en est un, la fusée produit un document et l'éjecte en direction du sol. Impossible ? eh bien sachez qu'une série de satellites américains de surveillance, les "Big Bird", lancés il y a quelques années, étaient équipés de tubes qu'un système automatique éjectait vers la Terre après l'avoir rempli d'une photo. Un avion spécial l'attrapait en vol au dessus de l'Alaska. A l'époque, il avait été jugé que ce procédé était le meilleur moyen de transmettre des informations.

Il existe bien sûr d'autres procédés. La radio par exemple. Vous allez vous orienter vers ce moyen moderne d'autant plus que les signaux électriques



sont bien adaptés à ce type de transmission. De nombreuses méthodes ont été inventées. L'emploi journalier de votre poste de radio nous a familiarisé avec des termes aussi variés que fréquence, canal, AM, FM, mono, stéréo, etc...

Parmi tous les procédés possibles nous nous proposons de vous expliquer l'un deux baptisé savamment : système de transmission par porteuse, modulée en AM par des sous porteuses FM codées au standard IRIG à voies proportionnelles 7.5 %. Pas de panique, ces mots ne sont là que pour faire monter le suspense ! Autrefois il a été beaucoup utilisé sur les fusées sondes du monde entier et les premières Ariane. Aujourd'hui des ballons sondes transmettent une partie de leurs télémesures par un procédé similaire.

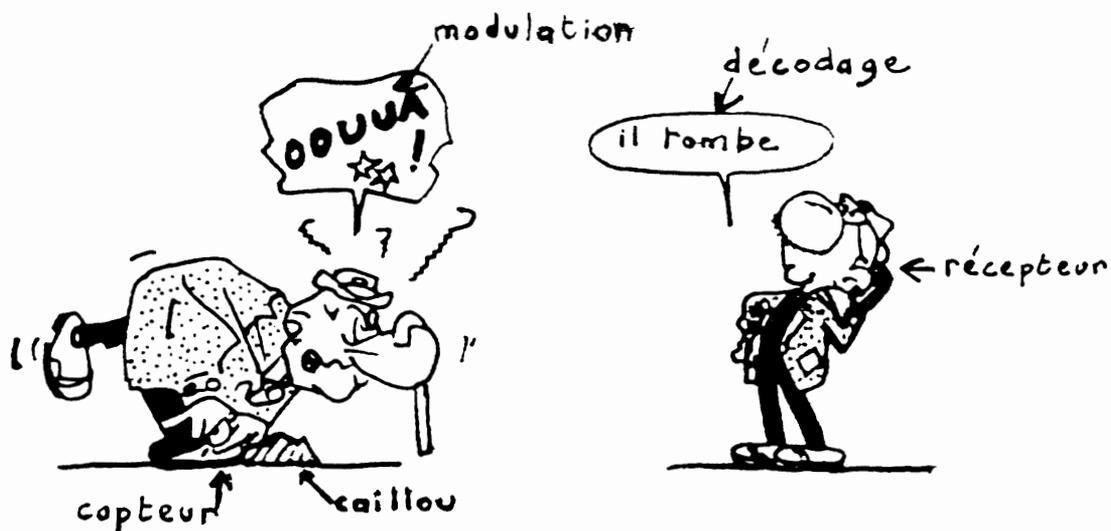
Son intérêt pour nous réside dans sa simplicité.

Le physicien BRANLY avait constaté que des tensions électriques rapidement variables avaient la propriété de produire des ondes pouvant se propager dans l'Espace. Il suffisait de les produire à l'aide d'une antenne. Ces ondes pouvaient donc servir de support à la transmission d'informations puisqu'un système appelé récepteur permettait de les recevoir à grande distance. Une des premières transmission radio fut faite par ce physicien entre le sommet de la Tour Eiffel et le parvis du Panthéon à Paris en 1890.

Votre problème est similaire à celui de BRANLY , vous placerez dans votre fusée une antenne alimentée par un générateur de tension électrique rapidement variable que l'on appelle communément un émetteur. Au sol vous utiliserez un récepteur de radio. Vous venez de franchir une étape importante en jetant un pont immatériel capable de véhiculer de l'information entre la fusée et vous à l'aide d'une porteuse radioélectrique.

L'information correspond au flux de renseignements que vous souhaitez extraire de votre expérience. Ouvrez un poste de radio à l'heure d'un bulletin et passez à l'écoute successive de stations : française, anglaise, allemande. Si un événement d'importance mondiale occupe l'actualité, il est fort probable qu'elles transmettront la même information, mais dans des langues variées. Les spécialistes disent que l'information a été codée de manières différentes mais c'est la même information. C'est notre cerveau qui, à l'écoute des messages, interprète les mots et les considère comme des informations. Les techniciens appellent cette opération le décodage.

Si vous ne connaissez pas la langue, c'est-à-dire si vous ne connaissez pas le code, vous restez ignorant des informations. Le canal de transmission, ici la radio, se contente de passer des messages codés auxquels vous attribuez une valeur d'information. IRIG est le nom du procédé de codage qui vous est proposé.

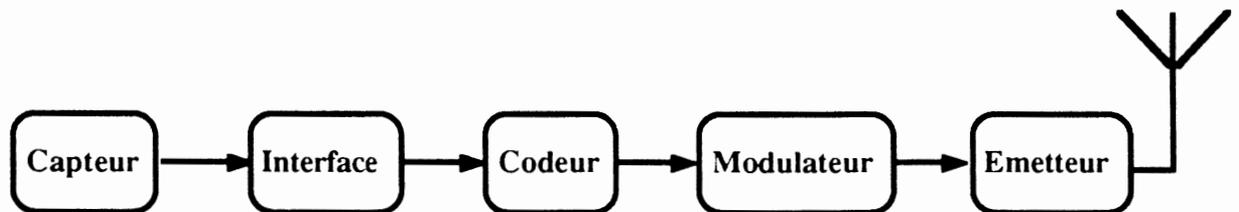


## **A - LA CHAÎNE DE TELEMESURE**

La chaîne de télémesure regroupe l'ensemble des éléments qui prélèvent l'information, la traitent, la transmettent, la restituent.

### **A.1 Principe**

Elle peut se décomposer en plusieurs blocs fonctionnels. Nous vous présentons d'abord les blocs placés à bord de la fusée.



### **A.2 Le capteur**

Son rôle est de traduire en grandeur électrique, une tension, la grandeur physique. Les capteurs doivent être petits et légers, dans une fusée où la place et le poids sont limités.

Ils doivent être solides car ils sont soumis aux contraintes du vol. Si vous lâchez de 50 centimètres de haut sur du béton un thermomètre et qu'il ne casse pas il est bon pour être embarqué !

Ils doivent être précis. Quel intérêt de réaliser une expérience si les capteurs qui la surveillent transmettent des informations erronées ?

Ils ne doivent pas être influencés par des paramètres autres que ceux qu'ils mesurent. Quel crédit peut-on apporter à un compteur de vitesse dont les indications dépendent de la température du lieu où se fait la mesure ?

Ils doivent être étalonné. C'est à dire que la relation qui relie le paramètre physique au signal électrique doit être connue.

Toutes ces qualités extrêmes font que les capteurs sont souvent des objets minutieux à réaliser.

### **A.3 L'interface d'adaptation**

Le signal sortant du capteur a des caractéristiques qui peuvent varier d'un capteur à l'autre. Le rôle de l'interface adaptateur est de mettre ces signaux sous une forme standard.

### **A.4 Le codeur**

En sortie de l'étage adaptateur amplificateur, nous disposons d'une tension qui varie en fonction du phénomène physique observé.

Nous sommes incapables de transmettre cette information directement au sol car entre autre elle varie trop lentement. Vos débuts dans le monde des sciences et des techniques, va t'il butter contre cet obstacle ? Non, car justement le rôle du codeur est de transformer cette lente variation de tension en une grandeur que l'on sait transmettre au sol.

Pour coder vos signaux, vous associez à chaque capteur un signal de fréquence différente et vous ferez varier légèrement cette fréquence, en fonction des indications fournies par chaque capteur.

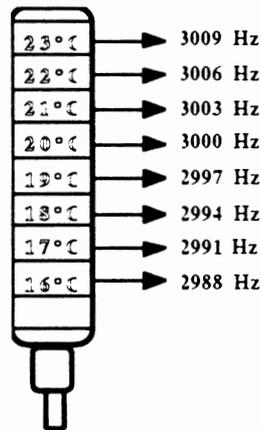
En langage de musicien nous expliquerions qu'un son est attribué à chaque capteur et que le son est légèrement modifié en fonction des signaux du capteur.

Prenons comme exemple de capteur un thermomètre, vous lui associez un générateur de signal dont la fréquence peut varier aux alentours de 3000 Hz. Quand la température monte de 1 °C vous décidez de décaler la fréquence de 3 Hz. Vous réalisez de la modulation de fréquence et vous avez codé l'information de la manière suivante :

3000 Hz correspondent à 20 °C  
 3003 Hz correspondent à 21 °C  
 3006 Hz correspondent à 22 °C  
 " " "  
 3090 Hz correspondent à 50 °C

et symétriquement

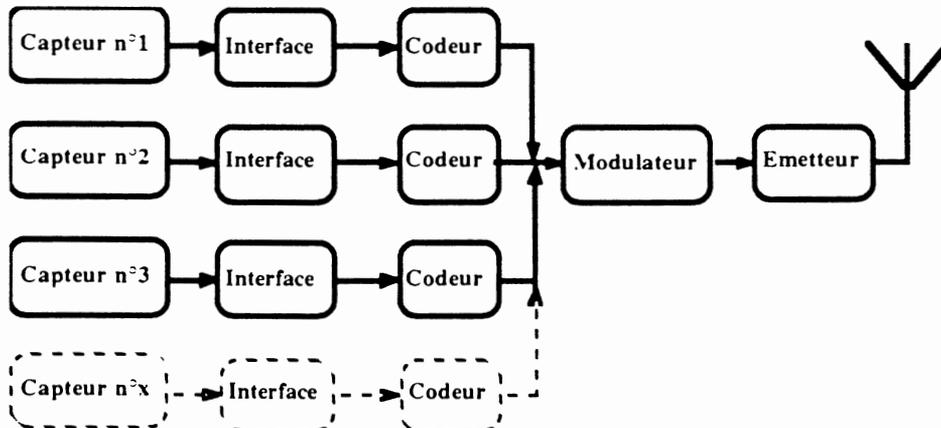
2997 Hz correspondent à 19 °C  
 2994 Hz correspondent à 18 °C  
 " " "  
 2970 Hz correspondent à 10 °C



L'intérêt est évident : une liaison radio est capable de transmettre au sol des sons. Si vous avez des doutes ouvrez votre radio pendant la retransmission d'un concert. Le principe s'applique à tous les types de capteurs. Après transmission la reconnaissance de la fréquence du son permet de remonter à la valeur du paramètre.

Si ultérieurement vous avez deux capteurs vous associez à chacun d'eux un générateur de signaux avec des fréquences différentes ou deux sons différents que vous mélangez. L'émetteur transmettra alors un seul signal certes plus compliqué. Un musicien dirait que vous fabriquez un accord de deux notes. Or, de la même manière qu'un musicien est capable en écoutant un accord plaqué de retrouver les notes originales, il existe les appareils au sol appelés discriminateurs capables de séparer les différentes fréquences d'un signal composite.

Vous avez réussi avec un seul émetteur à faire passer les informations issues de deux capteurs. Ce système est généralisable à plus de deux capteurs.



Comme il ne faut pas que les différentes fréquences attribuées à chaque capteur se brouillent mutuellement, il faut respecter certaines règles. Des techniciens y ont réfléchi et ont proposé des tableaux de fréquences, entre autre le standard IRIG adopté dans le monde entier.

Voici le standard de fréquence que l'ANSTJ vous conseille d'utiliser car elle dispose du matériel de décodage adapté et le met à votre disposition sur l'aire de lancement. Ce matériel est utilisé par les clubs aérospatiaux à tour de rôle.

Numéro de la voie	Fréquence minimale	Fréquence centrale	Fréquence maximale	Bande passante
3	675	730	785	11
4	888	960	1032	14
5	1202	1300	1398	20
6	1572	1700	1828	25
7	2127	2300	2473	35
8	2775	3000	3225	45
9	3607	3900	4193	59
10	4995	5400	5805	81
11	6799	7350	7901	110
12	9712	10500	11588	160
13	20350	22000	23650	330

Vous trouvez dans :

- la première colonne, le numéro de la voie attribué arbitrairement pour la reconnaître
- les deuxième, troisième et quatrième colonnes respectivement, la fréquence minimum, centrale et maximum de chaque voie que doivent respecter les générateurs de signaux associés à chaque capteur. Vous pouvez vérifier que pour obtenir la deuxième colonne il suffit de retrancher 7.5 % de la fréquence centrale et pour obtenir la quatrième colonne il faut ajouter 7.5 % . Ceci explique l'origine du nom de ce standard Voie IRIG à excursion de fréquence proportionnelle  $\pm 7.5\%$  . Si vous dépassez cette valeur, l'information sera perdue.
- la cinquième colonne indique la bande passante de chaque voie. La bande passante permet d'évaluer la quantité d'informations que chaque voie est capable de transmettre. Par exemple la voie n° 8 transmet des signaux qui peuvent varier jusqu'à 45 fois par seconde. Vous choisirez la voie émise par votre fusée en fonction de la mesure embarquée. Une mesure de température qui varie lentement pendant le vol nécessite une voie à faible bande passante. Une mesure d'accélération demande une bande passante plus grande. Si vous souhaitez mesurer le décollage d'une fusée qui sort de la rampe en 1/10 de seconde il faut utiliser une voie capable de transmettre au moins 10 informations par seconde. Dans la pratique on majore d'un facteur 3 ou 4 .

A titre indicatif voici un tableau qui vous aidera à choisir la voie la mieux adaptée :

Mesure de température : voie 3 à 6	Mesure de rotation : voie 5 à 7
Mesure de phase de vol : voie 3 à 8	Mesure de vitesse : voie 7 à 10
Mesure de d'accélération : voie 8 à 12	Mesure de d'altitude : voie 3 à 5

### A.5 Le modulateur

Le modulateur a pour rôle de rendre compatible le signal sortant du codeur avec le signal entrant dans l'émetteur.

## A.6 L'émetteur

Son rôle est de produire une onde électromagnétique capable de se propager en espace libre. Pour pouvoir être rayonné par une antenne de taille modeste, et sans mettre en jeu des puissances élevées, les ondes émises doivent être de fréquence élevée. Il est théoriquement possible de transmettre directement une onde de 3000 Hz par exemple la voie n°8 mais l'antenne devrait avoir une longueur de plusieurs kilomètres. Ce procédé est utilisé pour communiquer avec les sous-marins.

Pour que les émetteurs ne se gênent pas mutuellement, un organisme international, le CCITT basé à Genève, attribue des gammes de fréquence très précises aux différents utilisateurs. Nous n'échappons pas à ces règles. Le CNES nous autorise à utiliser pour les télémesures de nos fusées expérimentales une gamme de fréquence qui lui a été attribuée par cet organisme, la gamme 136 à 137 MHz ou millions de Hertz.

Nous avons choisi la fréquence 136.5 MHz qui se trouve au milieu de cette bande autorisée. C'est la raison pour laquelle vous pouvez lire  $F = 136.5$  MHz sur l'étiquette qui est collée sur l'émetteur.

Pour cette fréquence d'émission, une longueur d'antenne d'environ 52 cm sera nécessaire.

Cette onde est porteuse d'informations que si elle est modulée par le signal du codeur. En effet en dehors de son existence propre, une onde pure n'est pas porteuse d'information. Si vous allumez la lumière chez vous, cela indique uniquement votre présence. Par contre, si à l'aide d'un variateur vous changez l'intensité de l'éclairage suivant un code préétabli, une personne à l'extérieur de connivence avec vous pourra l'interpréter comme un message. Techniquement vous faite de l'Amplitude Modulée, ou AM.

Le principe s'applique à la modulation radio. Moduler l'émetteur en AM consiste à faire varier l'amplitude de l'onde produite par l'émetteur au rythme du signal.

À la réception, il suffira de mesurer l'amplitude de l'onde reçue pour retrouver le signal. Cette fonction est assurée par un récepteur fonctionnant en mode AM. Ce sigle est d'ailleurs lisible sur les postes de radio de la vie courante à côté du sigle FM<sup>1</sup>.

## A.7 La station de réception au sol

Maintenant que votre signal a été émis vers le sol, l'ANSTJ va en assurer la restitution grâce à sa station télémesure sous une forme que vous pourrez exploiter.

Bien que vous n'avez pas à la faire, vous êtes probablement intéressé par son fonctionnement. D'ailleurs pendant le vol vous la manipulez pour exploiter en direct le vol.

Elle se compose de plusieurs éléments :

---

<sup>1</sup> Pour moduler en FM de la lumière, il suffit par exemple de maintenir constante l'intensité lumineuse d'une source blanche et de sélectionner des couleurs grâce à un jeu de filtres. Chaque couleur correspond à une fréquence différente de la lumière ; en changeant la couleur, vous modulez en fréquence.



- l'antenne qui reçoit le très faible signal émis par la fusée. A la sortie de l'antenne, nous avons un signal semblable à celui produit par l'émetteur .

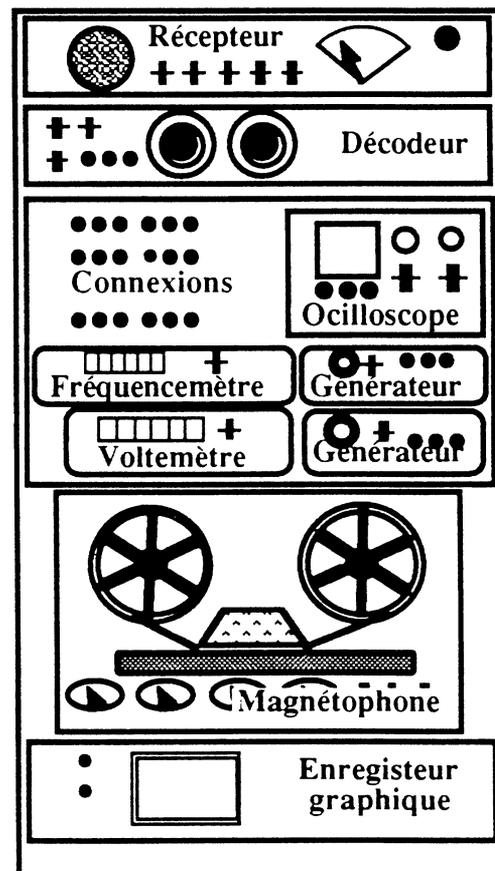
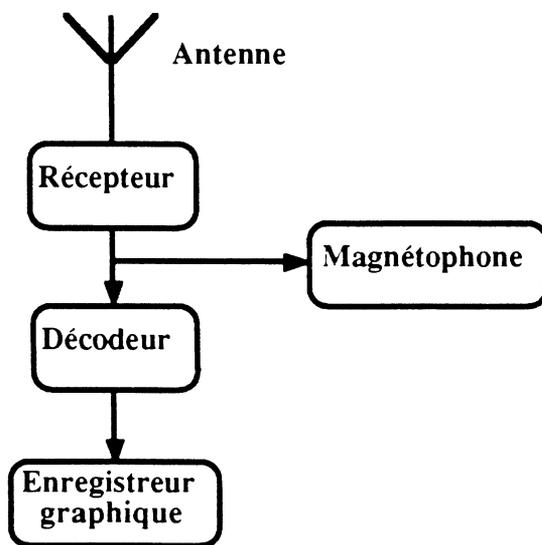
- le récepteur qui va amplifier le très faible signal reçu de l'antenne et le démoduler. Le signal en sortie du récepteur est identique à celui qui entre dans l'émetteur produit par le modulateur.

- Le magnétophone permet d'archiver les informations issues de la fusée. Le magnétophone enregistre la sortie du récepteur, un signal composite formé des fréquences des différentes voies. Après le vol, on repassera la bande autant de fois que nécessaire pour décoder l'une après l'autre chacune des voies.

- Un discriminateur qui va transformer la variation de fréquence (ou variation de note) en variation de tension. A la sortie du discriminateur, nous avons un signal semblable à celui à la sortie du capteur ou de son interface.

- Un enregistreur graphique qui va tracer une courbe sur une feuille de papier directement exploitable. Cette courbe est semblable à la variation de la grandeur physique détectée par le capteur aux erreurs cumulées de la chaîne de télémesure près. Nous allons nous attacher à les réduire.

Le schéma de gauche indique les relations entre les appareils tandis que celui de droite montre comment ils sont disposés dans l'armoire électrique à la disposition de tous les clubs.



## **B - CONSEIL**

Comme nous vous l'avons expliqué le système IRIG permet de transmettre simultanément plusieurs paramètres. Nous vous conseillons pour votre première fusée d'embarquer une seule mesure. Les plans électroniques qui vous sont proposés vont dans ce sens. Pour vos débuts optez pour la simplicité. Ceux d'entre vous qui construiront leur deuxième fusée, et qui voudraient réaliser plusieurs mesures sauront modifier les plans en conséquences grâce à l'expérience acquise sur la première.

## **C - REALISATION PRATIQUE DE LA CHAINE DE TELEMEASURE**

### **C.1 Le capteur**

Nous allons vous décrire à titre d'exemple la réalisation d'un accéléromètre, et ensuite nous vous donnerons des informations sur d'autres types de capteurs. Inspirez vous de ces exemples pour construire votre projet. Il est aussi possible d'acquérir un capteur du commerce. Il va de soi que le choix du capteur dépend d'abord de l'expérience envisagée lors de l'établissement du projet.

Physiquement l'accélération est une mesure de la variation de la vitesse en fonction du temps. Si la vitesse est constante, l'accélération est nulle. Si l'engin va de plus en plus vite, il accélère ; s'il ralentit, il décélère.

Les relations entre ces paramètres sont :

$$V = a * t + V_0 \quad \text{et} \quad X = V * t + X_0 \quad \text{avec}$$

a : l'accélération en mètre par seconde au carré.

t : le temps en seconde.

X : la position en mètres.

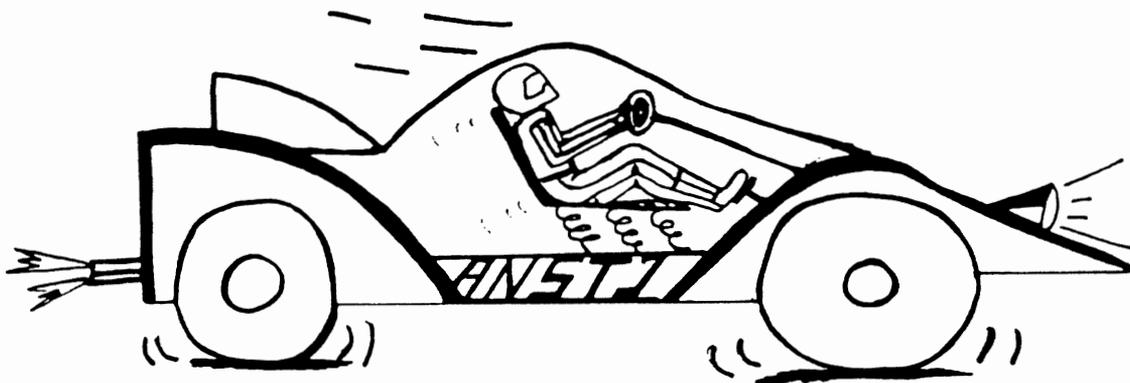
X<sub>0</sub>: la position initiale en mètres.

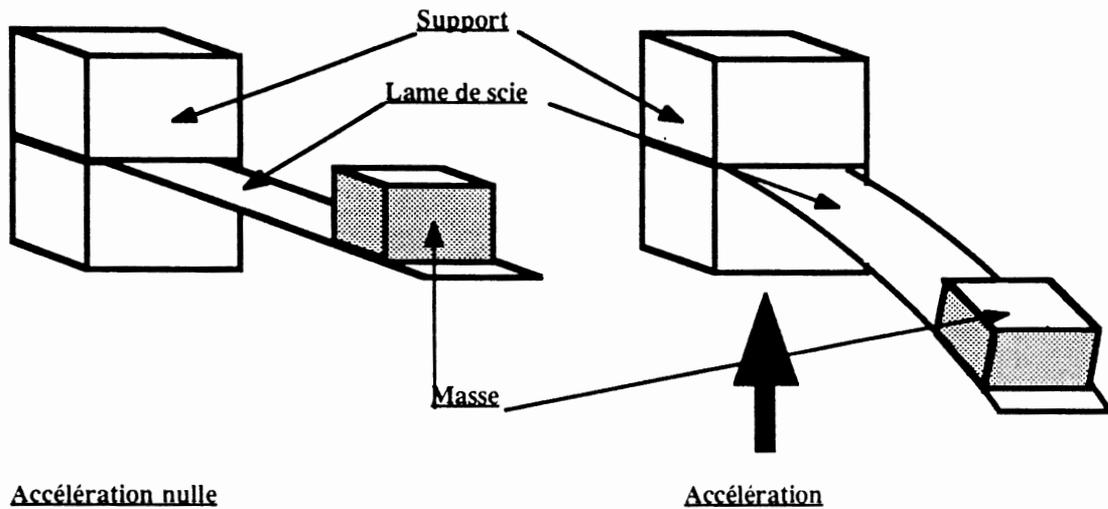
V : la vitesse en mètres par seconde.

V<sub>0</sub>: la vitesse initiale en mètre par seconde.

Une fusée qui décolle avec une accélération de 100 mètres par seconde au carré aura parcouru 200 mètres au bout de 2 secondes de vol. Cet exemple montre l'intérêt de connaître l'accélération pour reconstituer la trajectoire.

Dans une voiture, l'accélération se manifeste pour le passager par une sensation d'écrasement. Le corps joue le rôle d'une masse qui plie un ressort : le siège. Mesurer les déformations du ressort permet d'accéder à l'accélération. Remplacez le passager par une masse et utilisez un vrai ressort, vous obtenez un capteur efficace. Une manière pratique de réaliser ceci est de fixer un bloc d'acier de la taille d'un dé sur l'extrémité d'une lame de scie à métaux.

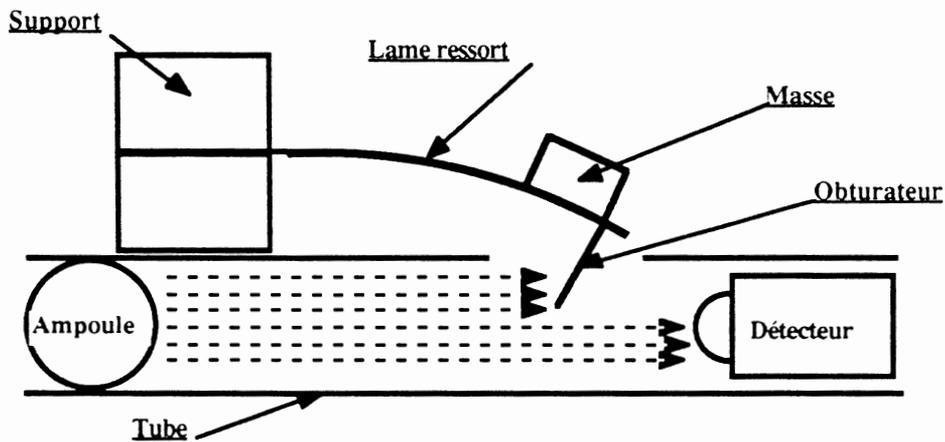




Sous accélération la masse va plier le segment de lame de scie. Celle ci fabriquée en acier possède la souplesse convenable et l'on règle le mouvement en ajustant la longueur de la lame et la masse.

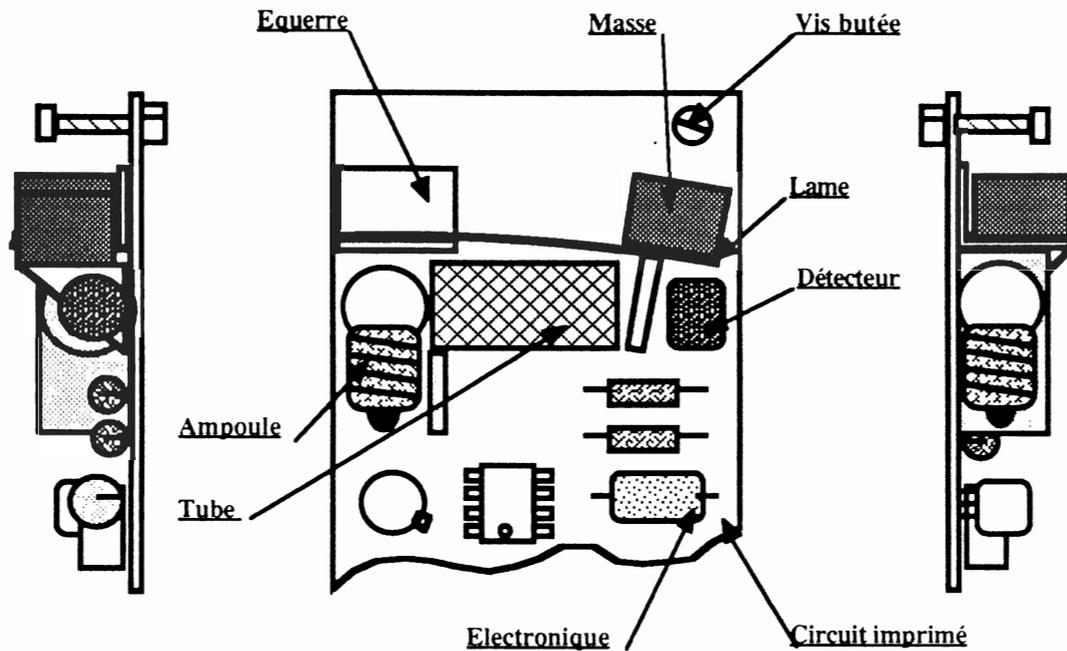
Reste à traduire cette déformation mécanique en signal électrique. Il n'est pas interdit de passer par une grandeur intermédiaire comme la lumière. Un pinceau lumineux est facilement modulable à l'aide d'un obturateur et il existe des détecteurs capable d'en mesurer l'intensité et de la transcrire en grandeur électrique.

On obtient le schéma de principe suivant :



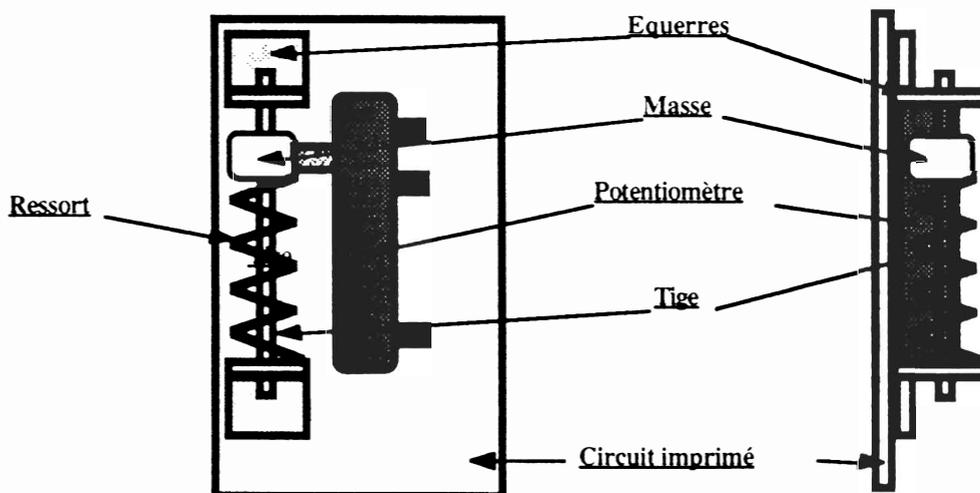
Sous l'action de l'accélération qui alourdit la masse, la lame de ressort plie. L'obturateur obstrue plus ou moins un tube dans lequel se propage un faisceau lumineux issue d'une ampoule. Le détecteur transcrit en signal électrique la variation lumineuse. Astucieux ! n'est ce pas.

Voici un exemple de réalisation pratique de ce type d'accéléromètre : au centre la vue de face et sur les cotés les vues de profils.



Le détecteur peut être soit une photorésistance, une photodiode ou un phototransistor. Vous trouverez ces composants chez un revendeur grand public. Dans le montage que nous avons essayé, nous avons utilisé une ampoule de lampe de poche masquée par un plastique translucide pour obtenir une source lumineuse homogène. Le capteur est monté au fond d'un tube pour être protégé des lumières parasites. L'ensemble a une longueur de 55 mm et une épaisseur de 15 mm et peut être implanté directement sur le circuit imprimé. L'obturateur est taillé en biseau pour augmenter la sensibilité.

Voici une autre méthode pour réaliser un accéléromètre. Vous utilisez un ressort à boudin pour supporter la masse. Celle-ci percée d'un trou coulisse sur une tige qui guide le ressort. Le déplacement de la masse est mesuré à l'aide d'un potentiomètre linéaire que l'on peut acheter ou récupérer sur du vieux matériel audio : chaînes HIFI, autoradio etc.



Le potentiomètre est une résistance électrique variable capable d'influencer une tension. Nous avons obtenu l'information électrique tant convoitée.

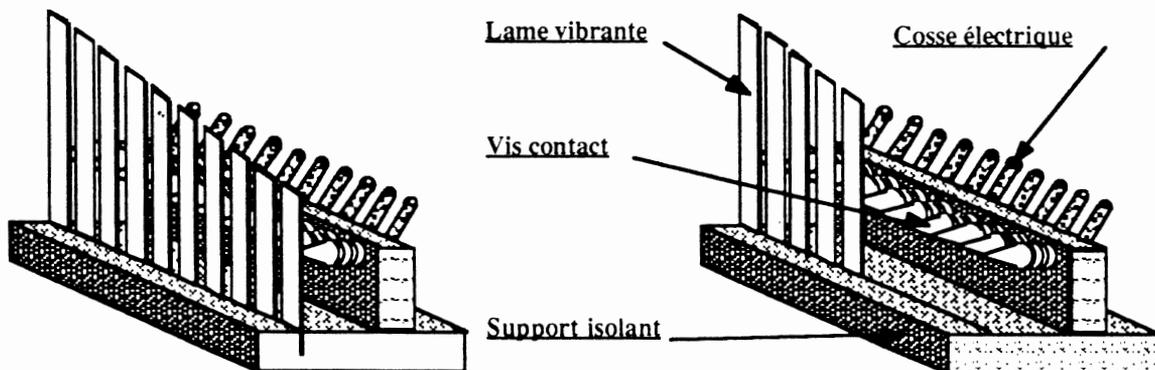
Attention : le frottement de la masse sur la tige diminue la précision comparé au premier modèle. Pour les deux modèles la fabrication doit être soignée. Vous constaterez que la masse passe son temps à osciller autour de sa position d'équilibre. Cela n'est pas très grave car la station de réception dispose au sol d'un équipement qui supprime ce parasite. La vibration mécanique existe toujours mais sa transcription électronique est effacée grâce à un filtre. Souvent dans les accéléromètres professionnels la masse baigne dans de l'huile dont la viscosité diminue les oscillations.

## C.2 Autres exemples de capteurs

Capteur de température : Tous les composants électroniques sont sensibles à la température et ce défaut peut être mis à profit. Les diodes ont un courant de fuite, quand elles sont polarisées en inverse, qui croit de façon exponentielle avec la température.

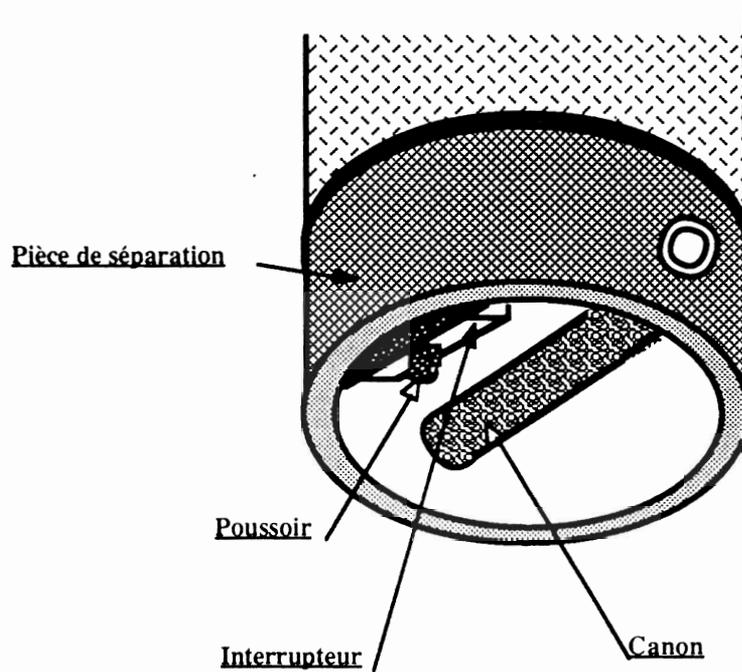
La difficulté réside dans l'établissement d'un bon contact thermique entre le capteur et la pièce dont on souhaite connaître la température, sinon on mesure la température du capteur et non celle de la pièce. De plus les inerties thermiques sont souvent importantes et il faut attendre plusieurs secondes l'équilibre thermique. Les mesures de températures sont donc très lentes. Néanmoins avec un peu d'astuce on peut relever la température des couches d'air traversées par la fusée. La mesure se fait pendant la descente sous parachute car les variations sont plus lentes.

Capteur de vibration : Un petit microphone collé sur la pièce à étudier est très efficace ou autre solution une ou plusieurs lamelles souples dont on constate la résonance à l'aide d'un contact électrique. Les lamelles ont le défaut d'être sélectives en fréquence à moins que cela ne soit le but recherché ! La fréquence de résonance des lames s'accorde en jouant sur leur longueur, leur masse etc. Au repos le contact électrique entre une lame et sa vis est rompu, par contre quand une lame vibre elle vient heurter la vis et établit un contact.



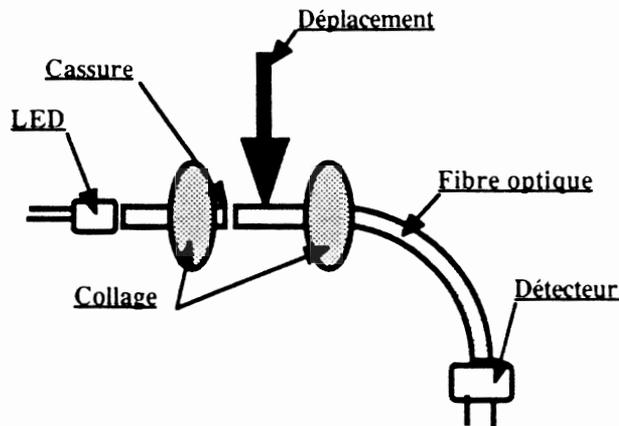
Capteur de phases de vol : Au cours de son vol la fusée vit de nombreux événements, décollage, fin de propulsion, déclenchement de la minuterie, ouverture de la case parachute, ouverture du parachute... Connaître en direct ces événements permet de surveiller le vol et en cas d'anomalies d'en comprendre la cause. Les capteurs de phases de vol sont souvent très simples : une liaison entre la minuterie et la télémesure permet de surveiller le déclenchement des initialisateurs, un interrupteur placé au niveau de la case parachute commute quand la fusée se sépare, un bouton pression cousu dans la sangle du parachute sert de contact électrique et se rompt quand le parachute s'ouvre. A vous d'en trouver d'autres.

Le dessin ci-dcontre montre comment un interrupteur peut être placé sur la pièce de séparation pour détecter l'ouverture de la case parachute.



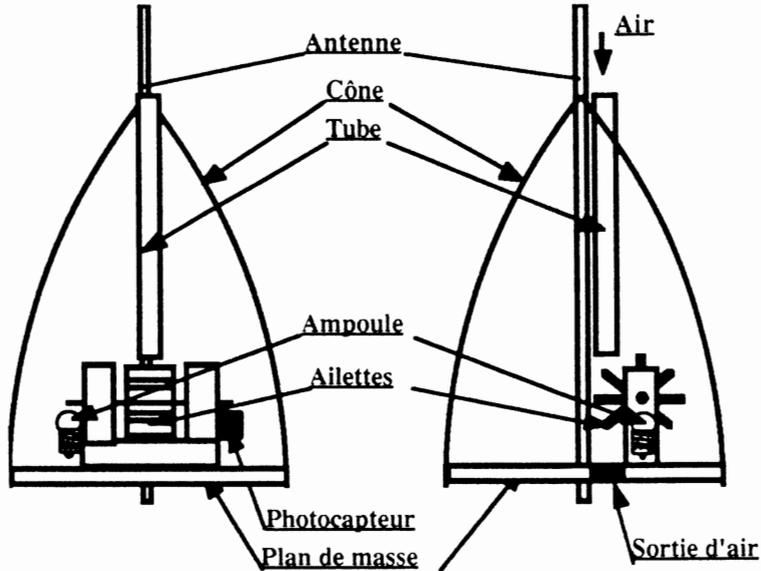
Capteur de déplacement : Beaucoup de paramètres physiques provoquent des déplacements de pièces. Mesurer le déplacement permet d'accéder à la grandeur physique, un accéléromètre est basé sur ce principe. Voici une autre méthode pour mesurer des petits déplacements.

Il s'agit de guider la lumière issue d'une source lumineuse comme une ampoule ou une LED par exemple vers un détecteur à l'aide d'une fibre optique plastique. La quantité de lumière reçue par le détecteur peut être modulée en déformant la fibre. Dans le schéma ci-dessous la fibre est volontairement cassée et en jouant avec sa souplesse on peut modifier le vis à vis des deux faces de la cassure. On couple ainsi une quantité de lumière variable que le photocapteur transforme en variations électriques. L'intérêt du procédé est sa grande sensibilité et sa compacité, la souplesse de la fibre et le guidage de la lumière supprime les problèmes d'alignement optique. On peut se faire offrir quelques centimètres d'échantillon de fibre optique plastique mais on trouve aussi autour de soi des tiges en plastique suffisamment transparentes et souples pour cette application.

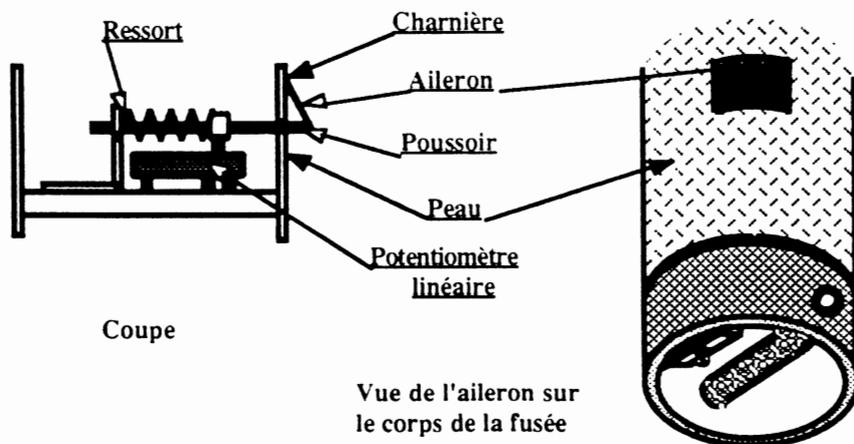


Capteur de position angulaire : Vous pourriez avoir besoin de connaître l'angle de rotation d'un moteur, l'angle d'ouverture d'une porte de parachute, le numéro de la prise de vue d'un appareil photo ... mesure très facile. Il suffit de monter sur l'axe qui tourne un potentiomètre du même type que celui qui vous permet de régler le volume de votre baladeur. La variation de la résistance du potentiomètre est exploitable pour modifier une tension.

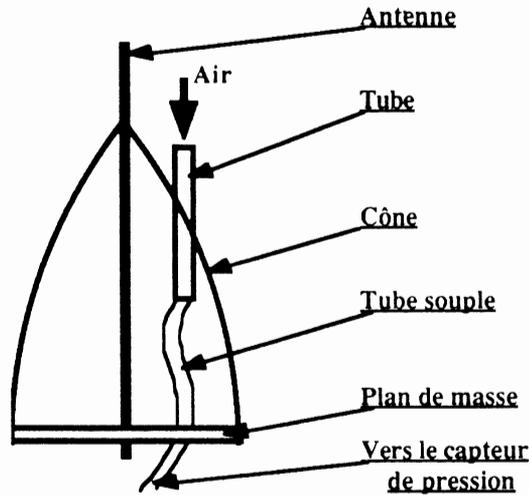
Capteur de vitesse : Première méthode, un tube prélève de l'air devant la fusée. L'air sert à faire tourner une petite roue à ailette. La roue découpe un faisceau lumineux capté par une photorésistance. La fréquence des impulsions de tension sera reliée à la vitesse.



Deuxième méthode : Un minuscule aileron dépasse de la peau de la fusée. Son pivotement sous l'action de l'air peut être mesurée à l'aide d'un pinceau lumineux ou d'un potentiomètre. Si vous n'avez pas bien compris le principe, sortez (prudemment) une main par la vitre d'une voiture roulant à vive allure.



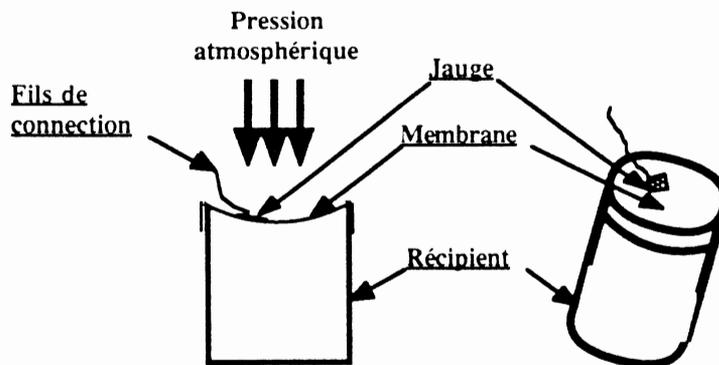
Troisième méthode : Un tube prélève de l'air devant la fusée. Sous l'action de la vitesse la pression dans le tube varie. La mesure de cette pression permet de connaître la vitesse. Ce type de capteur appelé tube de Pitot ou Badin est le capteur de vitesse le plus répandu sur les avions.



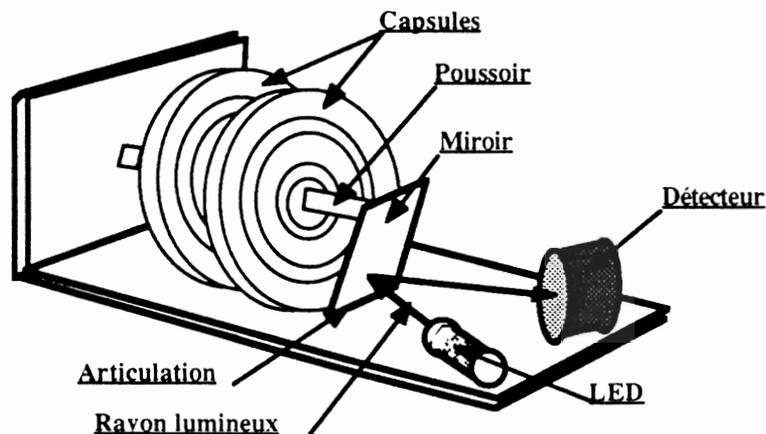
Capteur d'altitude : L'altitude est connue par une mesure de la pression atmosphérique. Des tables donnent la relation entre cette pression et l'altitude.

Première méthode : vous achetez un capteur de pression ou mieux vous vous en faites offrir un. Le prix est modéré et il est possible de s'en procurer chez les revendeurs de composants électroniques.

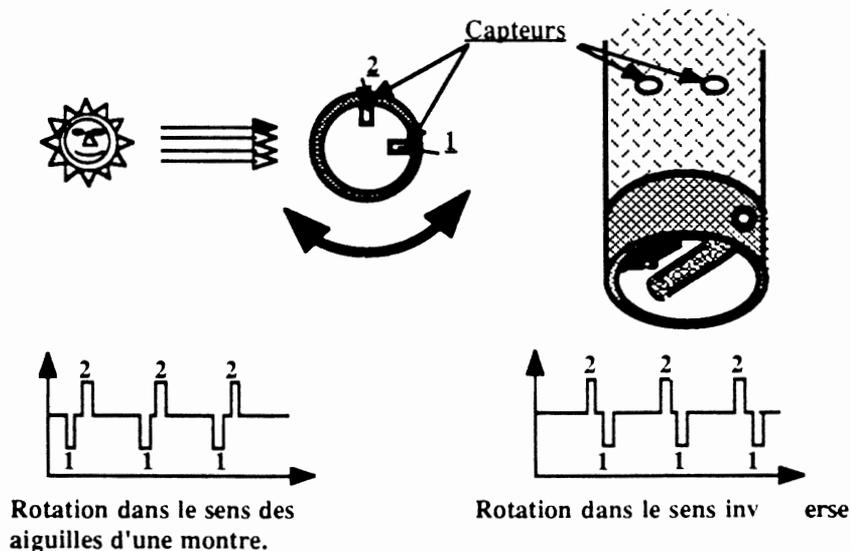
Deuxième méthode : vous réalisez un récipient hermétique dont une des faces est une membrane souple. Par exemple un verre en plastique dur, fermé par un morceau de chambre à air comme un pot de confiture à l'ancienne. La variation de pression à l'extérieur déforme la membrane. Une jauge de contrainte collée sur la membrane permet de transcrire électriquement la déformation. Une jauge est un composant électronique équivalent à une résistance dont la valeur varie quand on la déforme mécaniquement. L'objet se présente sous la forme d'un film de quelques mm<sup>2</sup> que l'on colle sur la surface à surveiller. Il existe de nombreux modèles de jauges, faites vous conseiller pour choisir la mieux adaptée.



Troisième méthode : vous démontez un vieux baromètre pour en récupérer les capsules. Il s'agit de boîtes hermétiques qui se déforment sous la pression atmosphérique. Un ensemble de leviers et de pivots permet d'obtenir un déplacement que l'on transcrit électriquement par les méthodes décrites précédemment. Rendre les leviers insensibles à l'accélération est délicat. Le dessin ci-dessous montre une solution optique moins sensible à ces perturbations. Le déplacement du miroir sous l'action des capsules dévie plus ou moins le faisceau lumineux vers le photocapteur. La réalisation d'un capteur par cette méthode est un travail de bijoutier.



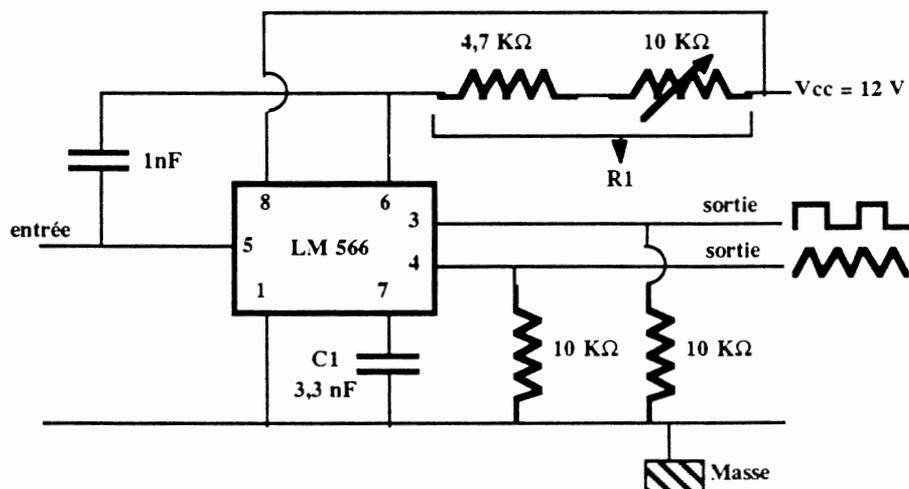
Capteur de rotation : Une fusée possède toujours de petits défauts de calage des ailerons et de symétrie qui provoquent une rotation sur elle même, atteignant parfois plusieurs tours par seconde. Quelque fois cette rotation est souhaitée car elle stabilise la fusée sur sa trajectoire. Pour la mesurer il faut disposer d'un repère fixe indépendant de la fusée, le soleil peut jouer ce rôle. Un photocapteur placé sur le pourtour de la fusée détecte la présence du soleil à chaque tour. Il suffit de compter les impulsions produites par le capteur pour connaître la rotation. Un système à deux capteurs placés disymétriquement sur le pourtour permet de découvrir le sens de rotation. Le dessin suivant explique ce procédé. Le capteur n° 1 produit des impulsions négatives, le n° 2 des impulsions positives permettant ainsi de les reconnaître. Reste que votre expérience doit être lancée un jour de beau temps et de préférence à une heure où le soleil est bas sur l'horizon.



### C.3 Le codeur

Le codeur est un oscillateur capable de produire un signal dont la fréquence est modifiée par la tension issue du capteur. Ecrivez ceci en Anglais : Voltage Control Oscillator, reprenez en le sigle vous obtenez un V.C.O., composant électronique que l'on trouve tout fait dans le commerce.

Parmi tous les V.C.O. disponibles, nous vous proposons d'utiliser le LM 566, dont les caractéristiques sont bien adaptées. Il s'agit d'un composant électronique disponible dans la mallette. Il n'est pas nécessaire de comprendre les détails de sa constitution interne pour l'utiliser avec efficacité. Par contre il faut bien appréhender son fonctionnement global. Le schéma suivant décrit son câblage ; les chiffres correspondent à la numérotation des pattes.

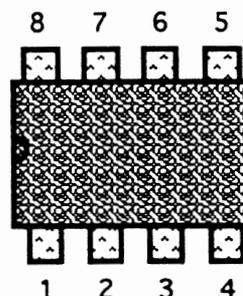


Le LM 566 contient un oscillateur dont la fréquence dépend de la valeur de la résistance  $R_1$  et du condensateur  $C_1$ . Il génère un signal triangulaire ou carré. La fréquence du signal est commandée par la tension de la patte d'entrée. Le condensateur de 1 nF et les deux résistances de 10 kΩ jouent un rôle secondaire mais sont néanmoins indispensables. Les informations ci-dessous sont extraites de la documentation du fabricant :

- Tension d'alimentation  $V_{cc}$  : 10 à 24 V, puissance consommée : 300 mW
- Fréquence maximum : 1 MHz
- Consommation maximum : 20 mA
- Amplitude du signal carré : 5 à 5,4 V avec une alimentation en 12 V
- Amplitude du signal triangulaire 2 à 2,4 V avec une alimentation en 12 V
- Sensibilité de l'entrée de modulation pour  $F_o = 10$  KHz : 6600 Hz/V
- Quand la tension entre la patte 5 et  $V_{cc}$  double la fréquence double
- La tension sur l'entrée de modulation (patte 5) doit être comprise entre  $3/4 V_{cc}$  et  $V_{cc}$ .
- La résistance  $R_1$  de réglage de la fréquence doit être comprise entre 2 KΩ et 20 KΩ.

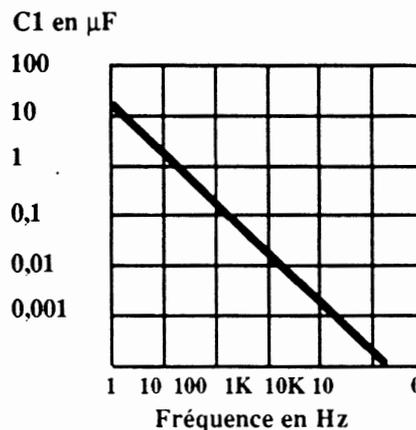
Brochage :

- Patte 1 :  $V_{cc}$  - ou la masse.
- Patte 2 : N.C.
- Patte 3 : Sortie carré.
- Patte 4 : Sortie triangle.
- Patte 5 : Entrée de modulation.
- Patte 6 : Résistance
- Patte 7 : Condensateur
- Patte 8 :  $V_{cc} +$



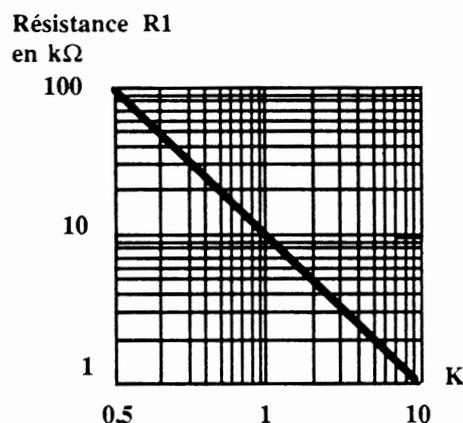
Calcul des éléments R1 et C1 :

- Un abaque fourni par le fabricant permet de choisir la valeur de C1. L'abaque est tracé pour  $V_{cc} = 12\text{ V}$ , une tension d'entrée (patte 5) au alentour de 10,5 V et une résistance R1 de 10 K $\Omega$ .



Pour une valeur différente de R1, la fréquence sera multipliée par un coefficient K donné par le deuxième abaque.

Exemple :  
Pour  $F = 3000\text{ Hz}$ ,  $C1 = 3.3\text{ nF}$  et si  $K = 1$  alors  $R1 = 10\text{ K}\Omega$ .



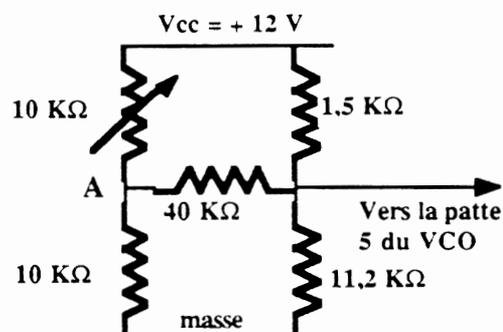
#### C.4 L'interface d'adaptation entre le capteur et le codeur

Les signaux produits par les capteurs sont variés or à la sortie du codeur la fréquence de la voie IRIG choisie ne doit pas dériver de  $\pm 7.5\%$  d'où la nécessité d'une électronique d'adaptation. A partir des informations du fabricant calculons la sensibilité du LM 566. Sa tension de commande est la différence de potentiel entre  $V_s$  (patte 5) et  $V_{cc}$ . Si  $V_{cc} = 12\text{ V}$  et  $V_s = 10.5\text{ V}$  (voir les conditions de fonctionnement)  $V_{cc} - V_s = 12\text{ V} - 10.5\text{ V} = 1.5\text{ V} = V_c$ . Comme la fréquence F du LM 566 est proportionnelle à sa tension de commande  $V_c$  une variation de F de  $\pm 7.5\%$  demande une variation de  $V_c$  de  $\pm 7.5\% = 1.5\text{ V} * 7.5\% = \pm 0.112\text{ V}$ .

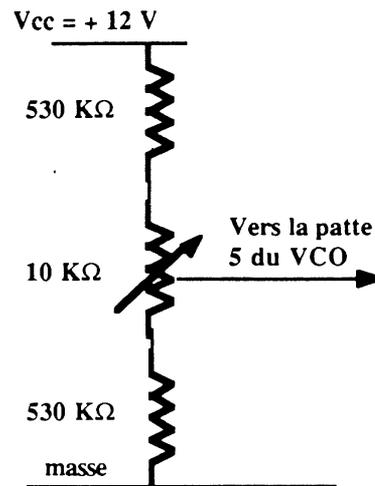
Si le capteur produit un signal électrique plus faible il faut l'amplifier, s'il est plus fort il faut l'atténuer. C'est le rôle de l'interface de faire cette adaptation.

Voici un exemple avec atténuateur dans le cas ou le capteur est une résistance variable de 10 K $\Omega$ , potentiomètre, photorésistance, ou phototransistor.

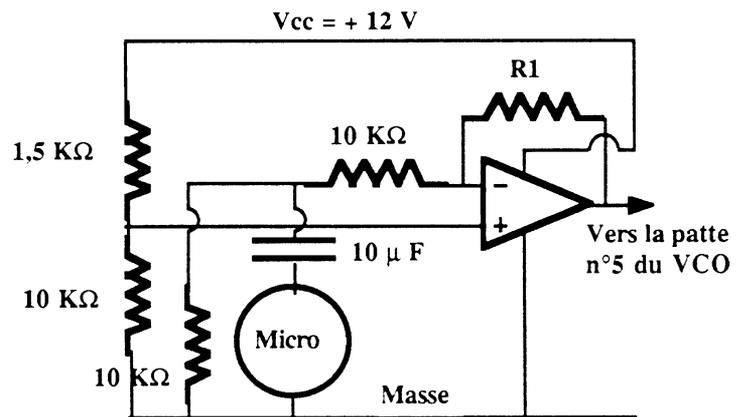
Le pont diviseur 11.2 K $\Omega$  et 1.5 K $\Omega$  fabrique la tension  $V_s$  de 10.5 V. Quand la résistance du capteur varie de 0 à 10 K $\Omega$  la tension au point A varie de 6 à 12 V (6 V). La résistance de liaison de 40 K $\Omega$  effectue la division pour ramener cette variation à  $\pm 0.112\text{ V}$  environ.



Autre exemple d'interface pour un potentiomètre à point milieu. Les valeurs correspondent à un potentiomètre de 10 kΩ ; pour d'autres valeurs il suffit de faire une règle de trois.



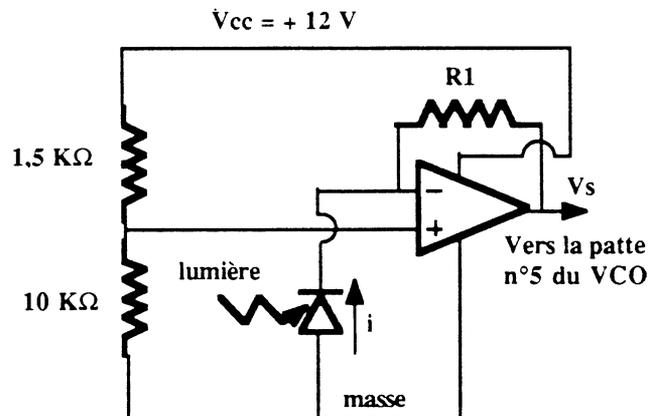
Un microphone à électret produit des signaux très faibles. Voici un montage utilisant le même amplificateur opérationnel que celui utilisé dans la minuterie. La valeur de la résistance R1 est à déterminer expérimentalement en fonction du microphone.



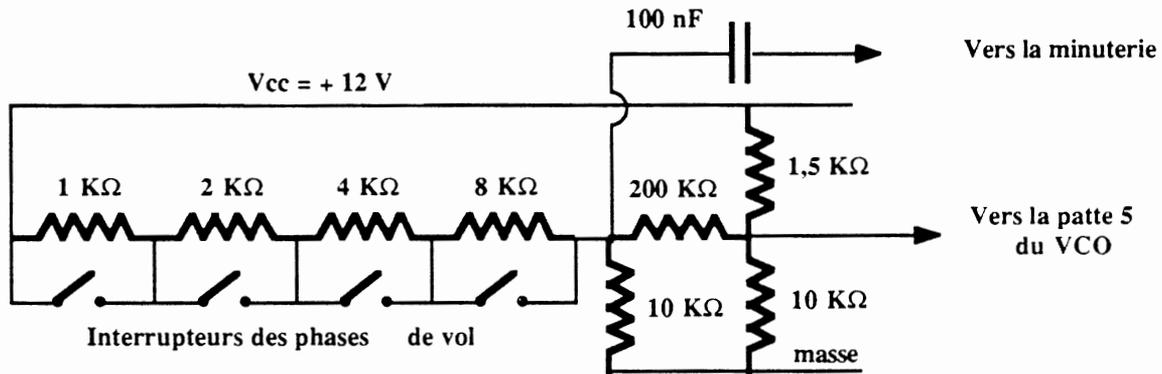
L'interface suivant amplifie le signal issu d'un phototransistor ou d'une photodiode (il ne fonctionne pas avec une photorésistance ).

$$V_s = 10.5 \text{ V} + i * R1$$

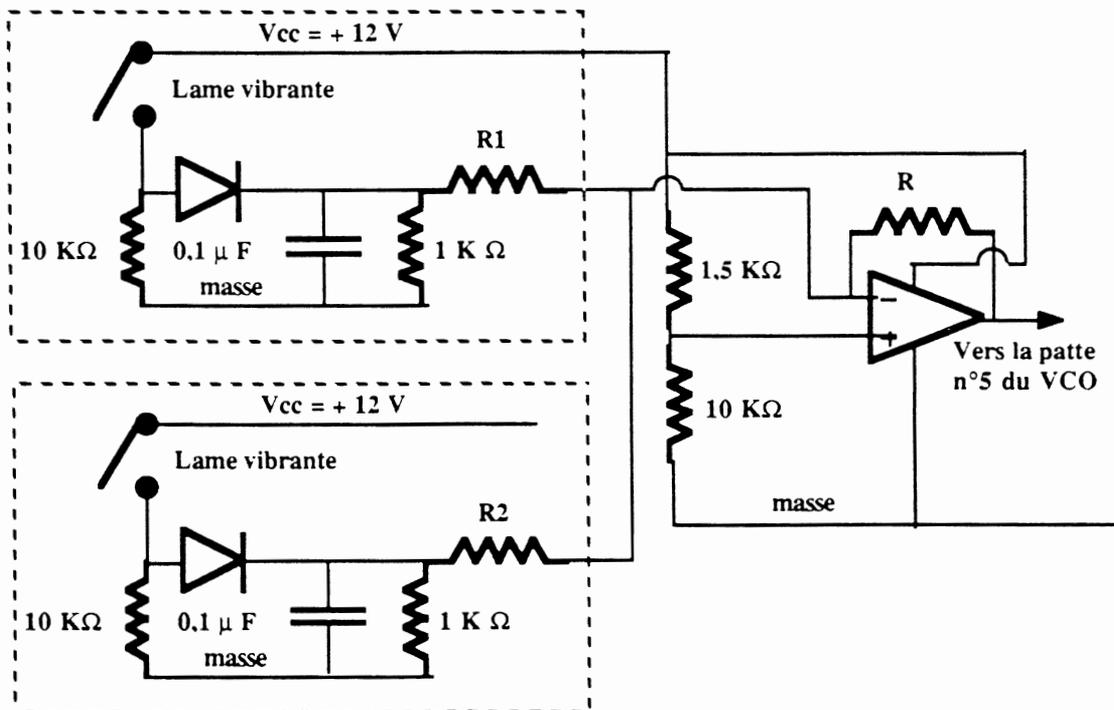
avec  $i$  courant produit par la photodiode en fonction du flux lumineux et que l'on trouve sur la notice du fabricant ou par mesure après quelques essais.



Voici un interface pour un capteur de 5 phases de vol. Il s'agit d'un pont diviseur dont on peut faire varier le rapport de division en commutant différentes résistances. Celles-ci sont choisies de manière telle que si deux commutations ont lieu simultanément elles ne puissent pas être interprétées comme une autre phase de vol. Le VCO change de fréquence de manière discrète. L'une des phases de vol est le déclenchement de la minuterie.

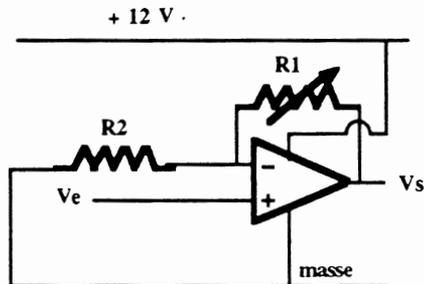


Et pour terminer ce paragraphe voici un schéma pour un capteur de vibration. La partie du schéma comprise dans le rectangle pointillé doit être répétée pour chaque lame. Cette partie a pour but de mémoriser pendant quelques instants le contact fugitif de chaque lame. R1, R2 et R sont à déterminer expérimentalement. Pour un capteur à deux lames un ordre de grandeur est : R1 = 120 kΩ, R2 = 470 kΩ, R = 1 kΩ. Le rapport R1/R doit être différent de R2/R afin de reconnaître laquelle des lames entre en vibrations.

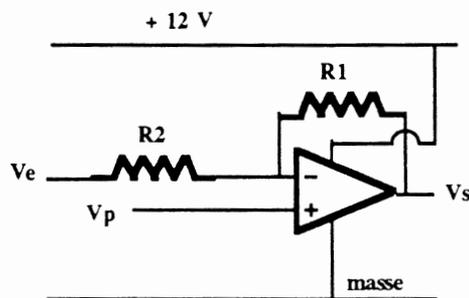


Les schémas précédents font en fait appel à deux des montages possibles d'un amplificateur opérationnel. Comme ils peuvent vous servir pour d'autres applications nous vous les rappelons. Les bouquins d'électroniques de base expliquent l'origine des formules. Si besoin allez voir vos profs, cela leurs fera tant plaisir.

$$V_s = V_e * (R_1 + R_2) / R_2$$



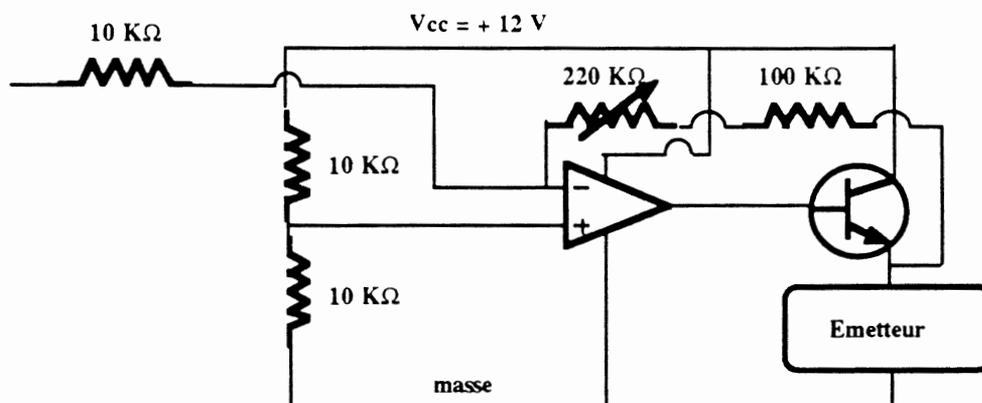
$$V_s = - V_e * R_1 / R_2 + V_p$$



Pour le brochage de l'amplificateur opérationnel reportez vous au chapitre sur la minuterie et n'oubliez pas que ce type d'amplificateur ne fonctionne pas quand les tensions sur les entrées symbolisées par les signes - et + sont à moins de 1 V des tensions d'alimentation. Dans notre cas :  $V_{cc} = 12\text{ V}$  il faut que E+ et E- soit compris entre 1 et 11 V.

### C.5 Le modulateur

Le signal issu du codeur à une amplitude trop faible, incompatible avec les besoins de l'émetteur. Le modulateur est un organe de puissance. Vous reconnaissez dans le schéma suivant, l'utilisation d'un amplificateur opérationnel associé à un transistor. Le calcul du gain se fait comme décrit plus haut. Le transistor doit être équipé d'un radiateur pour améliorer son refroidissement.

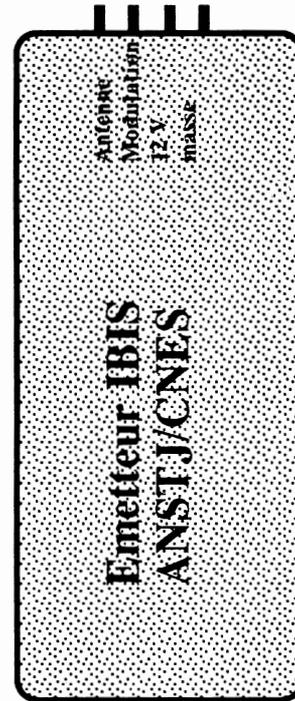


### C.6 L'émetteur

L'émetteur prêté par l'ANSTJ à pour nom : IBIS. Conçu il a quelques années par un club, il est maintenant fabriqué par un industriel. Sa puissance d'émission est de 250 mW, suffisante pour assurer la liaison de quelques km entre la fusée et le récepteur. Il s'alimente avec deux tensions, l'une de 12 V qui consomme 10 mA environ, l'autre venant du modulateur et qui peut consommer jusqu'à 300 mA.

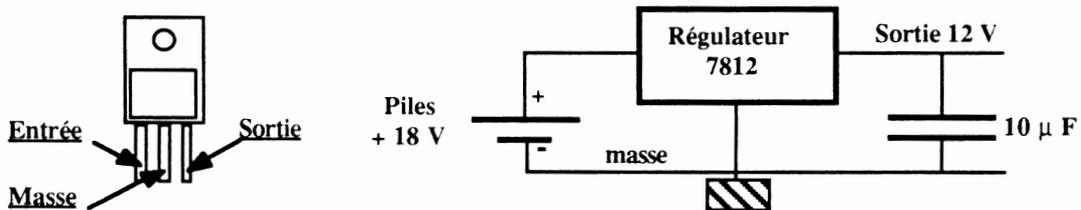
L'émetteur qui est dans la mallette est factice, mais il a la même taille que le vrai et cela vous permettra de l'implanter comme indiqué dans le chapitre "Intégration". Quand votre fusée sera terminée l'ANSTJ vous prêtera un vrai pour la durée des essais et du vol. Cette objet est en effet onéreux et dans un premier temps il ne vous serait d'aucune utilité faute d'avoir le récepteur adapté.

Il est possible de tester le modulateur en remplaçant l'émetteur par une résistance de 25  $\Omega$  capable de dissiper 2 W.

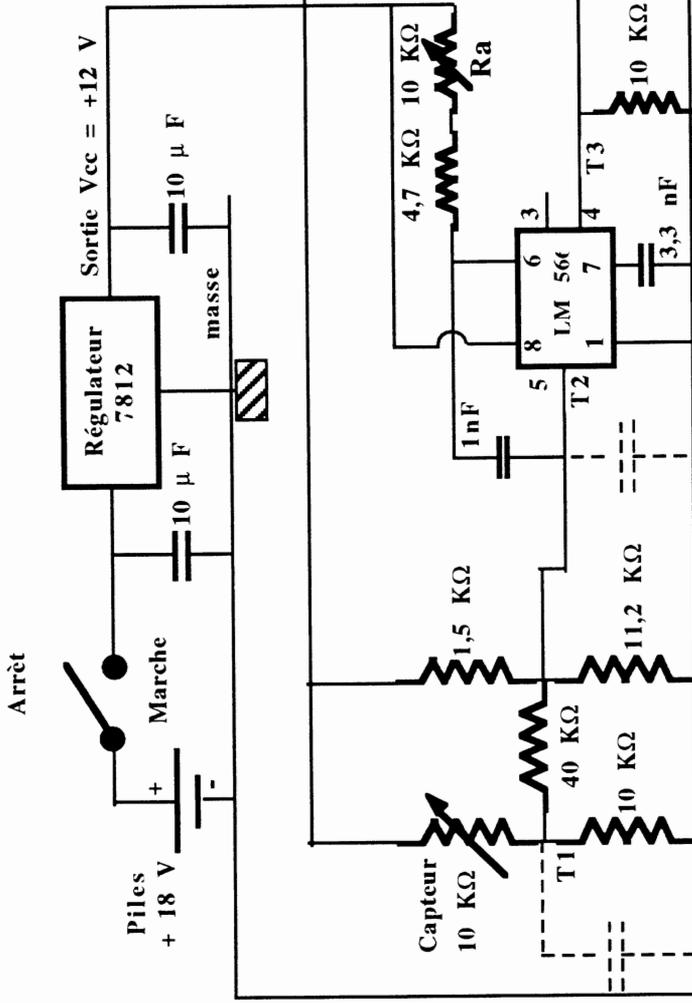
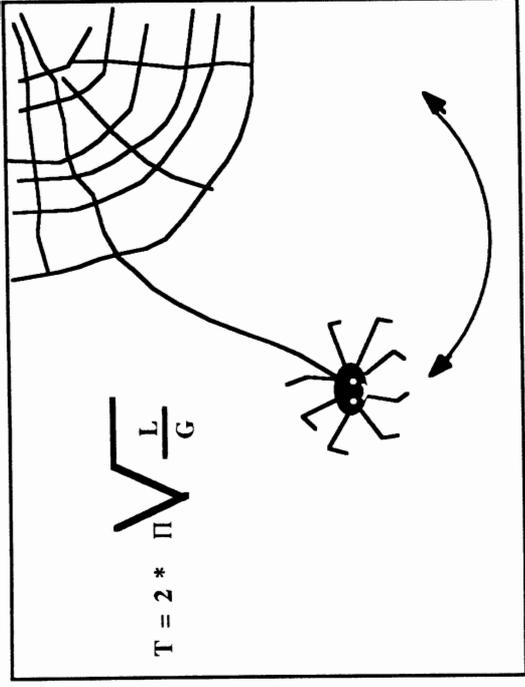


### C.7 L'alimentation électrique

Il est nécessaire que la tension 12 V qui alimente toute la chaîne soit de bonne qualité. La valeur d'une mesure ne doit pas dépendre de l'état des piles. Il faut donc réguler. Rassurez vous il existe des composants qui assurent cette fonction très classique en électronique, comme par exemple les 7812 en boîtier TO 220. Voici leurs brochages et comment les câbler :



Aux bornes des piles, il est bon de placer un connecteur permettant d'alimenter l'électronique quand les piles sont absentes avec une alimentation de laboratoire.



## SCHEMA COMPLET DE LA CHAINE DE TELEMESURE

Le schéma correspond à un capteur potentiométrique de 10 K $\Omega$  et les éléments sont calculés pour la voie n° 8. Les capacités supplémentaires jouent un rôle d'anti parasites. Leur valeur est de quelques nF. Les piles sont constituées de 12 piles baton R6 en série. Ce jeu de piles ne doit pas alimenter la minuterie. Celle-ci est autonome et fonctionne grâce à une pile 9 V.

## **D - REGLAGE ET MISE AU POINT**

Commencez par refaire le schéma complet de la chaîne de télémesure en modifiant celui qui vous est proposé pour l'adapter à votre capteur et au numéro de la voie IRIG que vous avez retenue. Faites le vérifier par un électronicien. Si vous nous l'envoyez par courrier nous nous chargerons de cette vérification. Etablissez la liste de tous les composants. Contrairement à la minuterie, la mallette ne contient pas tous les composants nécessaires à la construction de la chaîne de télémesure. Seul les composants difficiles à trouver sont approvisionnés. A vous de vous procurer les autres.

Montez une maquette sur table avant de réaliser le câblage définitif. Ne jamais tout câbler en une seule fois. En cas de panne il vous sera très difficile de la découvrir. La maquette peut être réalisée suivant les mêmes techniques que pour la minuterie. Câblez chaque fonction indépendamment puis testez les avant de les assembler. Suivez un code de couleur pour les fils de liaison afin de les identifier facilement et notez ce code sur un papier, il vous servira de nombreuses fois. Quand deux fils aux fonctions différentes sont de même couleur, on peut les différencier avec des bagues de couleur.

orange : fils venant des piles  
noir : masse

rouge :  $V_{cc} = 12\text{ V}$   
vert : liaison vers le capteur etc

Commencez par réaliser la régulation. Protéger le régulateur d'une éventuelle surchauffe du à un court circuit en le vissant sur une plaque métallique qui fera office de radiateur. Vérifiez que vous obtenez bien 12 V en sortie. Pour économiser les piles on emploiera une alimentation de laboratoire.

On réalise ensuite le circuit d'interface avec le capteur et l'on vérifie que l'on obtient 10,5 V environ en sortie. Cette valeur doit varier de  $\pm 100\text{ mV}$  suivant l'état du capteur. Si l'on ne dispose pas du capteur ou bien si il n'est pas très pratique de le faire varier souvent pendant les essais on peut le remplacer momentanément par un potentiomètre pour produire un signal équivalent.

On câble le codeur et l'on vérifie à l'aide d'un fréquencemètre que l'on obtient une fréquence correspondant à la voie choisie. Si besoin on ajuste à l'aide du potentiomètre Ra. La variation de la fréquence en fonction du capteur doit être d'environ  $\pm 7.5\%$ .

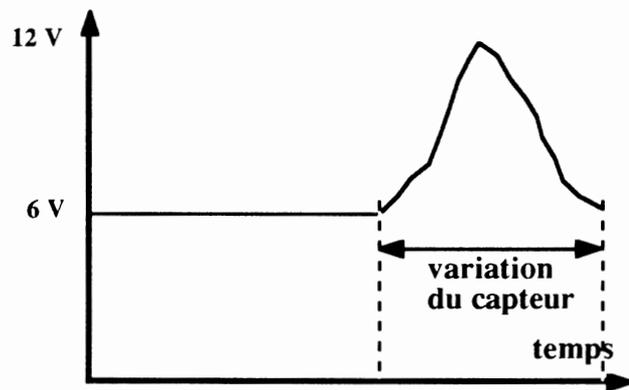
On termine par l'étage de puissance. Sur la résistance qui simule l'émetteur on doit obtenir une signal triangulaire variant de 2 à 10 V que l'on ajuste à l'aide du potentiomètre Rb.

Soyez conscient que si vous débutez en électronique vous rencontrerez quelques difficultés mais pas assez pour vous rebuter. Faites vous aider par votre entourage et n'oubliez pas que nous existons et répondons au courrier et au téléphone. Les conseils de dépannage décrits dans le chapitre "Minuterie" s'appliquent bien évidemment ici !

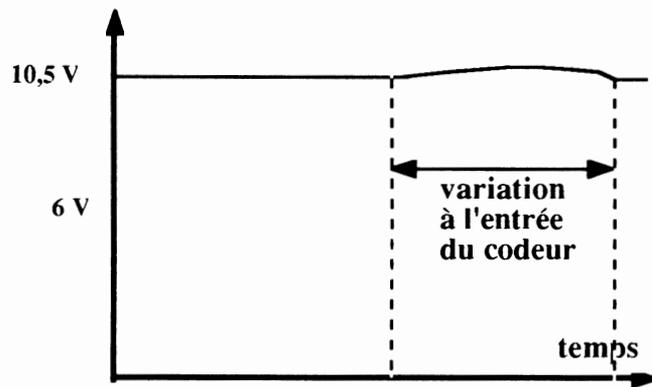
Les courbes suivantes décrivent les formes de signaux que l'on rencontre en différents points du circuits en les visualisant sur un oscilloscope (points Tn du schéma général).



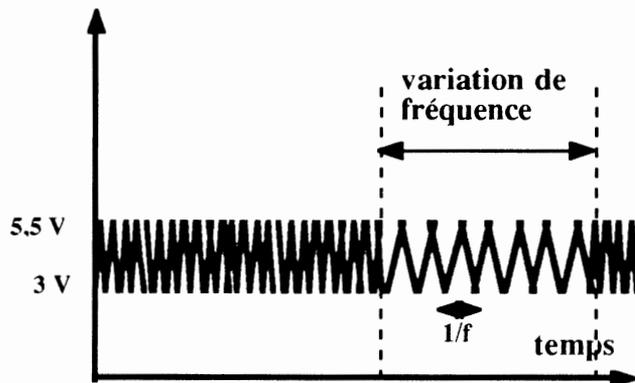
La première courbe correspond au point T1, à la sortie du capteur. La tension est constante jusqu'à ce que le capteur détecte une variation du paramètre et la transcrit électriquement.



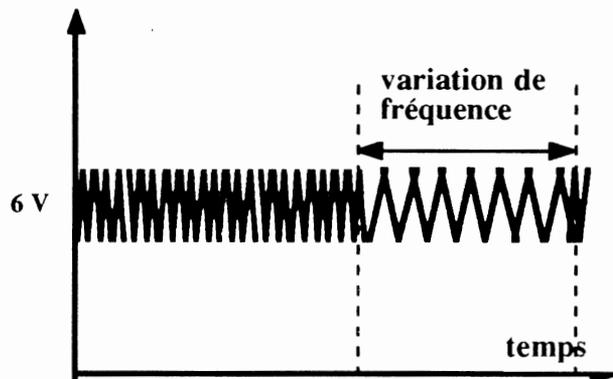
Le point T2 montre le signal en sortie de l'interface d'adaptation. La variation de tension est ramenée autour de 10,5 V  $\pm$  0,112 V et devient ainsi compatible avec le codeur.



Au point T3 on reconnaît le signal triangulaire produit par le VCO. La fréquence varie en fonction du capteur. La période vaut  $1/f$  avec  $f$  fréquence de la voie utilisée. Le dessin exagère la variation de fréquence qui ne pas excéder  $\pm 7,5\%$ .

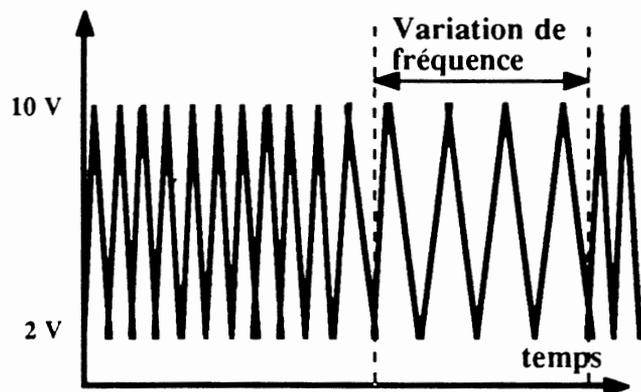


En T4 le condensateur de 470 nF et les deux résistances de 10 k $\Omega$  translate le signal autiur de la valeur moyenne de 6 V.



Sur l'entrée modulation de l'émetteur, point T5, le signal a été amplifié par le modulateur autour de la valeur moyenne de 6 V ayant de moduler en AM l'émetteur.

Les valeurs numériques indiquées sont données avec une précision de  $\pm 0.5$  V.



### E - ETALONNAGE

Etalonner consiste à graduer la télémesure. En toute rigueur un étalonnage complet doit tenir compte de la station de réception. Vous pourrez faire ces expériences vers les mois de Mai Juin et Juillet de chaque année car le CNES et l'ANSTJ déplacent sur rendez vous dans tous les clubs un véhicule laboratoire qui contient cette station. Un travail plus simple consiste à tracer la courbe fréquence du codeur en fonction de la grandeur à mesurer, permettant de connaître ainsi la sensibilité du capteur et vérifier si la variation de fréquence du codeur ne dépasse  $\pm 7.5$  %.

Etalonner une télémesure de température est facile. Il faut placer le capteur dans une enceinte à côté d'un thermomètre de référence et mesurer la fréquence du codeur en chauffant puis en refroidissant l'enceinte. Sèche cheveux puis bac à glace sont souvent mis à contribution dans ce genre de manipulation.

Etalonner une altitude est plus délicat. L'ANSTJ dispose d'une cloche à vide qui est à votre disposition. Il s'agit d'une enceinte étanche reliée à une pompe qui en aspirant l'air de l'enceinte simule la raréfaction de celui-ci avec l'altitude. Un capteur de pression de référence est fourni avec. Le volume restreint de l'enceinte ne permet pas d'introduire toute la fusée dedans. L'altimètre doit donc être démontable pour être introduit seul dans la cloche. Un câble assure son fonctionnement avec la fusée placée à côté.

Simuler au sol des vibrations pour étalonner un capteur de vibration est assez difficile. On peut poser la fusée sur une table légère et fixer à côté un moteur électrique qui met en rotation un disque déséquilibré. Le balourd engendré par une rotation rapide vibre la table. On peut aussi poser le capteur sur la membrane d'un gros haut parleur que l'on excite avec un fort signal BF. Pour votre santé personnelle n'hésitez pas à utiliser des boules Quiés et vérifier avant si vos voisins aiment bien "les petits jeunes qui prennent des initiatives" !

Pour étalonner un accéléromètre commençons par analyser la relation fondamentale de la mécanique qui s'applique à tous les objets et en particulier à la masse de l'accéléromètre :

$$F = m * g$$

avec F : force subie par l'objet en Newtons.  
 m : masse de l'objet en Kilogrammes.  
 g : accélération de l'objet en mètres / secondes au carré.

L'attraction terrestre joue le même rôle qu'une accélération avec une valeur particulière de g : 9.81 m/s\*s. valeur que l'on appelle G.

La formule se transforme :

$P = m * G$  avec P : poids de l'objet en Newtons <sup>2</sup>.  
 m : masse de l'objet en Kilogrammes.  
 G : attraction terrestre en mètres / secondes au carré.

Un accéléromètre est en fait une balance qui mesure le poids de la masse. Ce poids peut varier sous deux paramètres : variation de la masse (fonctionnement en balance) ou variation de l'accélération (fonctionnement en accéléromètre).

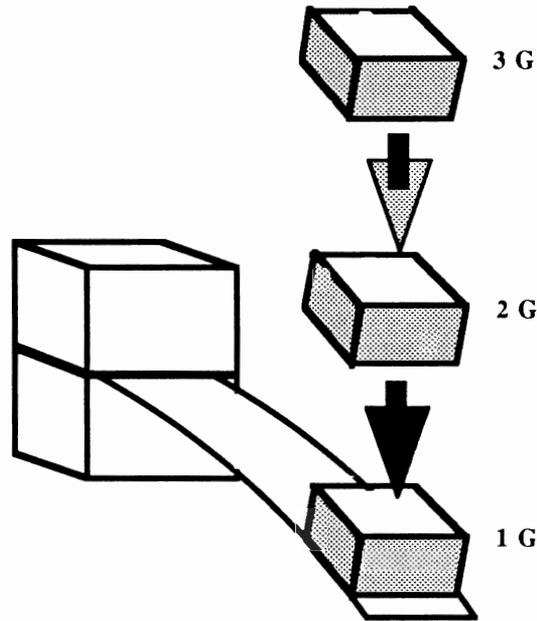
On peut donc simuler une accélération en jouant sur la masse.

Exemple pour une accélération de 19,62 m/s\*s soit 2 G :

$$m * (2 * G) = (2 * m) * G$$

Pour la lame, une accélération de 2 G pour une masse m produit la même courbure qu'une accélération de G pour une masse 2 m.

Pour étalonner un accéléromètre dont la masse à une masse m, il suffit de surcharger cette dernière avec d'autres masses pour obtenir au total 2m (g = 2G) puis 3m (g = 3G)...Nm (g = NG) et de relever à chaque fois la valeur correspondante de la fréquence du codeur. Pour obtenir les accélérations négatives ou décélérations on reprend les mêmes manipulations en retournant le capteur.



Sur l'aire de lancement, quelques instant avant d'introduire la fusée dans la rampe alors que la station de réception fonctionne on peut faire émettre la fusée verticalement, horizontalement puis verticalement la tête vers le bas. On simule ainsi les accélérations G, 0, et -G.

L'idéal pour étalonner une vitesse est de disposer d'une soufflerie. Mais hélas ces machines sont rares et difficiles d'accès. Dans le cas d'un Pitot on peut simuler la pression de l'air du à la vitesse à l'aide d'un compresseur. Nous avons mis plusieurs fois à contribution un copain qui travaille dans un garage et tant pis pour les clients qui voulaient regonfler leurs pneus ! De façon approximative, la formule suivante relie la vitesse à la pression :

$$P = \frac{1}{2} \rho C_x V^2$$

<sup>2</sup> Certains seront surpris de lire qu'un poids se mesure en Newtons. Personne n'achète 10 Newtons de carottes en faisant son marché ! Et pourtant en toute rigueur nous devrions parler ainsi. Mais par habitude nous confondons le poids d'un objet et sa masse qui elle effectivement se mesure en Kilogrammes. La masse d'un objet ne dépend pas de sa position dans l'Univers, par contre le poids dépend de l'accélération ou de l'attraction du lieu de la mesure. Voici un tableau qui compare le poids d'une masse de 1 Kilogramme sur différents astres.

Mercure : 3.5 Newtons	Vénus : 9 Newtons	La Terre : 9.81 Newtons	La Lune : 1.66 Newtons
Mars : 3.5 Newtons	Jupiter : 30 Newtons	Saturne : 12.5 Newtons	Uranus : 12.5 Newtons
Neptune : 12.5 Newtons	le Soleil : 250 Newtons		

Dans le cas d'une mesure par un aileron il existe une relation entre la force exercée par l'air sur l'aileron et la vitesse :

$$F = \frac{1}{2} r S C_y V^2$$

avec pour les deux formules

F : force en Newtons,

r : Masse volumique de l'air 1.27 Kg par mètre cube.

S : Surface de l'aileron en mètre carré.

V : Vitesse de l'air en mètres par secondes,

Cx et Cy : Coefficient qui dépend de la forme.

Pour un aileron plat et perpendiculaire au déplacement d'air,  $C_y \approx 1$ .

Il faut penser à l'étalonnage dès la conception de la mesure. Il peut influencer la fabrication du capteur. Par exemple une sonde de température sera placée au bout d'un long câble pour entrer facilement dans un réfrigérateur alors que la fusée entière est trop grande pour entrer entière dans le compartiment bouteille !

# LA PANOPLIE DU CONSTRUCTEUR DE FUSEES

## à quelques détails près

Vous rêvez d'explorer la galaxie. Alors il ne vous reste plus qu'à vous aménager un petit hall de montage pour vous lancer avec quelques copains dans la construction d'un des symboles de l'aventure moderne : une fusée.

C'est aussi dans la fonctionnalité d'un hall de montage que se joue la qualité d'une réalisation. Le satellite Marec, destiné aux transmissions entre navires, pèse 2 tonnes. Pour le mettre en œuvre en Guyane, les techniciens ont transporté près de 75 tonnes de matériel sur une centaine de camions.

Sans pour autant dévaliser les rayons bricolage et outillage de tous les magasins, vous devez à votre échelle regrouper quelques outils et instruments de mesure. Les outils sont le prolongement de notre main, lui permettant d'adapter son universalité à la spécificité d'une tâche. Les instruments de mesures transforment des grandeurs physiques en grandeurs palpables par nos capteurs humains, les sens.

Avec une once de débrouillardise, vous aurez peu à acheter. Les grandes surfaces proposent régulièrement des promotions. De plus vous pouvez faire des emprunts. Un père garagiste, un autre artisan, un élève de LEP, un copain motar seront toujours heureux de vous ouvrir leur caisse à outils. Nous avons écrit ce chapitre au demeurant très court et proposé des listes pour rassurer ceux qui pensent qu'il faut obligatoirement posséder les moyens de la NASA pour construire une fusée.

Détaillons la panoplie de base pour l'outillage :

- de quoi dessiner,
- quelques tourne-vis plats et cruciformes,
- une scie à métaux et des lames à dentures fines,
- quelques pinces plates, universelles etc.
- une pince étau,
- un étau,
- quelques petits serres joints,
- quelques limes et si possible un jeu de limes de Genève ou limes d'horlogers,
- quelques clés à tube pour serrer des écrous de 3,4 et 5,
- un marteau pas trop lourd,
- un cutter, ciseau,
- un pointeau,
- une perceuse à main électrique,
- une boîte de forets,
- des tarauds de 3 mm, 4 mm et 5 mm et un tourne à gauche,
- une table massive qui ne craint pas trop les coups et mieux un établi,
- un fer à souder ayant un panne fine,

et en option une perceuse verticale. Cette machine permet de réaliser les perçages avec une précision supérieure qu'avec une perceuse à main.

Pour le fer à souder ne lésiné par trop sur la qualité. Prenez un fer à souder d'électronicien de 35 à 40 W et non pas un bidule à étamer les casseroles ou à friser les perruques. Evitez les fers à chauffages instantané peu pratique. Avec une chute de tôle pliée, il est aisé de réaliser un porte fer. Cela vous évitera des ennuis avec le propriétaire de la table.

Pour les appareils de mesure :

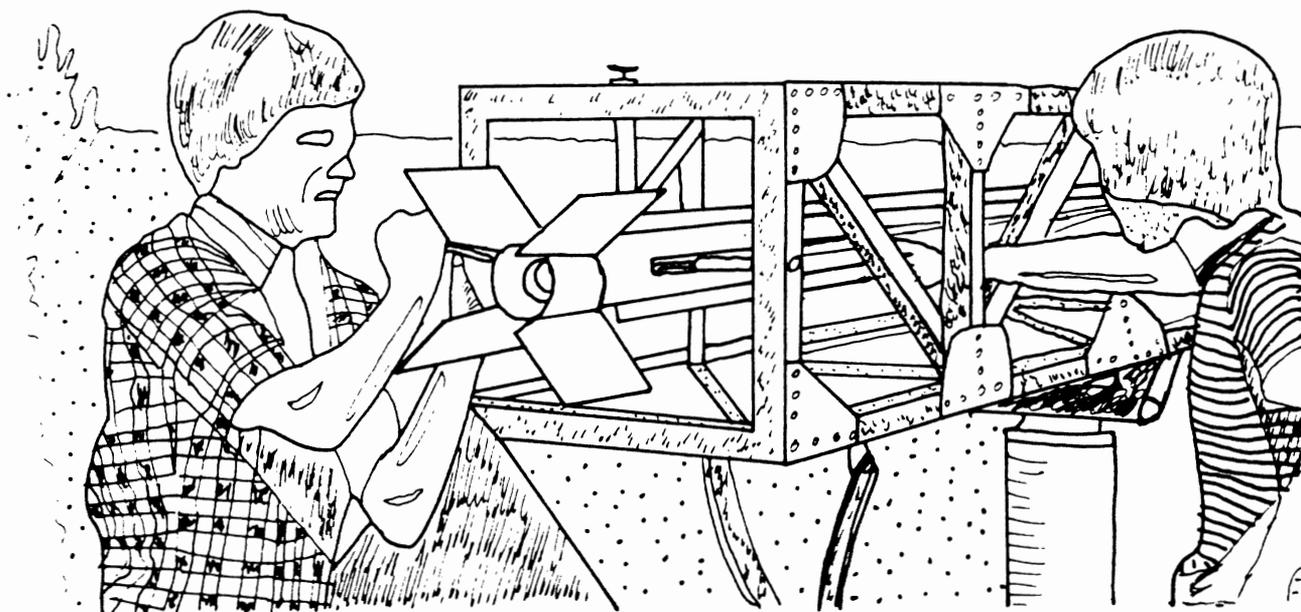
- un double décimètre et un réglet de mécanicien,
- une équerre,
- un mètre ruban,
- un pied à coulisse,
- une balance,
- un écouteur téléphonique en général récupérer sur un vieux combiné,
- un contrôleur universel,
- un oscilloscope.

et tous les appareils nécessaires à l'étalonnage de vos capteurs et cela en fonction des expériences que vous avez décidé d'embarquer.

Que pensez-vous d'un contrôleur universel comme cadeau pour votre prochain anniversaire ?

La perceuse verticale et l'oscilloscope sont typiquement des appareils que l'on peut se faire prêter pour quelques semaines pendant la période de mise au point des plaques électroniques et de fabrication des pièces. On peut aussi préparer son travail chez soi et se déplacer de temps en temps sur un lieu où ces outils sont disponibles.

Il faut maintenant que vous appreniez à manier tous ces objet. C'est l'objet du prochain chapitre.



## TECHNIQUES DE CONSTRUCTION

Ce chapitre regroupe une liste de mots clé correspondant à des procédés de fabrication, des conseils, des astuces, bien utiles pour travailler rapidement. Ils sont classés par ordre alphabétique.

Accessibilité / câblage de la fusée / câblage des maquettes / circuits imprimés / collage / couper les plastiques en feuille / couper un tube en PVC / couper une vis / découper une fenêtre dans une surface / ébavurer / facilité de construction / fiabilité / filetage / limer / montage des ailerons / montage des composants / ordinateur / peinture / plans / scier / souder / tarauder / tracé sur un tube / visser.

D'abord quelques recommandations :

Avant de scier, de percer ou de limer, tracer sur la pièce l'emplacement de la découpe ou du trou que vous souhaitez obtenir. Ne faite jamais confiance à votre intuition mais lisez vos plans et utilisez généreusement la règle, le pied à coulisse, l'équerre avant toutes opérations.

N'hésitez pas à faire des essais. Limez une chute de métal pour en apprécier la dureté avant de commencer votre chef-d'œuvre ou collez sur quelques centimètres deux pièces témoins pour apprécier l'efficacité du procédé avant de tout noyer dans la glu. Faites des brouillons pour vous entraîner. Ayez un œil critique sur l'objet qui sort de vos mains, et de temps en temps allez observer comment un professionnel pratique (et se tape sur les doigts).

### **Accessibilité :**

Pensez qu'il vous faudra, au cours de la vie de votre fusée :

- changer les piles rapidement,
- manoeuvrer souvent les interrupteurs,
- mettre une pointe de touche de contrôleur universel en tout point des circuits électroniques,
- vérifier les câblages,
- changer, nettoyer, armer les charges pyrotechniques,
- etc,

Donc dès la conception de votre engin réfléchissez à ces points et évitez les vis inaccessibles, les écrous cachés, le circuit imprimé démontable qu'à condition de dessouder le connecteur, les intégrations accessibles à la pince Monseigneur, etc.

### **Câblage de la fusée :**

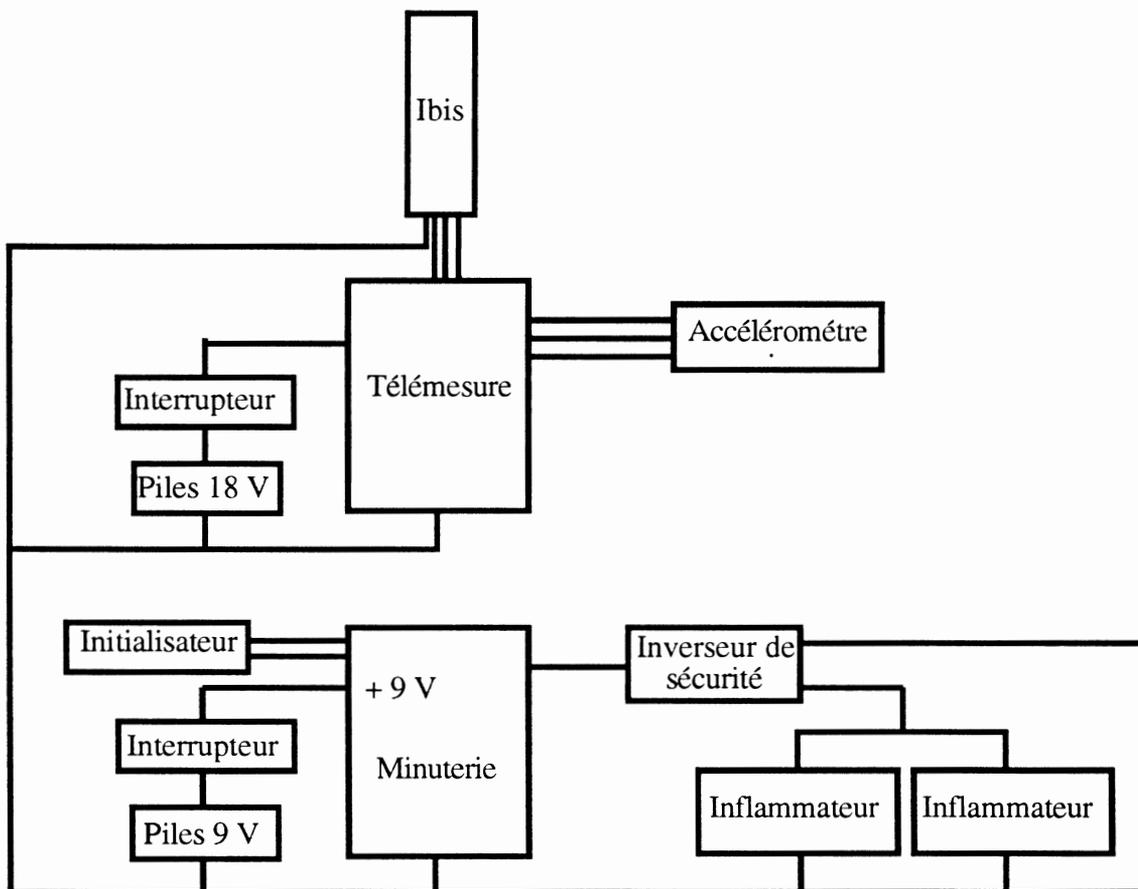
Le système électronique d'une fusée est constitué de différents circuits, appareils, piles, physiquement éloignés les uns des autres et qui échangent entre eux de l'énergie et des signaux. Le câblage de la fusée consiste à installer les différents fils et câbles qui les relient.

La qualité d'un câblage est importante pour la fiabilité. Il faut poser tous les fils sans en oublier et les connecter aux bons endroits, sans transformer votre fusée en une infâme pelote. En pratique on commence par faire l'inventaire des éléments qui nécessitent un raccordement.

Pour votre fusée, l'inventaire sera probablement proche de celui-ci :

- |                                                    |              |
|----------------------------------------------------|--------------|
| - une pile de 9 V pour la minuterie,               | 2 connexions |
| - 16 piles en série pour la télémesure,            | 2 connexions |
| - un interrupteur marche-arrêt pour la minuterie,  | 2 connexions |
| - un inverseur de sécurité pour la minuterie,      | 3 connexions |
| - un interrupteur marche-arrêt pour la télémesure, | 2 connexions |
| - un circuit électronique pour la minuterie,       | 4 connexions |
| - un circuit électronique pour la télémesure,      | 4 connexions |
| - un accéléromètre,                                | 3 connexions |
| - un émetteur Ibis,                                | 4 connexions |
| - deux inflammateurs pyrotechniques,               | 4 connexions |
| - un initialiseur pour la minuterie,               | 2 connexions |

Ensuite on dessine un diagramme avec des blocs représentant chaque élément que l'on relie entre eux par des traits symbolisant les fils. L'idéal est d'employer des traits de couleurs correspondant aux couleurs des fils utilisés pour le câblage. Ainsi l'identification des câbles sera plus facile. Si on ne dispose pas d'un choix important de couleurs, on différenciera les fils par une petite étiquette collée dessus sur laquelle on inscrira un numéro qui sera reporté sur le schéma.



Si vous n'avez pas oublié les passages des fils dans les pièces mécaniques, le câblage de votre fusée à partir du schéma se fera sans difficultés. On utilisera obligatoirement du fils souple isolé. Vous en trouverez un échantillon dans la mallette. Le fils rigide monobrin est prohibé car trop cassant. Contre d'éventuels parasites, les spécialistes pourront utiliser du câble blindé pour relier les capteurs à la carte télémesure, et la carte télémesure à l'émetteur.

On commence le câblage en soudant une seule extrémité des fils surdimensionnés en longueur sur les divers connecteurs, borniers, interrupteurs etc. Ensuite on place ces fils le long des cheminements prévus et on les ligature ensemble pour former des torons. On fixe ces torons sur l'intégration. On termine le câblage en ajustant la longueur des fils puis en soudant leur deuxième extrémité. On vérifie à l'ohmmètre l'exactitude du montage fils à fils avant toute mise sous tension.

### **Câblage des maquettes :**

La solution la plus facile est d'utiliser des plaques d'essai enfichables qui transforme le câblage électronique en jeu de construction mais ces plaques sont chères ; environ 100 F pièce. Le mieux est d'en avoir deux, une pour la minuterie, l'autre pour la télémessure.

La solution la plus courante est d'utiliser des plaques de circuits imprimé avec des pistes pré-réalisées que l'on coupe à la demande. On trouve ces plaques, type Mboard, chez les revendeurs. La mallette en contient un échantillon.

### **Circuit imprimé :**

Consultez des ouvrages de vulgarisation spécialisés et réalisez vos premiers circuits avec l'aide d'une personne compétente.

### **Collage :**

Il existe pour les amateurs cinq types de colles aux usages bien différents.

Les colles Epoxy double composants type "Araldite". Il faut mélanger ces deux composants avant usage en part égale. Le résultat donne une matière dure, translucide qui peut être limée. Ces colles adhèrent mal sur les surfaces lisses et doivent plutôt vous servir à remplir des volumes, faire des congés, coller des composants électroniques sur un circuit imprimé etc... Eviter les versions rapides. A chaud, vers 80 °C, ces colles durcissent plus vite et sont plus solides. Une lampe placée à quelques centimètres de la pièce à coller est un procédé efficace de chauffage.

Les colles au Néoprène type "Bostik" sont des colles contact que l'on doit étaler sur les deux faces à coller et laisser sécher quelques minutes avant de presser les deux faces l'une sur l'autre. Elles restent souples après séchage. Vous les utiliserez pour coller des boucles de sangles de parachute avant de les coudre, pour assembler des matériaux comme le bois, les plastiques. Faire des essais avant car le Néoprène fond certains plastiques.

Les colles Cyanoacrylate type "Super Glu" sont des colles contact qui ne collent que si les deux pièces sont pressées l'une sur l'autre. Une goutte suffit. Il existe des modèles pour le plastique, le verre, le métal. Ne pas en répandre sur vos mains et ne pas appuyer sur les pièces sans l'aide d'un chiffon ou d'un papier. Une main collée sur une fusée la rend inutilisable (la main et la fusée d'ailleurs). Ces colles sont efficaces en quelques secondes et c'est là leur intérêt. Elles résistent mal aux chocs et dans votre cas elles vous serviront surtout à positionner des petites pièces. Souvent les collages ne sont pas irréversibles.

Les colles PVC type "Tangit" sont des colles utilisées par les plombiers pour raccorder les tuyaux en PVC. Ces colles sont très efficaces pour coller le cône sur la peau et plus généralement pour tous les travaux sur la peau. Attention elles sèchent très vite et font des collages irréversibles car elles fondent partiellement le PVC.

La colle blanche pour coller vos jolies courbes sur le compte rendu d'expérience !

Quelques soit le type de colle que vous utilisez, préparez les pièces avant de sortir la colle ; nettoyez soigneusement les surfaces par grattage, tampon d'alcool etc, mettez la quantité de matière juste nécessaire et surtout lisez le mode d'emploi avant. Certaines colles produisent

des vapeurs toxiques et il vaut mieux travailler dans un lieu aéré. La réalisation d'un petit montage provisoire pour tenir la pièce pendant le séchage de la colle est conseillée : serre joint, ficelle, scotch, étau, pince étau, poids etc.

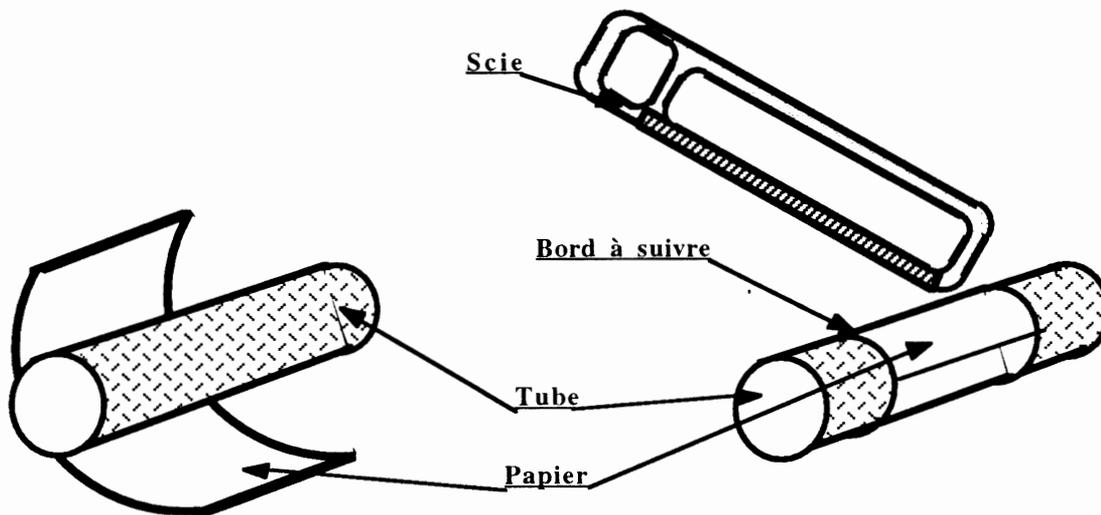
### Couper les plastiques en feuille :

Après avoir tracé sur le matériau la ligne de découpe vous pouvez soit :

- sciez à la scie à métaux,
- sciez à la scie fils pour les tracés en courbe,
- rayez la surface avec un cutter en vous aidant d'une règle, et cassez le matériau en le pliant au niveau de la rayure sur le bord d'une table. Plus le plastique est dur, meilleur est le résultat de cette technique qui donne des bords nets mais ne permet pas de réaliser des courbes.

### Couper un tube en PVC :

Prendre une feuille de papier aux bords droits et enroulez la autour du tube. Superposez minutieusement les deux extrémités du même bord et fixez le tout avec un peu de ruban adhésif. Le bord de la feuille indique le tracé du sciage. Sciez avec une scie à métaux à denture fine en suivant le bord du papier. Ensuite étalez et fixez une feuille de papier de verre sur une table et frottez par rotation l'extrémité du tube dessus pour supprimer les derniers défauts.

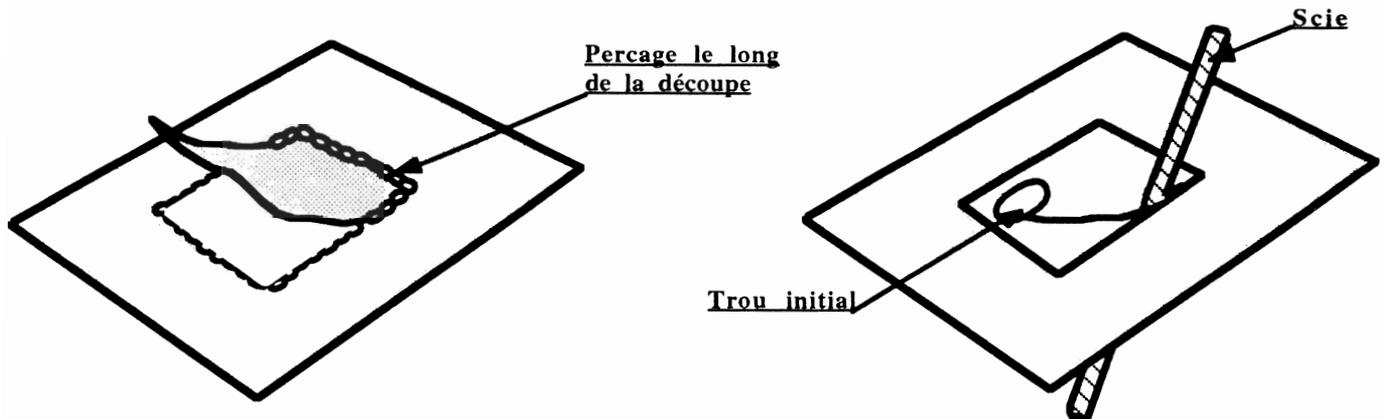


### Couper une vis :

Eviter d'avoir à couper des vis. Achetez directement des vis à bonne longueur. Un sachet de vis coûte moins de 10 F. On trouve régulièrement en grandes surfaces des assortiments en promotion. Si malgré tout vous devez en couper quelques unes, engagez un écrou sur la vis et placez le près de sa tête. Serrez dans un étau l'extrémité de la vis inutile. Sciez la vis et limez légèrement en chanfrein la coupe. Dévissez l'écrou pour redresser le filetage en le déplaçant plusieurs fois sur l'extrémité sciée. Jetez l'écrou.

### Découper une fenêtre dans une surface :

- Après avoir tracé la forme de la fenêtre sur le matériau (tube, plaque), vous pouvez :
- percer un trou au milieu de la fenêtre pour y introduire une lame de scie à métaux,
  - percer de nombreux petits trous contigu et déchirer le matériau comme si vous découpiez un timbre poste,
  - pour les plastiques minces, fondre le matériaux sur le contour avec un fer à souder dont la panne ne sert plus à souder,
- A l'aide d'une lime on ôte les dernières bavures.



### **Ebavurer :**

Opération indispensable après le sciage et le perçage.

- pour les métaux sciés, un coup de lime ou de papier de verre sur les coupes,
- pour les plastiques, la lime et le papier de verre sont efficaces mais il est aussi possible de gratter les bavures avec une lame de couteau ou le dos d'une vieille lame de scie.
- après un perçage il suffit d'enlever le copeau en prenant un foret beaucoup plus gros que le trou percé et en faisant un tour sur l'entrée du trou en tenant le foret à la main.

Le but de l'ébavurage est d'éviter que des copeaux ne gênent les emboîtements des pièces.

### **Facilité de construction :**

Quand vous dessinez une pièce pensez en même temps à la manière de la réaliser. Parfois il est plus facile de fabriquer une pièce en deux parties et de les visser, coller etc ensemble, plutôt que de chercher à l'extraire d'un seul morceau de la matière. Evitez les montages compliqués.

### **Fiabilité :**

La fiabilité est l'aptitude d'un système à fonctionner correctement sur une période donnée. La fiabilité se mesure de façon statistique. On définit par exemple le temps moyen de fonctionnement entre chaque panne. Tous les éléments d'un système participent à sa fiabilité car tous sont des causes potentielles de pannes. Comme c'est toujours le maillon le plus faible qui casse en premier, il ne faut pas négliger des détails et surdimensionner d'autres éléments.

Cela passe par la conception d'une fusée simple dont vous maîtrisez tous les aspects. Une fusée simple qui fonctionne laissera un bien meilleur souvenir qu'une fusée compliquée qui se casse en morceaux en sortie de rampe.

Les causes d'une panne sont au premier degré imputable à un défaut mécanique ou électronique, mais la cause profonde est souvent ailleurs. Il s'agit de négligences dans la fabrication, les tests, les contrôles, l'emballage et le transport des pièces. Dans l'accident de la navette Challenger les journalistes n'ont retenu que la défaillance d'un joint d'un des propulseurs d'appoint, mais les enquêteurs ont plutôt cherché à répondre à la question suivante : pourquoi l'organisation du travail n'a pas permis de détecter le montage d'un joint défectueux.

Des documents non mis à jour sont très souvent cause de pannes car ils provoquent des erreurs au montage. Travaillez donc méthodiquement et avec minutie, ayez un regard critique sur votre travail.

Dans les usines qui fabriquent des moteurs d'avions, il y a autant de contrôleurs que d'ouvriers de montage. La fiabilité est à ce prix.

### Filetage :

Fileter est le procédé pour réaliser des pas de vis. Ne pas confondre avec le taraudage qui consiste à réaliser les écrous. Il n'est pas facile de faire de beaux filetages avec des filières, seuls outils dont vous pouvez disposer pour cette opération. Evitez donc de fileter et utilisez plutôt des vis et de la tige filetée du commerce. Il en existe dans tous les diamètres. Le filetage n'est envisageable que pour ceux qui disposent d'un tour. (clubs installés dans un lycée technique, dans un garage etc).

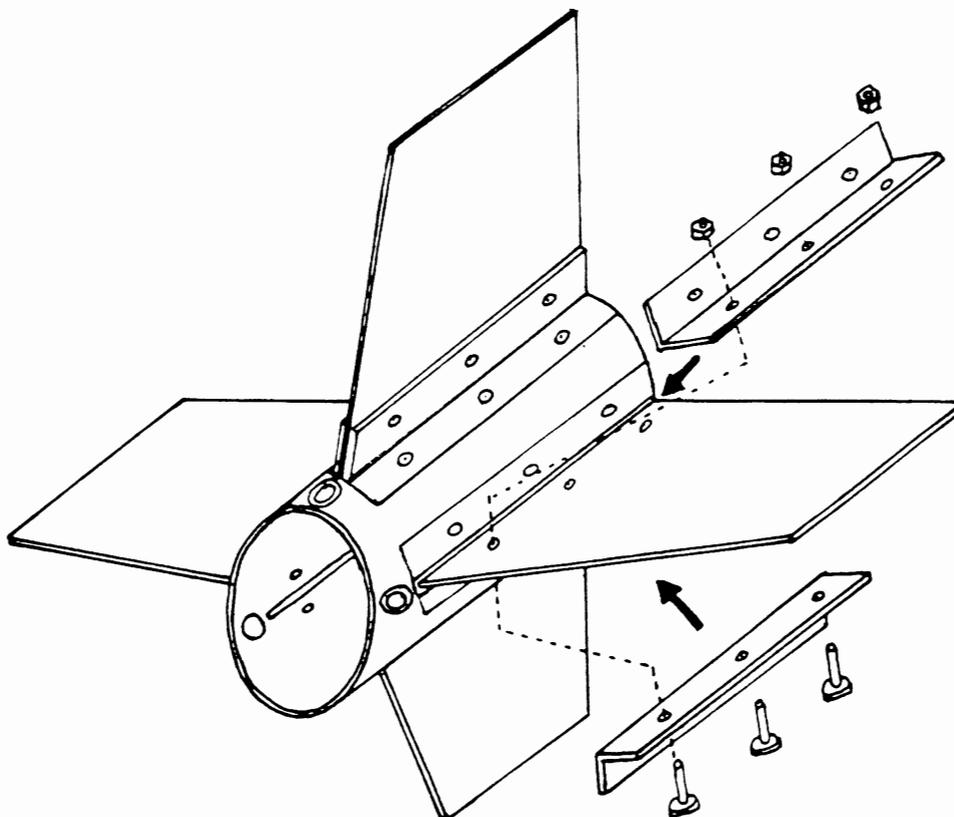
### Limer :

Nous n'allons pas vous faire un cours magistral sur l'art de limer. Utilisez des limes dont le grain est adapté à votre besoin. Voici seulement une astuce pour nettoyer une lime encrassée par de l'aluminium ou des plastiques. Frottez la contre une carte et limez une chute de laiton sur les parties les plus rebelles. En utilisant une lime à gros grain on diminue les risques d'encrassement mais il n'est pas toujours possible de figoler avec.

### Montage des ailerons :

Les ailerons sont le plus souvent découpés dans une tôle d'aluminium de 2 à 3 mm. Ils se fixent sur la virole porte ailerons dont vous trouverez le plan page 6/13 à l'aide d'équerres comme l'indique le schéma suivant. Les équerres sont réalisées en coupant à longueur du profilé dont vous trouverez un échantillon dans la mallette.

La virole vous sera fournie lors de la campagne de lancement. Vous ne pourrez donc pas vérifier le montage des ailerons chez vous. Suivez donc scrupuleusement les cotations du plan.



### Montage des composants :

On commencera par monter les composants les moins fragiles, pour finir par les plus fragiles. On montera dans l'ordre :

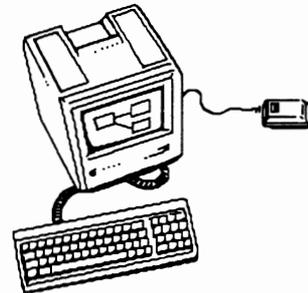
connecteurs / supports / straps / résistances / potentiomètres / condensateurs / diodes / transistors / circuits intégrés.

Les résistances seront montées de façon à ce que le code de couleur soit toujours dans le même sens, et si possible de la gauche vers la droite ou de haut en bas, de façon à le lire facilement. Les autres composants seront montés dans la mesure du possible, de façon à ce que les indications qui y sont portées soient lisibles après montage.

Les composants soumis à des accélérations importantes seront montés le plus près possible du circuit imprimé. Les transistors seront toutefois montés à 2 mm du circuit de façon à ne pas trop les chauffer lors de leur soudage.

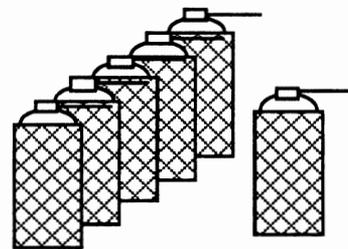
### Ordinateur :

Il n'est pas indispensable d'avoir un ordinateur pour fabriquer une fusée. D'ailleurs si vous passez plus de temps sur un clavier que sur la planche à dessin, changez de loisir! L'ordinateur apporte un plus pour le calcul de trajectoire et pour ceux qui souhaitent s'appuyer sur le prétexte de construire une fusée pour apprendre à manipuler des outils de conceptions assistées. Nous pensons entre autre aux étudiants en écoles d'ingénieurs en mal de travaux pratiques. Pour faire un trou utiliser plutôt une perceuse.



### Peinture :

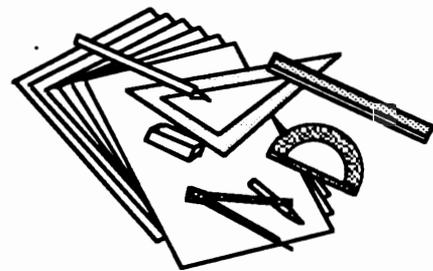
Peindre votre fusée lui donnera bonne allure le jour du lancement. Utiliser des bombes à peinture pour les retouches sur les automobiles. Choisissez des couleurs voyantes pour aider l'équipe de récupération. Les textes peuvent être écrit en collant des lettres découpées dans du papier de couleur ou en les peignant à travers des typons.



Savez vous pourquoi le gros réservoir de la navette américaine est marron ? En fait il est brut de fabrication car le peindre alourdirait la navette ! Le réservoir fut peint en blanc seulement lors du premier vol.

### Plans :

Il convient de toujours faire des plans, des croquis, des schémas, avant de réaliser quoique ce soit. Un plan est plus facile à corriger qu'une pièce en cours de réalisation. Ne pas oublier de reporter les modifications et les valeurs des composants. Aucune aide ne pourra être efficace sans des documents à jour. A l'opposé il ne faut pas passer des heures à faire des plans. Ceux ci doivent être propres, lisibles mais pas obligatoirement des toiles de maîtres.



## Scier :

Il existe plusieurs modèles de scie, mais comme vous n'aurez le plus souvent que des petites pièces à couper il vous suffira d'avoir une scie à métaux avec des lames à dentures fines. Ne prenez pas obligatoirement des lames de qualité. Ces dernières mieux aciérées sont aussi plus fragiles et pardonnent moins les maladresses des débutants. En compensation il vous faudra changer la lame plus souvent.

Une scie fils est bien utile pour découper des pièces courbes.

Il ne sert à rien d'appuyer sur une scie pour améliorer son efficacité. Laissez lui le temps de faire sa voie. Utilisez toute la lame grâce à des mouvements de grande ampleur et non pas uniquement les trois dents du milieu.

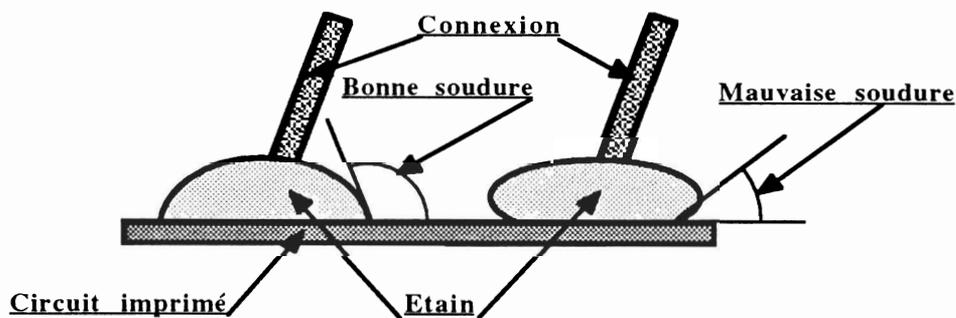
## Souder :

Nous ne parlerons ici que de la brasure d'électronicien à l'étain pour le câblage des composants. On peut s'en servir aussi pour souder ensemble des pièces en laiton ou des tôles en "fer blanc" pour les blindages avec des fer de 100 W ou 250 W.

Procurez vous un fer de qualité de 25 W de puissance environ ainsi qu'un jeu de pannes de rechange. Evitez les fers à chauffage instantané : on attend 15 secondes et il soude. Le défaut étant faut attendre 15 secondes à chaque soudure! Utilisez de la soudure fine. Vous faite de l'électronique, pas de la plomberie! Les pannes s'usent. Si elles sont en cuivre on peut les retailler à la lime. Si elles sont recouvertes d'une protection elles durent plus longtemps, mais elles ne peuvent être retaillées car cela enlève définitivement la protection.

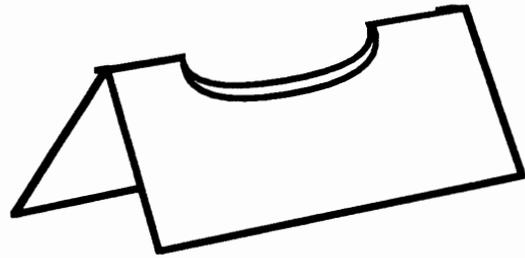
Pour souder on commence par étamer, c'est à dire déposer de l'étain sur les deux parties à souder. Ensuite on les rapproche, on les chauffe, et on dépose un peu de soudure avant de retirer le fer.

- les surfaces à souder doivent être propres. Si besoin nettoyer à l'alcool,
- le temps de soudure doit être bref pour ne pas dégrader le composant et la piste de cuivre,
- la soudure ne doit pas être appliquée sur la panne du fer, mais sur les parties à souder, elles même chauffées par le fer,
- nettoyer votre fer en frottant la panne régulièrement contre un morceau d'éponge humide,
- ne pas souffler sur un soudure pendant son refroidissement,
- l'étain d'une soudure réussie brille,
- la soudure doit parfaitement "mouiller" les deux parties à souder c'est à dire que l'angle entre la surface à souder et le bord de l'étain doit être obtus.



On peut se servir du fer à souder pour faire des trous dans le plastique : utilisez pour cela une vieille panne.

Prenez le temps de vous fabriquer un porte-fer en tôle pour ne pas tout brûler sur votre table de travail.



**Tarauder :**

Tarauder consiste à réaliser un filet à l'intérieur d'un trou. Ne pas confondre avec le filetage qui consiste à tracer un filet sur la surface extérieure d'un cylindre, en l'occurrence une vis. Tarauder est à votre portée. Entraînez vous d'abord sur de gros tarauds de 6 ou 8 mm de diamètre moins fragiles que les diamètres 3 ou 4 couramment utilisés sur les fusées. Avant de tarauder il faut percer un trou plus petit afin de laisser de la matière pour tailler les filets. Respectez ce tableau :

Taraud	Diamètre de perçage	Taraud	Diamètre de perçage
3 .....	2,5 mm	8 .....	6,6 mm
4 .....	3,2 mm	10 .....	8,4 mm
5 .....	4,1 mm	12.....	10,1 mm
6 .....	4,9 mm	16.....	13,8 mm

Les tarauds sont souvent vendus par boîte de trois. Observez leurs extrémités. Vous remarquerez que d'un taraud à l'autre la pointe n'est pas affûtée de la même manière. L'un à des filets peu marqués sur son extrémité, l'autre au contraire à des filets très marqués. Le dernier se situe entre les deux. On commence toujours par utiliser le taraud au filet peu marqué, puis on repasse les autres en terminant par celui aux filets les plus marqués.

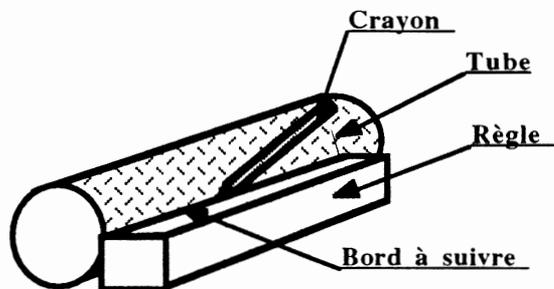
Placez le premier taraud sur le tourne-à-gauche. Savonnez l'extrémité du taraud (indispensable) puis, en maintenant toujours le taraud vertical dans le trou, tournez par petits coups, sans forcer, en revenant en arrière tous les demi-tours pour couper le copeau. Ressortez complètement le taraud de temps en temps pour le nettoyer et changer le savon. Surtout ne pas aller trop vite, car il arrive alors que le taraud se casse dans le trou ce qui le condamne.

Dans les matériaux tendres : aluminium, plastique, et pour les trous débouchant on peut se passer d'utiliser les trois tarauds à condition de visser le premier à fond.

Dans un trou non-débouchant on ne peut pas fileter jusqu'au bout, il faut prévoir une marge de 5 mm.

**Tracé sur un tube :**

Voici comment tracer un trait parallèle à l'axe d'un tube.



Pour tracer une forme compliquée sur un tube le plus simple est de reproduire cette forme sur un papier puis de coller ce papier sur le tube. Il est plus facile de mesurer des longueurs à plat plutôt que sur le tube. On taille le tube en suivant le tracé sur le papier.

**Visser :**

Juste pour vous dire qu'il vaut mieux utiliser des vis à fente plutôt que des vis cruciformes. Et surtout visser et dévisser avec un tourne-vis adapté pour ne pas risquer de "foirer" les têtes" des vis. On trouve des lots de tournevis en promotion dans les grandes surfaces ; ne vous privez pas!

## CREER UN CLUB

Pour faire une fusée il faut des gens passionnés, un local, du matériel quelques sous. Un club peut éprouver le besoin d'établir un cadre plus officiel lui offrant des avantages intéressants. Nous avons nommé l'Association type "loi 1901". Pour un club ce n'est pas une obligation, l'ANSTJ reconnaît les groupes informels et de nombreuses équipes appartiennent déjà à des associations (maison des jeunes, maison de quartier, foyer socio éducatif, association d'élèves etc). Comme la question nous est souvent posée voici quelques informations.

Parlons d'abord des avantages.

Le statut d'association permet, par la création d'un cadre juridique officiel, d'être représenté en tant que tel vis à vis du monde extérieur. Plus concrètement, cela veut dire par exemple :

- Avoir un chéquier au nom de l'Association (signé par le président ou/des mandataires).
- Pouvoir demander des aides à des sociétés (dons matériel, aide financière etc...) au nom de l'Association.
- Avoir un recours juridique puisque l'Association devient une personne morale. Cela peut procurer des avantages pour les assurances par exemple.
- Pouvoir officialiser et généraliser le principe de la cotisation, principale source de revenus pour la plupart des clubs.

L'association a des devoirs :

- L'association, en tant que personne morale, a les mêmes responsabilités qu'un citoyen.
- Elle doit organiser au moins une fois par an une Assemblée Générale. Ses membres qui débatteront des activités et des comptes passés et à venir, éliront des représentants qui entre les assemblées assureront la continuité des affaires.
- L'association peut faire des bénéficiaires, mais n'a pas le droit de les répartir entre les membres (on les reporte pour les activités de l'année suivante).

Comment créer son association ?

Tout groupe de 2 personnes majeurs au moins peut créer une association. En premier lieu vous devez écrire les statuts de votre association et notamment lui donner un nom. Vous devez ensuite les déposer à la Préfecture où leur conformité sera vérifiée. Lorsque vos statuts auront été acceptés, la création de votre association sera publiée au Journal Officiel. Cette formalité fait l'objet d'une taxe.

Le statut associatif est très répandu en France. Il s'en crée chaque jour un nombre ahurissant (voir les pages correspondantes du Journal Officiel). Certaines associations emploient un grand nombre de personnes. Pourquoi pas la votre un jour ?

Vous trouverez dans la mallette un document intitulé "créer un club scientifique" qui contient toutes les informations nécessaires.



## REGLEMENTATION

L'activité de construction de fusées expérimentales par des jeunes est régie par deux circulaires. Pour votre information voici le texte de la première.

CIRCULAIRE N°490 du 7 AOUT 1962 et CIRCULAIRE N°85-290 du AOUT 1985

De plus vous pouvez lire l'article B2.4 des statuts de l'ANSTJ.

### **CIRCULAIRE DU 7 AOUT 1962 - N° 490 - DU MINISTERE DE L'INTERIEUR**

Direction Générale de la sûreté nationale  
Direction de la réglementation  
Sous-Direction de la réglementation intérieure  
Bureau de la Police Générale

Le Ministre de l'intérieur

à Monsieur le préfet de Police  
à Messieurs les préfets (Métropole)

Objet : Fusées expérimentales

Depuis plusieurs mois, j'ai poursuivi, en liaison avec le Ministre des armées, l'étude du problème posé par la fabrication et le lancement par les jeunes de fusées expérimentales.

Des informations recueillies, il résulte que ces opérations sont extrêmement dangereuses, notamment en raison du maniement, sans précautions désirables, des mélanges propulsifs.

Dans ces conditions et d'accord avec Monsieur le Ministre des armées, j'ai décidé d'interdire toutes les initiatives dans ce domaine lorsqu'elles s'exerceront sans contrôle administratif.

Par cette mesure d'interdiction, je n'entends nullement décourager l'effort des jeunes gens en l'occurrence, mais assurer leur protection, ainsi d'ailleurs que celle des collectivités.

Il conviendra donc désormais que les jeunes gens qui désirent fabriquer ou lancer des fusées expérimentales prennent d'abord officiellement contact avec le Centre National d'Etudes Spatiales, habilité à diriger les projets des jeunes, à leur prodiguer toutes recommandations utiles et, le cas échéant, à aider la mise au point de leurs essais.

Je ne puis que vous laisser le soin de donner à la présente circulaire la publicité que vous jugerez désirable, de façon que la fabrication et le lancement de fusées expérimentales par les jeunes puissent désormais s'effectuer dans des conditions satisfaisantes pour la sécurité publique.

Pour le Ministre de l'Intérieur  
Et par délégation,  
le Directeur Général de la Sûreté Nationale  
Jacques AUBERT

## BIBLIOGRAPHIE

### Ouvrages de culture générale sur le thème de l'Espace :

- Aller-retour pour l'espace - J. Allen et R. Martin - Mazarine Paris 1984,  
Le voyage spatial à l'heure des navettes spatiales. Somptueux.
- Sonate au de Terre. Itinéraire d'un Français dans l'Espace - J.L. Chrétien - Médiations chez Denoël, ISBN 2.207.24153.X  
Les mémoires du premier Français dans l'Espace, en hommage à ses camarades de la Cité des Etoiles,
- La Sage de l'Espace - A. Dupas - Découvertes (n°3), Gallimard, Paris, 1986,  
Une bonne synthèse de l'histoire de la conquête spatiale abondamment illustrée,
- L'exploration de l'Espace - K. Gatland - Bordas, Paris 1986,  
Les grands thèmes de l'aventure spatiales.
- Clairs de Terre - K.W. Kelley pour l'Association des explorateurs de l'Espace - Bordas, Paris 1988,  
La planète bleue photographiée et décrite par des astronautes du monde entier.
- Le grand atlas de l'Espace - Edition Universalis. ISBN 2-85229-910-0,  
Un must
- Les grandes heures des conquérants de l'Esapce - P. Kohler - Perrin, Paris 1989  
Du premier "piéton" à l'explosion de Challenger, les grandes émotions de la conquête spatiale.
- Dictionnaire de l'Espace - P. de La Cotardiere et J.P. Penot - Larousse Paris 1992.  
Très pratique et assez complet (900 entrée alphabétiques).
- L'astronautique soviétique - C. Lardier - Armand Colin, Paris 1992.  
Une histoire du programme soviétique un peu dense mais bourrée de détails inédits.
- L'homme dans l'Espace - J.P. Penot - Explora / Cité des sciences et de l'industrie, Presse Pocket, Paris 1992,  
Présentation simple et vivante du vol spatial, pleine de citations et judicieusement illustrée.
- L'étoffe des héros - T. Wolfe - Gallimard, Paris 1982.  
L'aventure des astronautes de programme Mercury. Le film de Philip Kaufman est tiré du livre.
- Cosmos encyclopédie - Collectif di Cosmos Club de France sous la direction d'Albert Ducrocq,  
Sciences & Avenir, Bordas, Paris, 1973.  
Un classique, hélas épuisé!
- The Space Shuttle Handbook by Kenneth Gatland - ISBN 0600384187,  
- Petite histoire de la conquête de l'air et de l'espace, référence Larousse, ISBN 2-03-720075-7,
- Dictionnaire de spatiologie. Conseil International de la langue française. CNES. Edition PUF,  
ISBN 2-853-239-3,

## Dossiers

Publication de l'école moderne française / ICEM - Pédagogie freinet (Coopérative de l'enseignement laïc - BP 109 - 06322 - Cannes la Bocca Cedex - tél : 93 47 96 11)

- La fusée Ariane, BTJ (Bibliothèque de travail Junior) n°276
- Spot, un satellite artificiel, BTJ n°280
- Pourquoi ça tombe ? BTJ n°814
- Cosmonaute avec J.L. Chrétien BT (Bibliothèque de travail) n°964, mars 1985
- Une semaine dans l'Esapace avec J.L. Chrétien BT n°967, mai 1985
- Hipparcos, le satellite des étoiles, BT n°1045, février 1993
- L'espace, milieu violent et hostile, BT n°1052, mai 1985
- Voyager dans l'Espace avec J.L. Chrétien BT son n°900
- Vivre et travailler dans l'Espace avec J.L. Chrétien BT son n°901
- La fusée Ariane, BT2 (Bibliothèque de travail second degré)n°203, janvier 1988
- L'Espace un autre monde, Périscope série Sphères, 1991

Centre national de documentation pédagogique (29 rue d'Ulm - 75230 Paris Cedex 05 - Tél : 43 29 21 64)

- La vie dans l'Espace, TDC (Textes et documents pour la calsse) n° 311, avril 1983
- Satellites artificiels, TDC n° 344, février 1984
- Expérimenter dans l'Espace, TDC n° 406, mars 1986
- Voyager dans le système solaire, TDC n° 441, mars 1987

Revue des Francs et Franches camarades (10/14, rue Tolain - 75020 Paris - tél : 44 64 21 50)

- Les satellites, Gullivores n°4, avril 1988
- L'aventure spatiale, Gullivire n° 40, mars 1992

## Ouvrages d'initiation à l'électronique :

- L'électronique ? ...rien de plus simple par J.P. Oehmichen. Editions Radio.ISBN 2-7091-0647-7,
- Le livre des gadgets électroniques par B. Fighiera. Editions Techniques et Scientifiques Françaises.
- Pour s'initier à l'électronique par R. Knoerr. E.T.S.F. ISBN 2-85535-208-8,
- Guide pratique des montages électroniques par M. Archambault. E.T.S.F. ISBN 2-85535-156-1,
- Montages didactiques par F. Bernard. E.T.S.F. ISBN 2-85535-205-3,
- L'électronique à la portée de tous (tome 1 et 2) par G. Isabel. E.T.S.F. ISBN 2-85535-195-7,
- Mes premiers pas en électronique par R. Rateau. E.T.S.F. ISBN 2-85535-192-8,
- Electronique : laboratoire et mesure par Fighiera/Besson. E.T.S.F. ISBN 2-85535-178-2,
- Electronique : maison et confort par Fighiera/Besson. E.T.S.F. ISBN 2-85535-180-2,
- Electronique : jeux et gadjets par Fighiera/Besson. E.T.S.F.
- Echec aux mystères de l'électronique par Y. Doffagne. Editions PUBLITRONIC.
- Initiation à la programmation des calculateurs de poche et de bureau par J.P. Levieux - Editions EYROLLES,

**Et pour ceux qui voudraient devenir vraiment plus savant :**

- Cours de physique des semiconducteurs de Bernard Grehant. Edition EYROLLES.
- Electronique des signaux analogiques de J.Auvray Edition Dunod Université. ISBN 2-04-011456-4.
- Ondes, Cours de Physique de Berkeley, volume 3 cllECTION U Edition Armand Colin. ISBN 2-200-21005-1.
- Méthodes numériques pour calculateur de poche de Jon M. Smith. Editions EYROLLES.
- Les montages électroniques par J.P. Lemouvre. Editions EYROLLES.
- Electronique (Tome 1 et 2) par Ch. Grossetête. Editions ELLIPSES. ISBN 2-7298-8741-5.
- Mesures d'électroniques par A. pelat. Editions ELLIPSES.
- Amplificateurs B.F. à transistors par G. Amoniau. E.T.S.F. ISBN 2-85535-163-4.
- Electronique au quotidien par Ch. Tavernier. E.T.S.F. ISBN 2-85535-184-7.
- Cours d'électronique (Tome 1 à 4 ) par F. Milsan. Editions EYROLLES ISBN 2-212-09461-2.
- 1500 schémas et circuits électroniques par R. Bourgeron. Editions RADIO. ISBN 2-7091-1052-0.
- Principes d'électronique par A.P. Malvino. MacGraw hill Editeurs. ISBN 2-7042-1176-0.
- 302 circuits. Editions PUBLITRONIC. ISBN 2-86661-027-X.
- Pratique de l'électroniques (Tome 1 et 2 par M. Aumiaux. MASSON Editeurs. ISBN 2-225-67210-5.
- 200 montages électroniques simples par W. Sorokine. Editions RADIO. ISBN 2-7091-0842-9.
- Guide La Technique 1 : L'information. Presses Polytechniques et Universotaires Romandes. ISBN 2-88074-219-6.
- Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques par H. Mathieu. MASSON Editeurs.ISBN 2-225-82200-X.
- Technologie des composants électriques (Tome 1 et 2 ) par R. Besson. Editions RADIO. ISBN 2-7091-0904-2.
- Electronique pratique par J.M. Fouchet et A Perez-Mas. Editions DUNOD. ISBN 2-12355-339-2.

**Ouvrages d'initiation à la mécanique :**

- Guide du dessinateur industriel de A. Chevalier. Edition Hachette Technique. ISBN 2-01-014735-9.
- Précis de construction mécanique (Tome 1 à 3 ) Editions AFNOR/NATHAN. ISBN 2-12-355-339-5.

- Guide des fabrications mécaniques par P. Padilla et A. Thély. Editions DUNOD. ISBN 2-04-C.
- Construction mécanique : manuel pratique pour dessinateurs et techniciens par V. Bawin et C. Delforge. Editions DUNOD. ISBN 2-10-000161-2.
- Guide du calcul en mécanique par D. Spenlé et R. Gourhant. Editions Hachette Technique.
- Construction mécanique : Elements de technologie (Tome 2 à 4 ) par G. 1 Lenormand, R. Mignée et J. Tinel Editions FOUCHER.
- Systèmes mécaniques : théorie et dimensionnement. Editions DUNOD. ISBN 2-10-001051-4.

**Divers :**

- Guide de la Culture Scientifique Technique et Industrielle - Ministères chargés de la Culture, de la Recherche et de l'Education Nationale et ANSTJ - Diffusion ANSTJ,
- Actions et Réactions par l'ANSTJ à l'initiative du Ministère de la Recherche et de l'Espace - Collections André Giordan et Jean-Louis Martinaud "guides pratiques" - Editions Z'EDITIONS,

## CONTENU DE LA MALLETTTE

### Documentation

- un livret "Fusée lambda",
- un livret "Cahier des charges pour fusées mono-étages",
- un livret "Créer un club scientifique",

### Pièces mécaniques

- un cône,
- un faux fond moteur,
- une pièce de séparation,
- un canon,
- deux goupilles,
- deux rondelles,
- un ressort,
- un échantillon de tube pour la peau de la fusée,
- une chaîne de sécurité,
- profilé en équerre pour fixation des ailerons,

### Composants électroniques

#### Résistances :

R1 = 720  $\Omega$  - R2 = 22 k $\Omega$  - R3 = 10 k $\Omega$  - R4 = 22 k $\Omega$  - R5 = 330  $\Omega$ . Résistance 1/4 W.

#### Potentiomètre :

P1 = 10 k $\Omega$ .

#### Condensateurs :

Cd = 470  $\mu$ F - 16 V environ - C1 = 470 - 16 V  $\mu$ F.

#### Circuits intégrés :

ampli op  $\mu$ A741 ou TL081 ou équivalent,  
VCO LM566.

#### Transistor :

TIP 41 ou transistor NPN équivalent,

#### Diodes :

D1 diode de redressement 1 A - D2 et D3 2 diodes 1N4148 ou équivalente,

#### Voyants :

une LED rouge - une LED verte,

- une plaquette de câblage,
- un émetteur IBIS factice,

La valeur des composants effectivement contenus dans la mallette peut être légèrement différente de celle indiquée sur la liste sans pour autant remettre en cause la validité des schémas du livret.