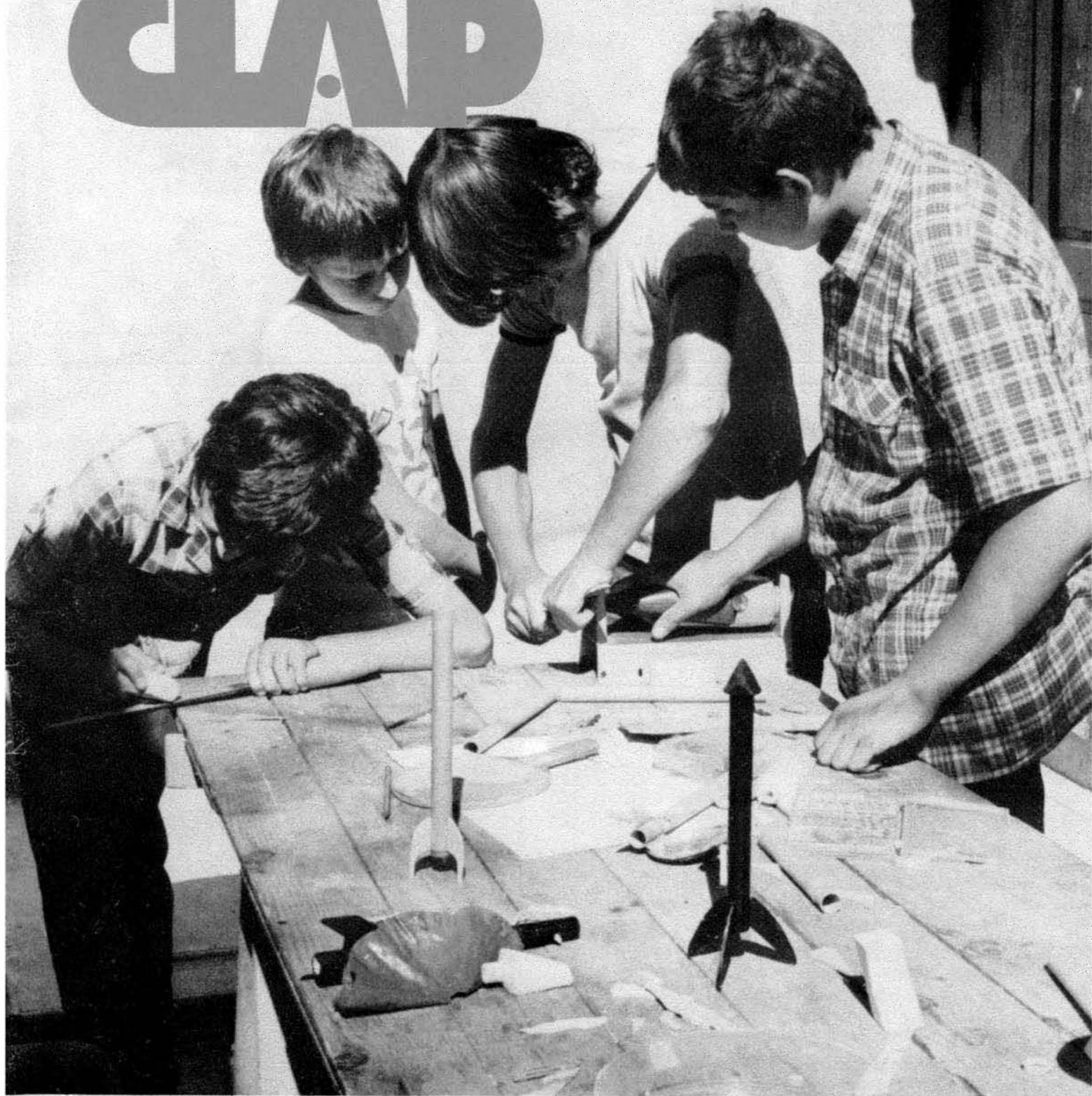


modélisme **CLAP**



SPECIAL MICRO FUSEES



LIGUE FRANCAISE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE L'EDUCATION PERMANENTE

3.2.1.espace

revue des clubs aérospatiaux



association nationale sciences techniques jeunesse

modélisme **CLAP**

**LIGUE FRANCAISE
DE L'ENSEIGNEMENT ET DE
L'EDUCATION PERMANENTE**



**l'aviation au service
de la
culture populaire**

3, rue Récamier 75341 PARIS Cédex 07

DÉLÉGUÉ GÉNÉRAL : G. TAILLANDIER

RÉDACTEUR EN CHEF : R. MARCELLIN

LE DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : P. DELFAUD

BIMESTRIEL

Sommaire

— Éditorial	1
— Une micro-fusée	2
— La propulsion	3
— La construction	6
— Le parachute	9
— Le lancement	12
— Le vol de la fusée	15
— Caractéristiques de quelques micro-propulseurs	17
— Deux rampes de lancement pour micro-fusées	18-19
— Petite fusée deviendra grande	20
— La mesure	27
— Techniques complémentaires	31
— La sécurité	35
— Matériel et bibliographie	37

NUMÉRO HORS SÉRIE

■
Conception et réalisation :

R. Marcellin - G. Préaux - A. Verdier - J. Weyn

Croquis : M. Th. Hoareau

Maquettes : G. Deschamps - R. Marcellin

Ligue Française de l'Enseignement C.C.P. 4143-80

Imp. A.I.F.B. - 7, rue Raoul Kourilsky 77115 Blandy-les-tours

DOTATION DE L'ÉVEIL SCIENTIFIQUE

La Dotation de l'Éveil Scientifique des Jeunes se propose d'aider les moins de 20 ans intéressés par les sciences et les techniques et qui, regroupés en petites équipes, réalisent leur première expérience dans le domaine de leur choix.

Ils peuvent développer leur projet aussi bien durant leurs loisirs qu'en classe et bénéficier de l'assistance d'un animateur ou d'un enseignant.

L'organisation de la Dotation est très souple et soutient les équipes, quelles que soient leur résidence et leurs conditions de travail.

Dès réception d'une demande, un animateur rend visite à l'équipe. Il formule avec elle les buts précis du projet et les moyens nécessaires à sa réalisation.

Le dossier est proposé au Comité Scientifique de la Dotation.

Après décision de celui-ci, l'équipe bénéficie pour une durée d'un an :

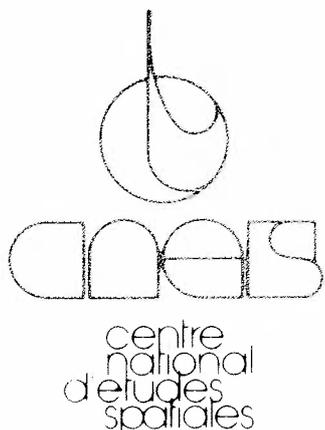
- de prêts de matériels, d'équipements et d'instruments,
- d'un financement personnalisé,
- d'une assistance technique, de documents et de conseils.

Les dossiers sont reçus au Secrétariat de l'A.N.S.T.J., au Palais de la Découverte, tout au long de l'année.



SPÉCIAL RADIO ÉLECTRONIQUE

Élément de base d'une progression, ce numéro d'Aviation C.L.A.P. composé de nombreux montages simples et détaillés, réalisables en fait comme de véritables « jeux de construction », se veut un numéro d'initiation à l'électronique pratique, à la portée des amateurs débutants. Au risque de paraître trop simples, les auteurs n'ont pas hésité à détailler le plus possible le côté pratique des montages afin de les rendre accessibles à tous.



L'ESPACE ET LA JEUNESSE

Lorsqu'on aborde les problèmes liés à la sécurité en matière de fusées expérimentales de Jeunes, on se trouve confronté à des réglementations et à des interdictions. Cet aspect négatif des choses est souvent frustrant pour la Jeunesse, où elle ne perçoit que surveillance et contrôle.

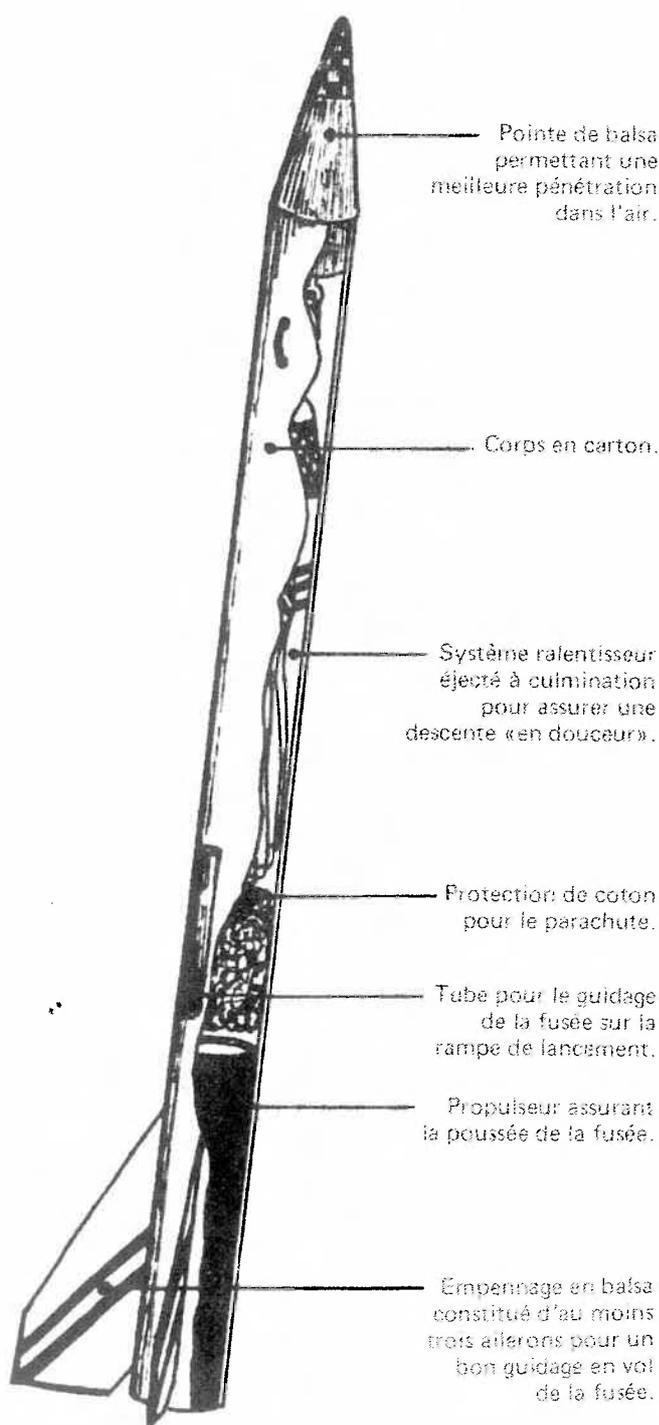
Il semble que le Centre National d'Études Spatiales (CNES) ait su contourner cette difficulté en menant une politique très différente en faveur des Jeunes. L'interdiction qui est faite par circulaire du Ministère de l'Intérieur de manipuler des poudres et des explosifs, de se livrer à la réalisation de systèmes pyrotechniques propulsifs, a été adaptée pour créer une dynamique sur le thème des propulseurs de fusées. Offrir aux Jeunes les moyens de se livrer à des expériences scientifiques ou technologiques, à l'aide de petits propulseurs performants en toute sécurité, constitue l'essentiel de l'orientation prise dès 1963.

Quinze années de pratique et de recherche, soit de nouveaux propulseurs, soit de nouvelles méthodes, permettent de dire aujourd'hui que le chemin suivi était le bon. Les micropropulseurs sont les derniers arrivés dans la panoplie offerte aux membres des clubs aérospatiaux, aux participants des camps d'initiation à l'Espace, aux enseignants et aux éducateurs. L'approche des lois physiques élémentaires et de l'aérodynamique expérimentale grâce à ces outils n'est pas exempte des règles impératives de sécurité. Ces dernières conditionnent la réussite globale de l'action conjointe du CNES et de l'Association Nationale Sciences Techniques Jeunesse (A.N.S.T.J.). En conjuguant leurs actions, en coordonnant leurs moyens, ils ont pu rendre crédible ce qui pouvait paraître pour certains un aventurisme calculé. Il se peut que la normalisation des méthodes ait rebuté certaines volontés, mais l'attitude expérimentale actuellement prise par les clubs aérospatiaux conduit à une grande homogénéité dans les objectifs et la finalité. Quand on situe cette action dans le panoramique des activités scientifiques de Jeunes, elle semble tirer son originalité dans la rigueur de ses programmes planifiés, dans la répartition des tâches au sein de l'équipe du club aérospatial, dans la définition des objectifs techniques ou scientifiques. Il serait dommage d'oublier l'aspect émotionnel et irréversible de la mise à feu du propulseur et l'ambiance exceptionnelle de la campagne de lancements. Ce serait stigmatiser cette action dans sa technique en négligeant l'aventure humaine qu'elle représente et son apport de relations interpersonnelles qu'elle développe au sein de la Jeunesse.

*M. LEBARON
Chargé de Mission (Jeunesse)
au CNES.*

Une Micro Fusée

SA CONSTITUTION



SES PERFORMANCES

Suivant son type de propulseur et son mode de construction, la micro fusée peut atteindre des altitudes entre 50 et 250 mètres pour des masses variant entre 20 et 150 grammes.

Son lancement peut donc s'effectuer à partir d'une aire équivalente à un terrain de sport.

En fin de propulsion, c'est à dire après 3/10 à 2 secondes de vol, les vitesses atteintes sont de l'ordre de 200 km/h (55 m/s). Elles la font effectivement rentrer dans le domaine aérospatial.

SES INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES

La micro fusée apporte tout d'abord des acquis en technologie de construction : travail du carton, du bois, collage, représentation en plan.

Elle mène également à une approche des notions élémentaires de physique : gravité, réaction, aérodynamique, mécanique.

En outre, des ouvertures sont possibles vers l'électricité (système d'allumage), la chaleur (étude du moteur), la géométrie (mesure d'altitude).

Sa conception, sa réalisation et son lancement permettent d'aborder une démarche expérimentale qui inclut diverses phases d'action (contact, découverte, expérimentations, projet). Le travail en équipe, l'évaluation de la faisabilité d'une expérience, la remise en cause en cours de développement de projet sont partie intégrante de l'activité. La phase finale consiste en la réalisation de mesures (temps, altitude) utilisant d'autres techniques (météorologie, photographie...).

Suit une exploitation permettant de juger de la validité des résultats et du comportement d'une fusée en vol.

Une micro fusée est donc une activité de loisir par son caractère spectaculaire et permet l'acquisition de nombreuses notions et attitudes scientifiques et techniques, ouvertes vers divers autres domaines.

L'AGRÈMENT MICRO FUSÉE

La mise en œuvre et le lancement de fusées utilisant des propulseurs à poudre étant réglementée, l'activité micro fusée est soumise à agrément. Cet agrément, obtenu à l'issue d'un stage, atteste d'une base de compétences nécessaires au déroulement, en toute sécurité, des réalisations, des essais et des lancements. Mais les stages sont aussi l'occasion d'aborder les problèmes de techniques, de méthodes ou de pédagogies propres à rendre l'activité enrichissante dans de nombreux domaines.

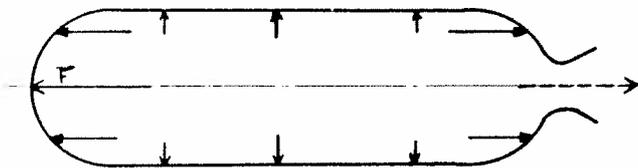
La Propulsion

LA PROPULSION A RÉACTION

Le moteur à réaction est certainement un des plus anciens moteurs connus... dans son principe (dès le milieu du XI^e siècle, les Chinois utilisaient les «flèches à feu» probablement des fusées incendiaires), mais aussi le plus complexe dans la réalisation et ce en dépit de son apparente simplicité. Il repose sur une loi fondamentale de la physique dite «de l'action et de la réaction» énoncée par Isaac Newton : «A chaque action correspond une réaction équivalente et de sens contraire».

PRINCIPE DE LA RÉACTION

Imaginons que l'on produise une réaction de combustion à l'intérieur d'un corps fermé de tous côtés. La résultante des forces de pression s'exerçant sur les parois est nulle (Loi Mariotte). Ouvrons un orifice dans la paroi arrière, cela permet aux gaz en expansion de s'échapper et rompt ainsi l'équilibre des pressions. Les gaz jaillissent de la tuyère tout en maintenant leur pression sur le fond de la chambre. D'où une pression plus grande sur la face avant que sur la face arrière. Le corps est alors projeté en avant sous l'influence de la force résultant de cette différence de pression.



La force de **propulsion** d'une fusée est une force de pression appliquée sur l'avant du propulseur non équilibrée en raison de l'orifice pratiqué à l'arrière.

Cette force de pression est proportionnelle au débit massique des gaz (q) et à leur vitesse d'éjection (v).

On aurait donc tort de croire qu'une fusée se propulse contre quelque chose d'externe. La poussée s'exerce intérieurement à l'engin et plus la vitesse des gaz est grande, plus la poussée est considérable.

La loi de Newton entre en jeu dès que la fusée est allumée, «l'action consistant dans l'échappement des gaz». Quant à la «réaction» (équivalente et de sens opposé), elle correspond à ce que les artilleurs appellent le recul : en l'espèce, la poussée qui s'exerce sur le fond de la chambre de combustion. On peut aisément reproduire le phénomène en utilisant des moyens courants, par exemple, un tuyau d'arrosage où l'action de l'eau engendre une réaction dans la lance que tient votre main. Vous pourrez aussi gonfler un ballon que vous laisserez partir soudainement. L'air comprimé sortant par la valve produit une réaction qui projette

l'objet en arrière. Autre exemple classique de la propulsion à réaction, le tourniquet d'arrosage. Chacun a pu ainsi observer que le mouvement de rotation s'effectuait en sens inverse du jet d'eau, et que la vitesse de rotation du tourniquet était d'autant plus grande que la vitesse de l'eau était elle-même plus grande. La fusée, cependant, dépend, pour sa propulsion, d'un jet de gaz à très haute température et à très haute pression, engendré par la combustion d'un propulsif adéquat.

LES PROPULSIFS

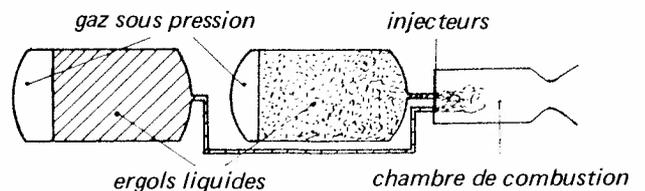
Le propulsif d'une fusée ordinaire consiste en un carburant et en un oxydant. Ce composé chimique nommé «propergol» se compose de deux ergols souvent liquides.

- le carburant (réducteur) tel le kérosène ou les alcools méthyliques.
- le comburant (oxydant) tel oxygène liquide ou acide nitrique.

Ces ergols emmagasinés sous pression dans deux réservoirs distincts sont injectés dans une chambre à combustion où l'allumage intervient immédiatement.

Types d'ergols :

Propergol liquide : constitué de deux ergols liquides. Ces ergols sont mis sous pression dans des réservoirs et injectés dans la chambre de combustion.



Par exemple : Oxygène + Hydrogène

Dans les fusées à propulsif solide, combustible et oxydant sont combinés en une substance compacte, appelée monergol lorsqu'un seul composé chimique joue à la fois le rôle de carburant et celui de comburant. Beaucoup plus simple, la fusée à combustible solide se construit et s'emmagasine avec une grande facilité. Toutefois, le mélange du combustible et du comburant étant réalisé avant l'allumage, la combustion ne s'arrête plus lorsqu'elle est amorcée et même avec de très gros pains, elle ne dure que quelques secondes. D'où l'importante accélération communiquée à l'engin et la quasi impossibilité de régler à convenance.

Cependant, en agissant sur les blocs de poudre, il est possible de faire varier le rendement et la performance des moteurs en fonction des besoins. D'où les formes très diverses que peuvent prendre les pains de poudre : celles-ci sont caractérisées par le coefficient de remplissage, c'est-à-dire le rapport du volume de la poudre au volume interne du propulseur.

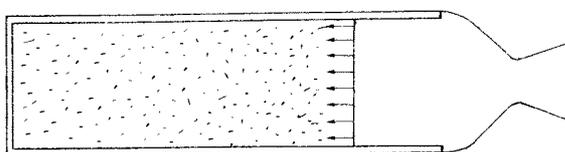
Forme des blocs :

Les meilleurs rendements sont obtenus pour des surfaces de

combustion qui demeurent constantes durant le temps de propulsion. Les principaux types de blocs sont :

• **blocs à combustion frontale** : ce sont des blocs cylindriques pleins inhibés extérieurement et brûlant « en cigarettes » :

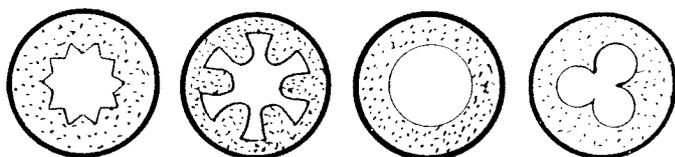
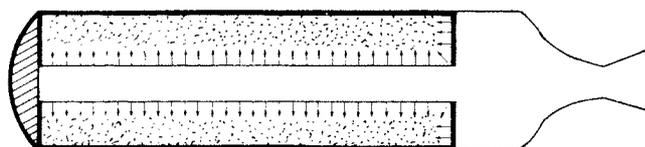
- le remplissage est maximum
- la poussée est faible
- le temps de combustion est long.



Bloc à combustion frontale.

• **blocs à combustion interne** : obtenus par une perforation longitudinale du pain de poudre.

- les gaz de combustion ne sont pas en contact avec la paroi du propulseur.
- la surface de combustion est grande.
- le temps de combustion est court.
- l'obtention d'une surface de combustion constante est possible.



Blocs à canal central

Lorsque la durée de fonctionnement est faible, mais que l'on désire une poussée, donc un débit élevé, la surface de combustion doit être grande par rapport au volume de la poudre et le coefficient de remplissage ne dépasse pas 0,6. Pour des temps de fonctionnement plus longs, la surface de combustion est faible par rapport au volume de la poudre et le coefficient de remplissage atteint 0,90.

• Pour augmenter la surface de combustion d'un bloc donné, on peut le perforer dans le sens de la longueur : les gaz circulent alors parallèlement à la surface de combustion.

PROPULSION ANAÉROBIE

Ce qui fait de la fusée un véhicule spatial unique, c'est que contrairement au moteur à réaction classique, qui puise son oxygène dans l'atmosphère, le propulseur de la fusée est un système autonome, fonctionnant en circuit fermé et capable d'opérer n'importe où, voire dans le vide. C'est même dans un tel milieu qu'il « rend » le mieux, puisque l'air non seulement freine sa lancée mais inhibe encore l'échappement de ses gaz.

En outre, contrairement à l'obus, la fusée perd du poids au fur et à mesure que son combustible s'épuise. Sa

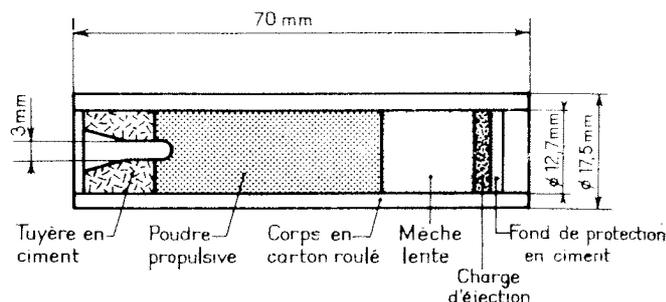
poussée étant à peu près constante, on peut donc dire qu'elle accélère graduellement pour atteindre son maximum de vitesse juste en fin de combustion. Un propulseur est de tous les moteurs, celui qui engendre la plus grande poussée par rapport à son poids.

LES MICRO-PROPULSEURS A RÉACTION

Plusieurs types de moteurs de performances différentes sont disponibles en deux versions :

- des propulseurs de croisière,
- des impulseurs (boosters) pour multi-étages.

Ces micro-propulseurs se présentent sous forme d'un cylindre en carton de 70 mm de long et de 17,5 mm de diamètre. Ce sont des moteurs à poudre du type monergol donc pouvant fonctionner sans apport extérieur d'oxygène.

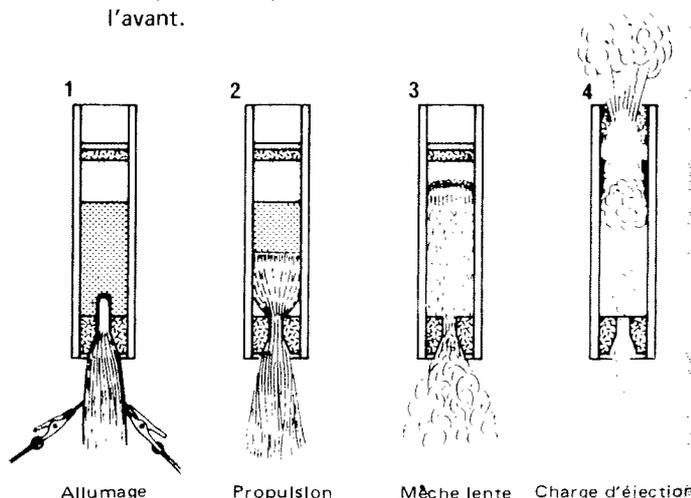


Coupe du propulseur

Propulseur de croisière :

Principe de fonctionnement : fixons avec précaution un moteur sur un étau (veiller à le maintenir solidement sans écraser l'enveloppe en carton). Une fois la distance de sécurité observée, effectuons la mise à feu. Nous observons :

- une phase de combustion : les flammes sortent par l'arrière
- une phase d'arrêt : avec fumée cependant
- une phase d'explosion : avec sortie de flammes vers l'avant.

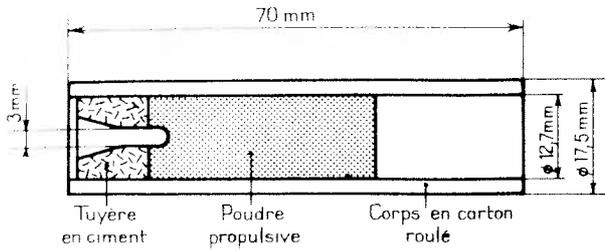


Fonctionnement du propulseur

Destiné aux fusées mono-étage, ce moteur contient une charge qui propulse la fusée, ainsi qu'une mèche lente qui, enflammée en fin de propulsion, brûle durant la phase balistique, permettant à la fusée de continuer sur son élan pour atteindre son point maximum, avant de mettre à feu une troisième charge, dite charge d'éjection.

Cette dernière dégage à l'intérieur du corps de la fusée des gaz brûlant sous pression assurant l'éjection du système de récupération ou la rupture, par combustion, d'un fil retenant ce système de récupération.

Impulseur :



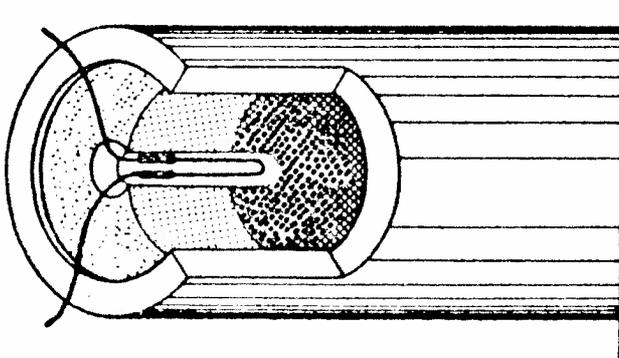
Allumage :

La mise à feu du propulseur s'effectue à l'aide d'un allumeur électrique.

Il consiste en un fil Nickel-Chrome de 3 mm de diamètre, de 15 à 20 Ω/m, enduit ou non d'une couche superficielle de poudre. Il est introduit à l'intérieur du propulseur par la tuyère et doit être pressé contre la poudre.

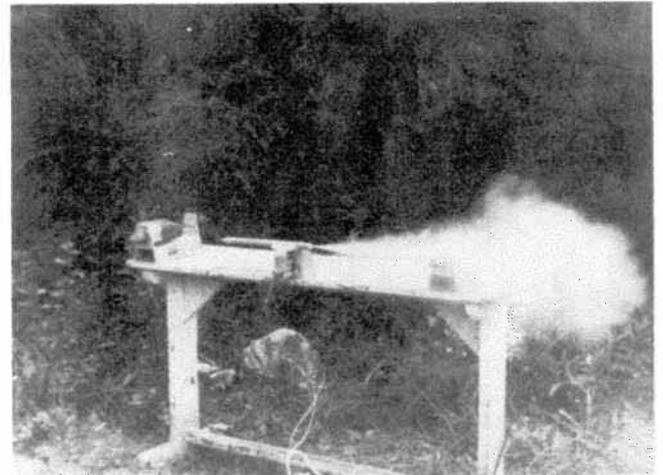
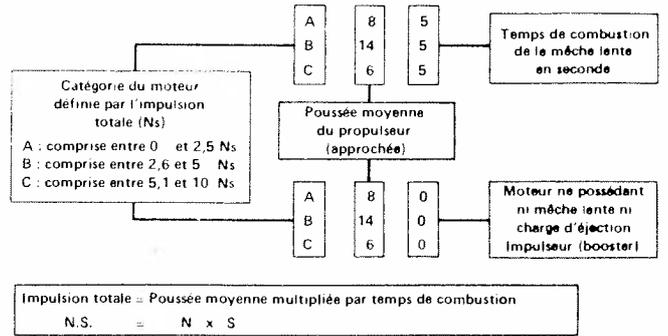
Branché aux bornes d'une batterie (12 V), l'allumeur porté au rouge enflamme la poudre.

Une batterie chargée peut permettre un millier de lancements, mais il est préférable de la recharger après chaque campagne de lancements.



Remarque : Dans les micro-propulseurs le type de combustion est axial (en cigarette). La poudre brûle à partir de la tuyère jusqu'au fond du propulseur. Toutefois, en introduisant une baguette de balsa par la tuyère on constate que celle-ci s'enfoncé plus ou moins suivant le type de moteur. Il est intéressant de noter que cela influence directement les performances : plus le canal est profond, plus la chambre de combustion est grande, donc plus la poussée est importante, mais plus elle est de courte durée.

Codification :



Sécurité :

Après la mise à feu, les jets de gaz propulsifs issus de la tuyère, puis l'explosion de la charge d'ouverture rendent dangereux l'axe du propulseur à 30 cm de part et d'autre de celui-ci.

On doit disposer d'une clé de sécurité dans le circuit d'allumage pour empêcher l'allumage intempestif du propulseur au cours de sa manipulation.

De par sa conception et la constitution de la poudre, le propulseur présente un maximum de sûreté d'emploi. Les chocs, l'écrasement, la chaleur, ne doivent pas provoquer son allumage spontané. En revanche, ces contraintes peuvent modifier la structure du bloc de poudre propulsive ou de la tuyère en ciment (lésions, cassures) et empêcher un bon déroulement des séquences : éjection de la tuyère, perçage du tube, mauvaise combustion...

Pour pallier à ces inconvénients, les propulseurs ayant subi ces contraintes doivent être détruits en les plongeant dans l'eau quelques minutes.

La Construction

LE CORPS

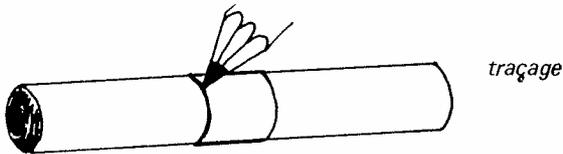
Cylindrique, ne présentant aucune déformation ou aspérité, il est réalisé dans un tube en carton ou en matériau rigide et léger, coupé aux dimensions désirées.

Il peut être également roulé (carton, rhodoïd...).

Le diamètre intérieur du tube doit être égal au diamètre extérieur du propulseur, soit 17,5 mm. Si le diamètre est plus grand, il faut prévoir des entretoises assurant le centrage et l'étanchéité.

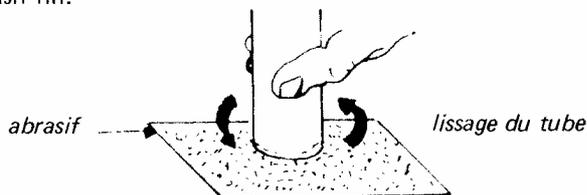
Voici comment obtenir le corps de la fusée :

— Mesurer la longueur voulue et après avoir tracé au crayon une ligne bien droite autour du tube, en s'aidant d'une bande de papier, découper ensuite au cutter ou avec une scie à métaux à denture fine.



— Tout en faisant tourner le tube, découper légèrement le long de la ligne. La lame du cutter doit être bien affûtée. Procéder par légères pressions sur plusieurs tours, sans jamais « forcer » jusqu'à ce que le tube soit complètement sectionné.

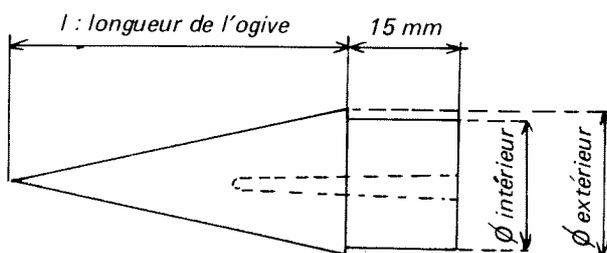
Afin que les extrémités du corps de la fusée soient bien droites et sans bavure, on peut les lisser sur du papier abrasif fin.



LA POINTE

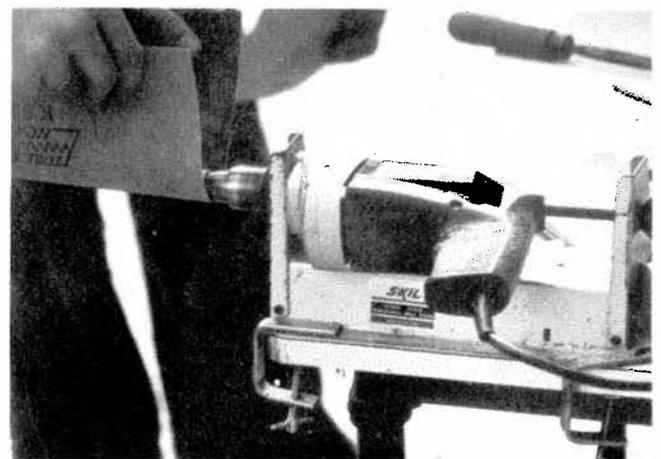
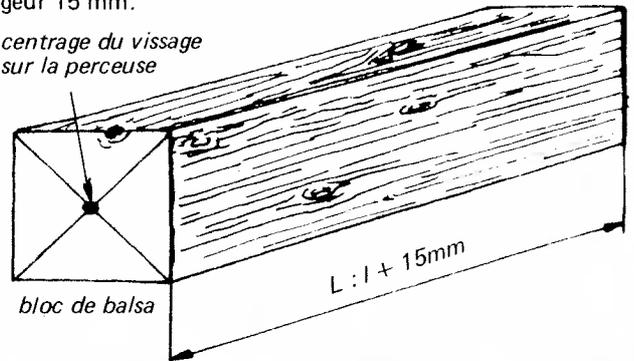
Elle doit glisser sans se coincer dans le corps de la fusée. Elle est aisément réalisée en tournant un bloc de balsa à l'aide d'une perceuse ordinaire montée sur un bâti horizontal. Une vis à bois de gros diamètre, dont la tête a été préalablement coupée, est introduite dans le mandrin. Le bloc de balsa préalablement centré est vissé dessus.

Dégrossir le cône à l'aide d'une râpe à piqure fine en la maintenant fixe par rapport au bâti et à la table. On utilise ainsi la technique du tour à bois (très simplifiée).



Terminer au papier verre moyen, puis fin (\varnothing externe 20 mm pour tube standard). Former le cylindre d'emboîtement à la lime plate ou à l'aide d'une bande de papier verre de largeur 15 mm.

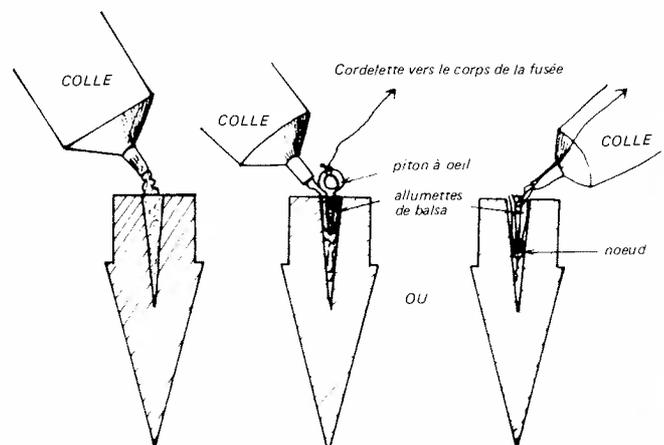
centrage du vissage sur la perceuse



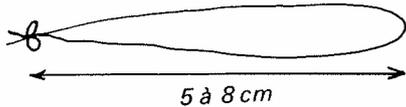
Pour le tournage, éviter le balsa dur.

La partie cylindrique est ajustée pour obtenir un frottement doux dans le tube constituant le corps de la fusée. Cette ogive ne doit pas être perdue. Il est donc indispensable de la relier au corps de la fusée :

a) Introduire une bonne quantité de colle dans le trou occasionné par la vis à bois.



b) Positionner un piton à œil en le calant avec des bûchettes de balsa ou bien,



faire une boucle de ficelle avec un gros nœud : introduire ce nœud dans le trou de l'ogive puis obstruer le trou avec des bûchettes de balsa en repoussant le nœud le plus loin possible.

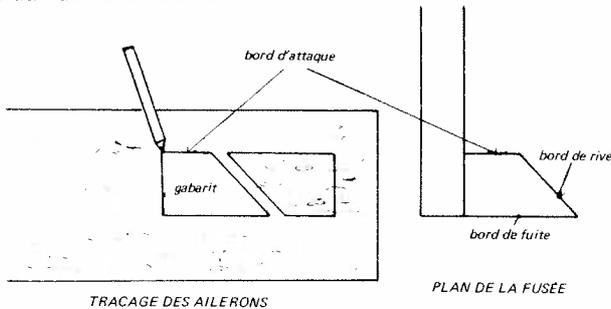
c) Si nécessaire, remettre de la colle.

L'EMPENNAGE

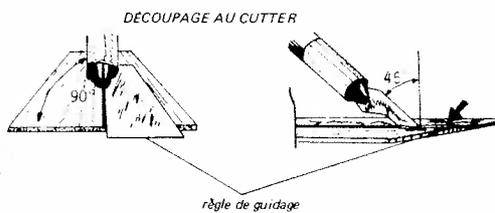
Les ailerons sont généralement exécutés dans une mince feuille de balsa dur (20 ou 30/10).

a) **Tracage** : Commencer par tracer sur du papier fort ou sur du carton un patron de la même grandeur (échelle 1). Découper ce patron, puis le positionner sur la feuille de balsa. Tracer alors le contour à l'aide d'un crayon sans appuyer.

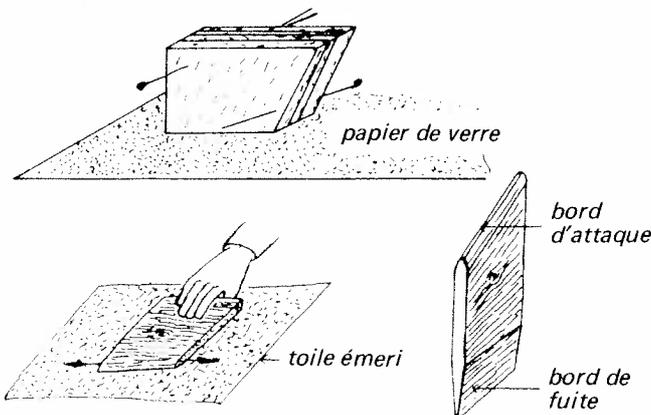
S'assurer que les bords d'attaques des ailerons sont bien parallèles au fil du bois pour donner un maximum de solidité aux ailerons lors du vol.



b) **Découpage** : se servir d'une règle pour guider le cutter. Celui-ci sera tenu bien droit, avec un angle de coupe de 45°.

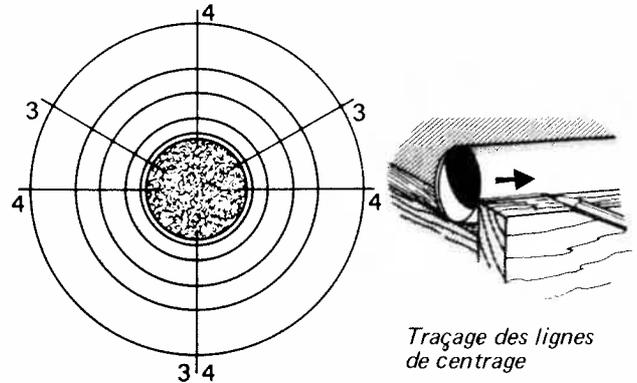


c) **Égalisation** : Il est indispensable que tous les ailerons soient de mêmes dimensions. Pour cela, il faut poncer tous les bords des ailerons ensemble. Les ailerons sont maintenus les uns contre les autres par des épingles.



d) **Profilage** : La pointe de la fusée lui permet une meilleure pénétration dans l'air. On peut améliorer cette pénétration en donnant aux différents bords des ailerons un profil aiguisé.

e) **Positionnement des ailerons** : Centrer le tube sur le cercle convenable du gabarit puis tracer sur le corps les repères correspondants (en regard des lignes marquées 4 pour 4 ailerons et 3 pour 3 ailerons).



Gabarit de positionnement des ailerons

Pour tracer les lignes de centrage le long du corps, s'appuyer contre une règle carrée. L'arête de cette règle guidera le crayon.



f) **Collage des ailerons** :

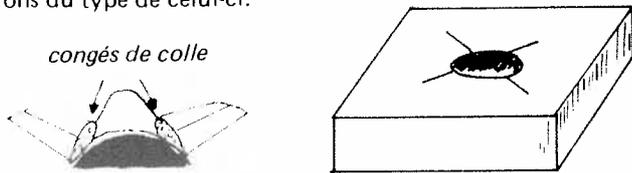
- appliquer un trait de colle au bord à coller de l'aileron et sur le corps de la fusée, en suivant les lignes du centrage.
- Laisser «prendre» la colle (préséchage) avant d'appliquer fermement l'aileron sur le corps.
- Le soin apporté au collage influencera la stabilité en vol.
- Employer de préférence une colle cellulosique car elle sèche plus vite.
- Maintenir la fusée verticale pendant le séchage.



— Pour renforcer le collage, appliquer éventuellement un congé de colle sur deux ailerons, en laissant la fusée sécher horizontalement.

Cette opération doit s'effectuer lorsque le premier collage est complètement sec et en prenant soin de ne pas faire simultanément des congés à un même aileron, le dissolvant de la colle pouvant alors dissoudre la colle préalablement sèche et décoller l'aileron.

— L'esprit inventif des animateurs permettra certainement de mettre au point des systèmes de centrage des ailerons du type de celui-ci.



Bloc de polystyrène découpé au fil chaud

LIAISON CORPS - PARACHUTE - OGIVE

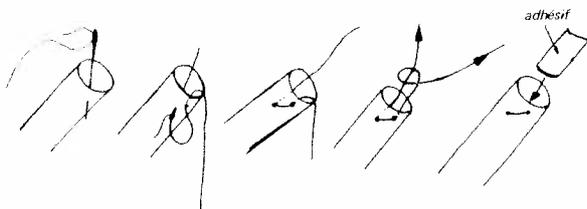
L'amortissement du choc créé principalement par l'éjection du parachute et du cône est assuré par une cordelette de longueur égale à deux fois celle du corps, soit par un caoutchouc. Ce cordon amortisseur doit être particulièrement bien fixé au corps.

Deux techniques sont possibles :

1) - Monter la cordelette sur une aiguille, puis percer le tube à 2 cm du bord supérieur par l'intérieur de celui-ci. Sortir l'aiguille et une partie de la cordelette.

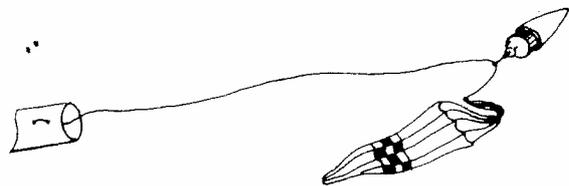
- Repercer le tube à 1 cm au dessus du premier trou. Sortir l'aiguille et un petit morceau de cordelette de l'intérieur du tube.

- Faire un nœud avec les 2 bouts de cordelette.



Fixation du corps au parachute

- Recouvrir éventuellement ce nœud et les trous avec de l'adhésif pour éviter une brûlure provoquant une rupture du cordon.

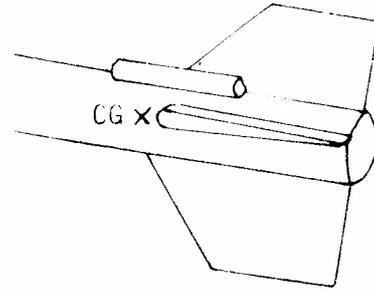


2) Enduire la ficelle de colle ininflammable (vinylique), l'introduire à l'intérieur du tube et la fixer tout le long du corps.

MONTAGE DU TUBE GUIDE (pour rampes « tiges »)

Il peut être réalisé en enroulant une bande de papier (sur la tige de la rampe de lancement) soit en découpant un chaluveau (paille). Sa longueur est d'environ deux fois le diamètre de la fusée.

Placé entre deux ailerons à hauteur du centre de gravité, il est soit collé, soit fixé au tube par du ruban adhésif.



FINITION

La peinture va déterminer l'aspect du modèle sans oublier qu'elle intervient sur la traînée de la fusée.

Avant de réaliser cette opération, il faut s'assurer que les congés de colle sont lisses et ne comportent aucune bulle d'air et que les éléments en balsa sont lisses.

Pour cela, on peut appliquer une couche d'apprêt ou de vernis qui bouchera tous les pores du balsa. Une fois poncée au papier de verre fin, la fusée doit posséder un bon état de surface, sinon, l'opération doit être répétée jusqu'à obtenir le « fini » désiré.

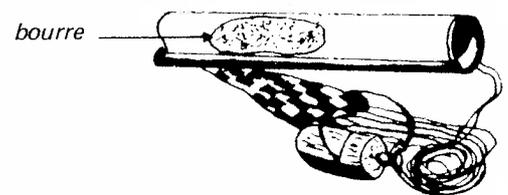
Pour peindre, on peut utiliser le pinceau, mais de préférence la pulvérisation (pistolet ou bombe).

- peinture au pinceau : diluer les couches et éviter de passer plusieurs fois au même endroit.
- peinture par pulvérisation : les couches de peinture doivent être fines et régulières.

Dans les deux cas, un séchage complet est indispensable entre chaque couche.

MONTAGE DE LA BOURRE ET DU MOTEUR

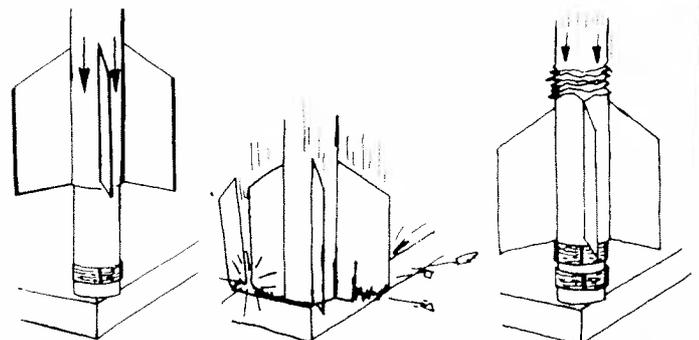
a) Mettre la bourre de protection (coton) sans la tasser, au fond du tube.



b) Le moteur doit être rentré à force afin que ce soit le parachute qui soit éjecté par la pointe, et non le moteur par l'arrière de la fusée.

Du ruban adhésif entouré sur le moteur permet de le coincer suffisamment dans le tube.

En l'enfonçant, attention aux ailerons et au tube



Le Parachute

Il ne suffit pas de propulser la fusée à une grande altitude ! Passé la culmination, elle va redescendre et il est préférable de la récupérer en bon état d'une part, et nécessaire d'assurer la sécurité des expérimentations et spectateurs, d'autre part. Il nous faut donc embarquer dans l'espace un système ralentisseur qui sortira en altitude et descendra en douceur jusqu'au sol.

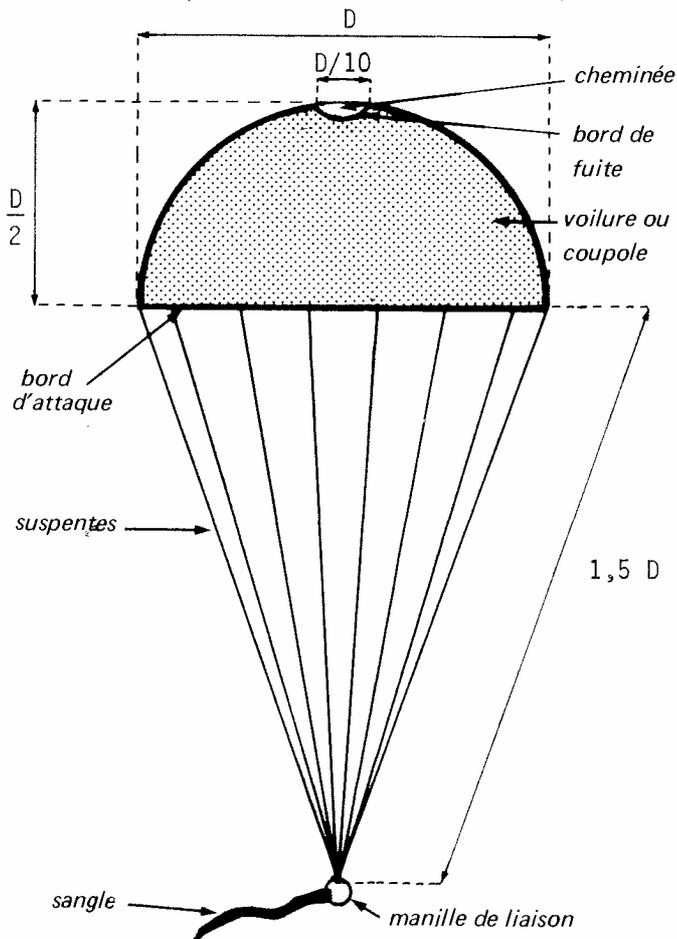
Telle est la fonction du parachute : tomber, mais le moins vite possible. Cette fois-ci, nous utiliserons l'effet qui nous dérangeait lors de la montée de la fusée : la résistance de l'air à l'avancement.

Nous chercherons à avoir un véhicule le plus freiné possible : grande surface, frottement important, forme peu profilée. Tous ces défauts aérodynamiques sont les qualités du parachute.

Il est possible d'imaginer de nombreux systèmes dont nous ne présenterons que les plus couramment utilisés.

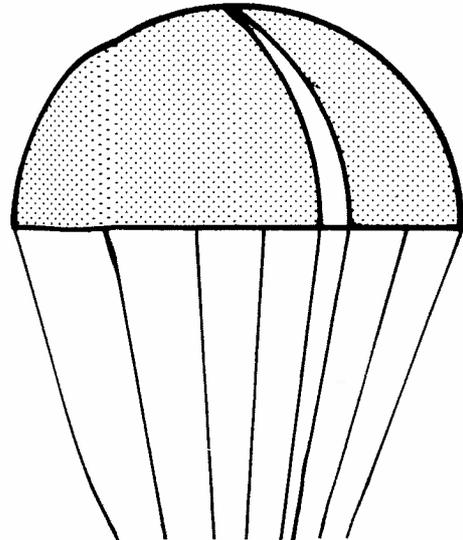
LE PARACHUTE HÉMISPHERIQUE

Longtemps utilisé par les parachutistes, il est très efficace (vitesse de descente très faible). Pour éviter des chocs importants lors de son ouverture, susceptible de détruire les matériaux, il doit être ouvert à de faibles vitesses. Pour obtenir une voilure bien gonflée, il faut assurer l'écoulement de l'air par une cheminée à l'extrémité supérieure.



Parachute hémisphérique

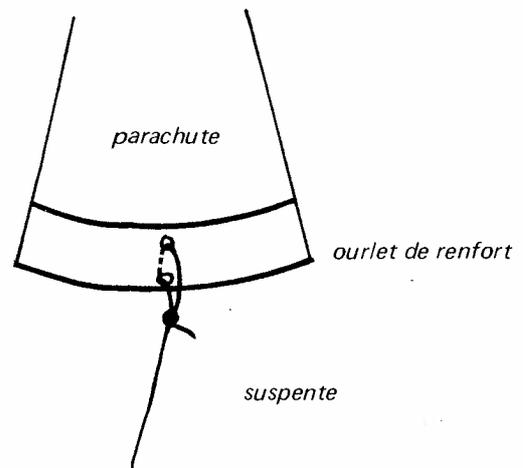
Les variantes modernes de ces parachutes remplacent cette cheminée par des fentes qui permettent au parachutiste de mieux guider sa descente.



Parachute à fentes

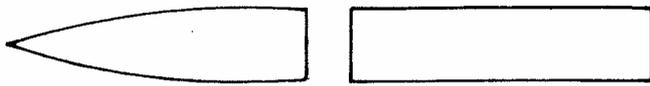
RÉALISATION DU PARACHUTE

— Réalisé dans un matériau souple, feuille fine de matière plastique ou de tissu.



Fixation d'une suspente

— La demisphère n'étant pas développable, le parachute sera réalisé à partir de bandes ou de fuseaux. Sa fabrication à partir d'un cercle est possible et plus pratique mais, même gonflé par l'air, il fera des plis que l'on peut réduire en augmentant le nombre de suspentes.

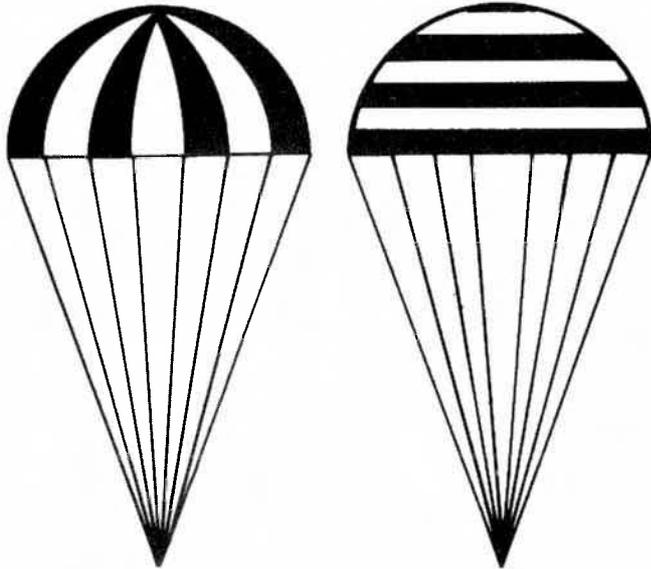


- il faut leur assurer une bonne fixation sur une toile solide.
- une fois leurs points de fixation définis, renforcer la toile en ces points (ourlet cousu, ruban adhésif).
- percer la toile en 2 points proches et nouer la suspente autour de ces 2 trous.

LE PARACHUTE CRUCIFORME

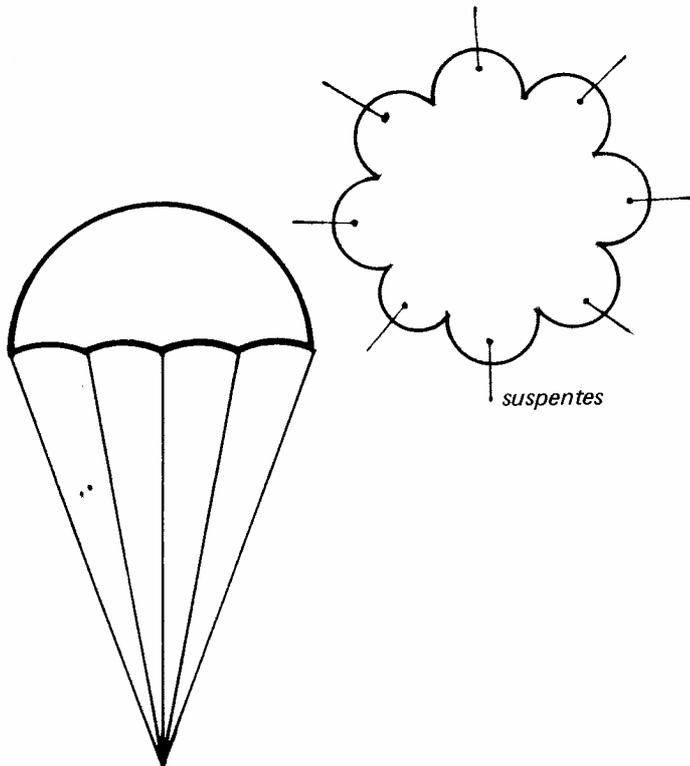
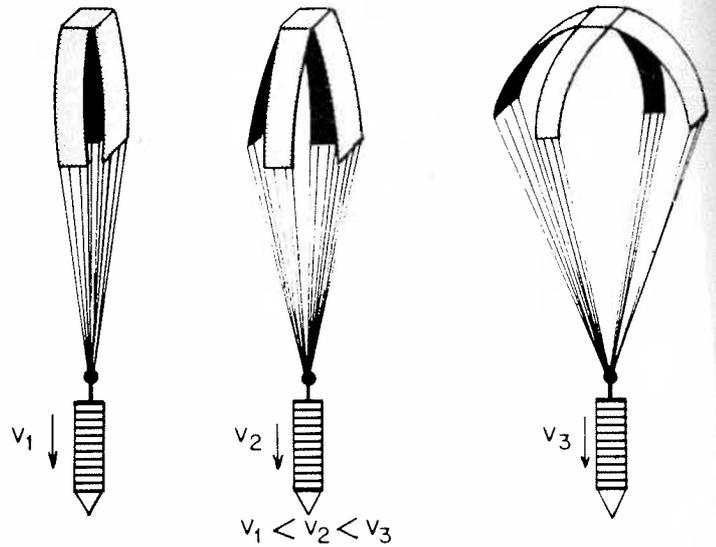
Moins efficace mais plus résistant que le parachute hémisphérique, le parachute cruciforme permet des ouvertures à grande vitesse et sa forme évolue au fur et à mesure qu'il ralentit la fusée. Sa réalisation est d'une grande simplicité.

déformation du parachute cruciforme en fonction de la vitesse

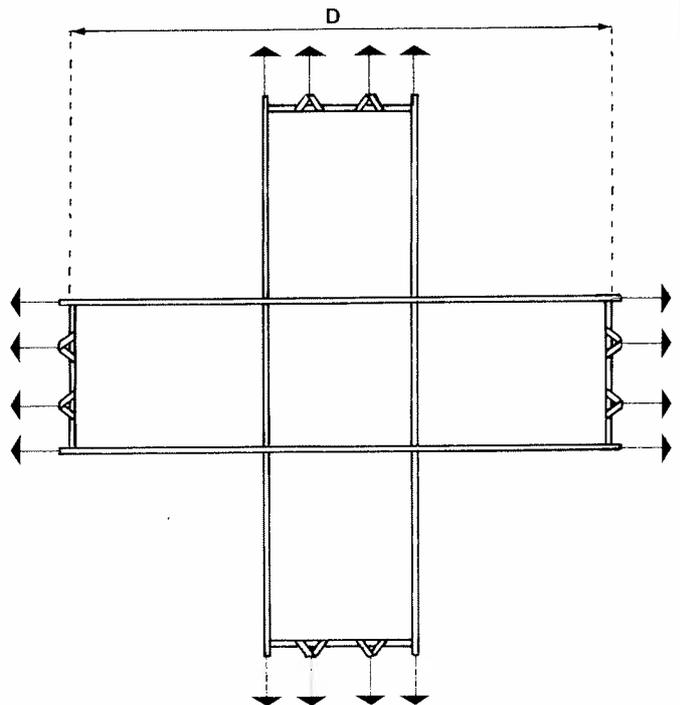


Parachute à fuseaux

Parachutes à rubans



- Les suspentes : elles doivent être :
 - exactement de la même longueur (1 fois 1/2 le diamètre).
 - fixées symétriquement sur le parachute.
 - leur nombre est égal ou supérieur à 6 et elles sont positionnées régulièrement autour du parachute.



LA BANDEROLE

Pour les moins courageux, ou pour ceux qui disposent de petits terrains de lancement, il est possible de faire encore plus simple.

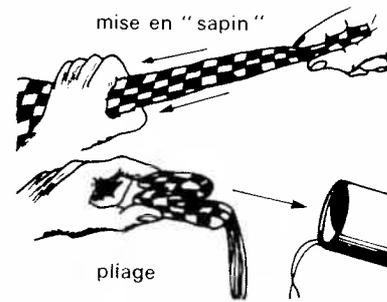
Une simple bande de toile découpée dans une feuille fine de matière plastique ou de tissu.

La banderole a des dimensions seulement limitées par le volume du corps de la fusée. La fixation de la suspenste est identique à celle du parachute.



PLIAGE DU PARACHUTE OU DE LA BANDEROLE

- Démêler les suspentes
- Plier le parachute « en sapin », en deux, plusieurs fois de suite puis le rouler de manière compacte.
- Cette opération doit s'effectuer en prenant soin :
 - de toujours laisser la pointe du parachute ou l'extrémité de la banderole à l'extérieur du pliage.
 - de ne jamais enrouler les suspentes autour du parachute.
- Introduire le parachute dans le corps de la fusée.
- Mettre en dernier lieu les suspentes et les sangles.
- Le parachute ne doit être introduit que quelque temps avant le lancement pour éviter qu'il prenne des plis empêchant son ouverture.



LES ESSAIS

Il est préférable avant le vol d'essayer l'efficacité du système ralentisseur. Dans un premier temps, un lest de même masse que la fusée la remplacera. L'ensemble sera lâché d'un étage ou lancé le plus haut possible. L'ouverture du parachute doit être quasi-instantanée ; le parachute stable, sans trop tourner et les suspentes toutes tendues.

Si cet essai est positif, la fusée sera mise en configuration de descente, parachute sorti.

Attention, même pour les essais, bien respecter les conseils de pliage. Si vous disposez d'un lieu de lâcher suffisamment élevé et de hauteur connue (pour la mesurer simplement, voir le chapitre mesure d'altitude), vous pourrez estimer la vitesse moyenne de descente en chronométrant le temps de descente.

CONSEIL AU LANCEMENT

Le choix du système ralentisseur dépend beaucoup du site de lancement et des conditions météorologiques. En effet, plus un parachute sera efficace, plus la fusée descendra doucement et donc plus le vent l'emportera loin de la rampe. Au constructeur d'évaluer le compromis le plus intéressant sans oublier que la sécurité exige la présence de ce système.



A.N.S.T.J. : 17, Avenue Gambetta – 91130 RIS ORANGIS

Le Lancement

Une campagne de lancement, c'est aussi un spectacle, avec sa part d'humain, ses petits drames et ses joies profondes. Sur l'aire de lancement, à mesure que la fébrilité s'estompe, le suspense gagne les spectateurs. Ici, les minutes et les secondes semblent un peu plus longues qu'ailleurs car qu'on ne s'y trompe pas : toutes proportions gardées, chaque lancement aura bien l'allure de celui d'un vaisseau spatial auquel nous ont habitués le cinéma et la télévision !

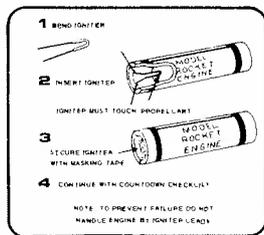
Aussi, tout autant que la construction, les systèmes de mise à feu et rampes de lancement revêtent-ils une importance cruciale dans la réussite ou l'échec d'un lancement. D'où la nécessité d'apporter un soin tout particulier lors de leur réalisation et de leur mise en place.

LES SYSTEMES DE MISE A FEU

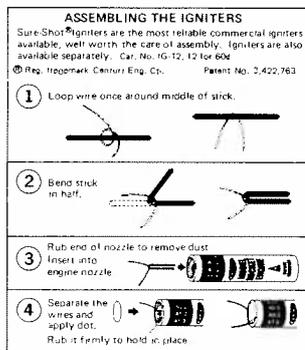
L'allumeur :

Il est constitué essentiellement par un fil de nickel-chrome de 2/10 ou 3/10 de mm de diamètre.

Ce fil est enduit de poudre dans sa partie centrale, type Estes, ou est moulé autour d'un petit morceau de cuivre enduit de poudre type Centuri.



Estes



Centuri

Pour effectuer la mise à feu du moteur, il faut faire passer un courant électrique dans ce fil de nickel-chrome pour le chauffer au rouge.

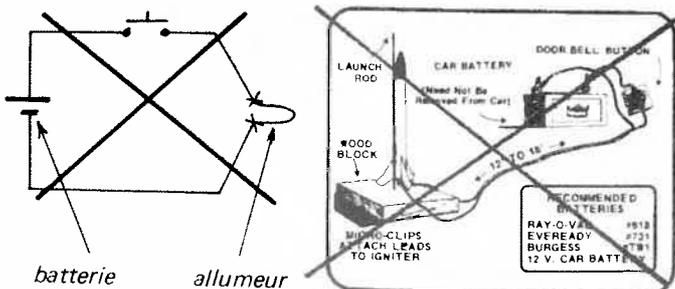
La batterie :

Une pile plate de 4,5 volts **neuve** peut assurer la mise à feu de quelques moteurs mais il faut lui préférer une batterie de moto ou d'auto de 6 volts ou 12 volts. Les batteries cadmium nickel utilisées en radio-commande conviennent aussi. Le voltage importe peu c'est le nombre d'ampères débités qui est important. (Résistance de l'allumeur 1,25, courant nécessaire au rougissement suffisant 3 Ampères).

Le boîtier de commande :

Il nous faut, à l'aide de la batterie, faire rougir l'allumeur placé dans le moteur, **en toute sécurité**, c'est-à-dire au moment voulu par le responsable du tir, et à ce moment-là seulement.

Il nous faut donc éviter le montage ci-dessous (qui est pourtant décrit dans la notice des moteurs ESTES).

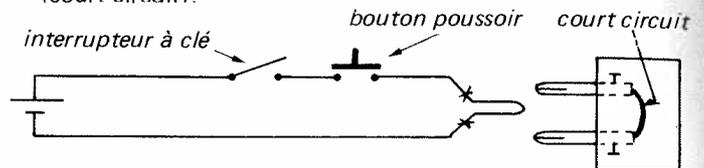


batterie

allumeur

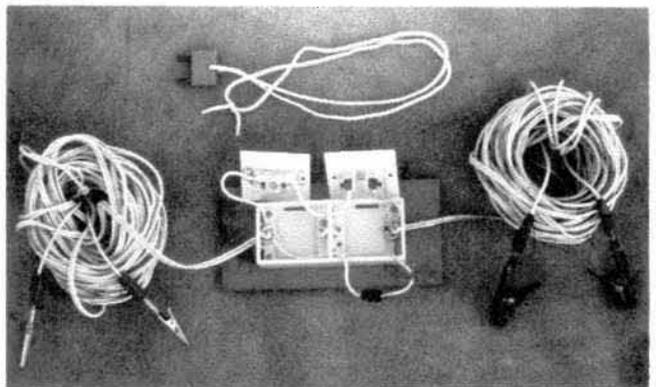
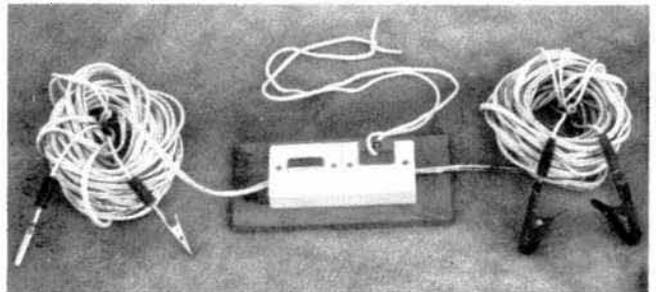
Il faut obligatoirement ajouter à ce système une **sécurité** dont le responsable du tir garde la **clé**, clé qu'il ne donne que lorsque la sécurité est respectée (voir le chapitre consacré à la sécurité).

Cet interrupteur de sécurité peut être constitué par un contact à clé récupéré sur une automobile ou un téléviseur, par un interrupteur spécial acheté dans le commerce, ou, modèle économique, par une prise de courant et sa fiche dont les bornes ont été reliées par un conducteur électrique (court-circuit).



La fiche ou la clé étant retirée, le courant ne doit absolument pas passer dans le circuit (il faut se méfier de certains interrupteurs dont la clé peut se retirer lorsque le circuit est fermé).

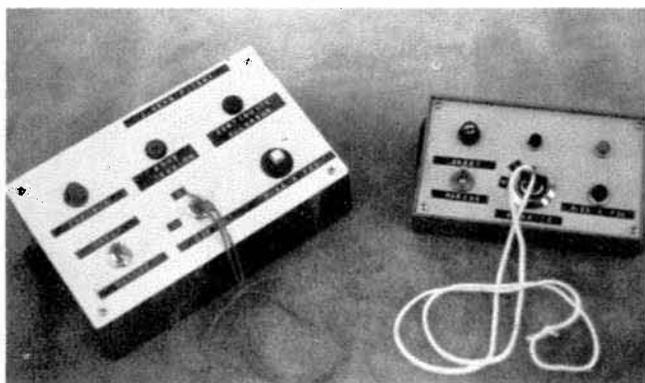
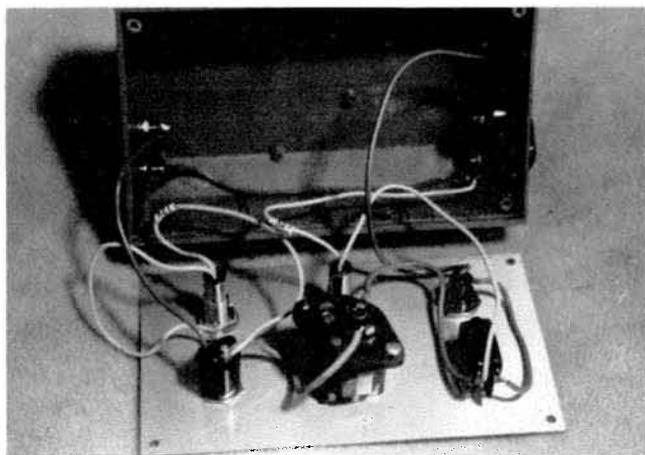
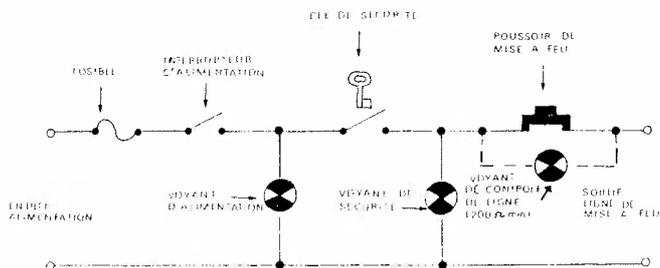
Ce dispositif rudimentaire de mise à feu peut être amélioré à l'aide de voyants lumineux de 12 volts. On peut aussi y ajouter un fusible et un interrupteur général.



Boîtier d'allumage comportant une clé de sécurité.

L'ensemble est intégré dans un boîtier qu'il est facile de réaliser en bois avec une façade en aluminium (ou acheter un coffret destiné à recevoir des montages électroniques).

Prévoir une arrivée et un départ du courant utilisant des fils allongés ce qui vous permettra d'utiliser vos câbles déjà fabriqués (ou de vous dépanner rapidement en cas d'ennuis).



Boîtiers de mise à feu ouverts et fermés.

Défauts de fonctionnement :

a) le voyant d'alimentation ne s'allume pas : voir l'alimentation (fiches, prises, fil, fusible).

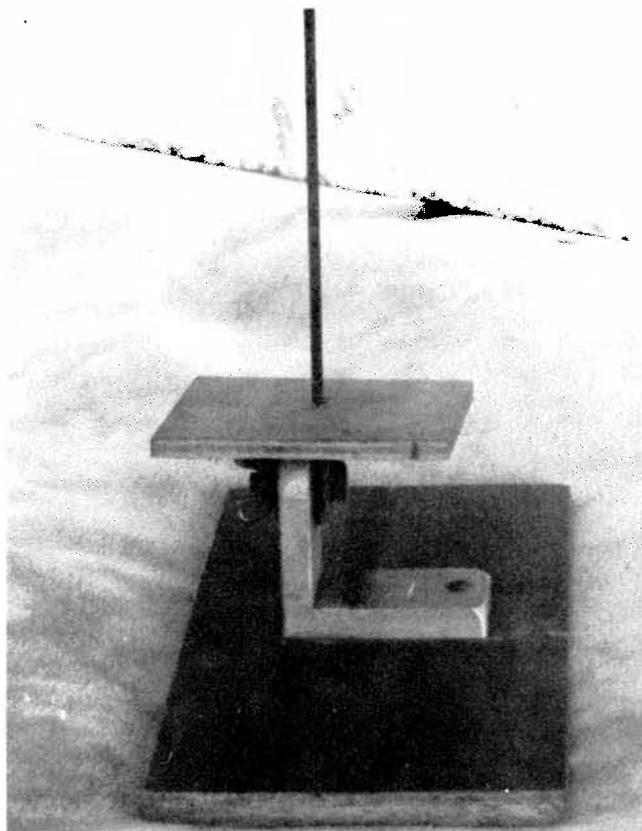
b) le voyant de contrôle ligne ne s'allume pas : voir le circuit vers l'allumeur (fiches, prises, câbles, pinces crocodiles reliant le câble à l'allumeur).

c) La fusée n'est pas partie après avoir appuyé sur le poussoir de mise à feu, les voyants d'alimentation et de sécurité sont allumés le voyant de contrôle ligne est éteint, voir l'allumeur ; si celui-ci est intact, voir les pinces « crocodile » : les nettoyer soigneusement, après avoir retiré la clé de sécurité.

d) La fusée n'est pas partie après avoir appuyé sur le poussoir de mise à feu, tous les voyants sont allumés : vérifier que les pinces « crocodile » ne soient pas en court-circuit.

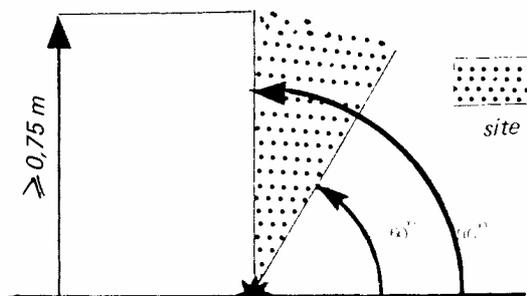
LA RAMPE DE LANCEMENT

• Le système le plus simple est constitué par une corde à piano de 30/10 de mm de diamètre plantée dans une planche support. Le tube guide placé le long de la fusée est enfilé sur cette tige rigide et droite qui doit avoir une longueur d'environ 75 cm.

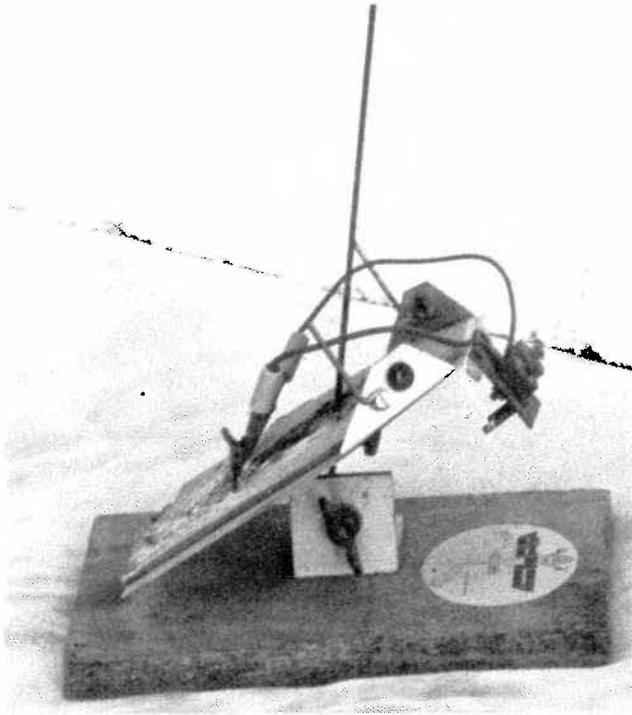


Petit perfectionnement, qui permet d'incliner la rampe lorsque le vent souffle : comme le montre la photo, articulation de la tige sur une cornière par l'intermédiaire d'une vis et d'un écrou papillon, et système pare-flammes.

Angle d'inclinaison : ou site, compris entre 60° et 90° (voir croquis)



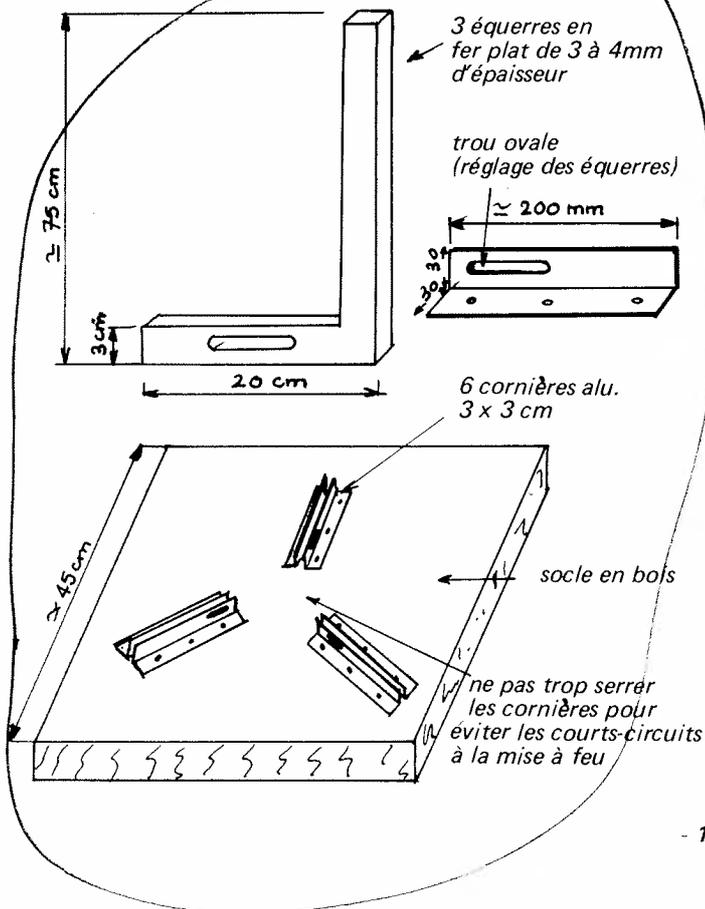
Système sophistiqué : même principe que ci-dessus mais avec un déflecteur de gaz d'échappement incliné et système de branchement de l'allumeur incorporé permettant d'utiliser un câble électrique muni de ficelles mâle et femelle.



- Ces rampes de lancement présentent un inconvénient : elles obligent à munir les fusées d'un tube guide, avec les conséquences suivantes :
 - augmentation du maître couple
 - création d'une traînée parasite dissymétrique
 - création de frottements au départ.

On peut remédier à ces inconvénients en utilisant 3 ou 4 guides à l'intérieur desquels la fusée glisse à frottement très doux (comme pour les grandes sœurs expérimentales).

Ces guides seront fabriqués en métal (fer plat de 30 ou 40/10 de mm) ou même en contreplaqué de 6 ou 8 mm d'épaisseur.



AIRE DE LANCEMENT, ZONE DE SAUVEGARDE

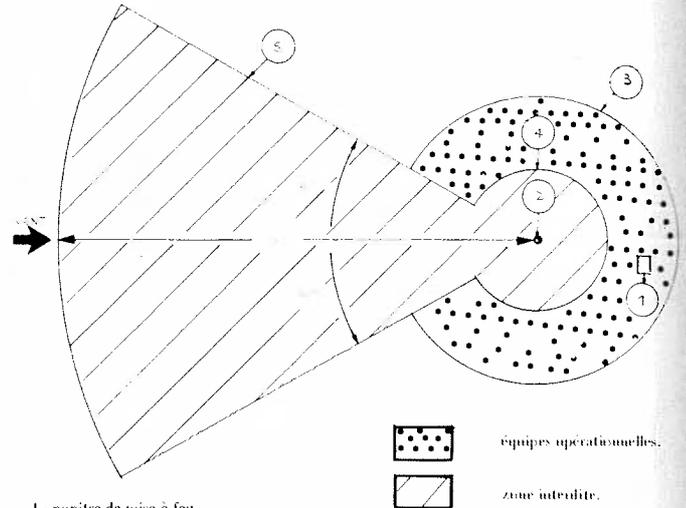
L'aire de lancement doit être une surface plane et dégagée d'au moins 50 m de côté (terrain de football).

Le gabarit de lancement est établi le plus possible dans le vent, en fonction des impératifs de sauvegarde en cas de retombée en chute libre de la pointe ou du moteur.

Le secteur interdit d'avoir :

- une ouverture de 30° de part et d'autre du gisement de la rampe ;
- une longueur (L) fonction du moteur.

Pendant chaque lancement, ce gabarit est interdit à toute personne.



COMPTE A REBOURS

Un compte à rebours minimal de 10 s doit être effectué pour prévenir les spectateurs et les équipes de lancement.

INCIDENT

En cas de non allumage ou de chute en sortie de rampe, personne ne doit toucher une fusée avant un délai correspondant au fonctionnement de la charge d'éjection.

Le Vol de la Fusée

3... 2... 1... ZÉRO.

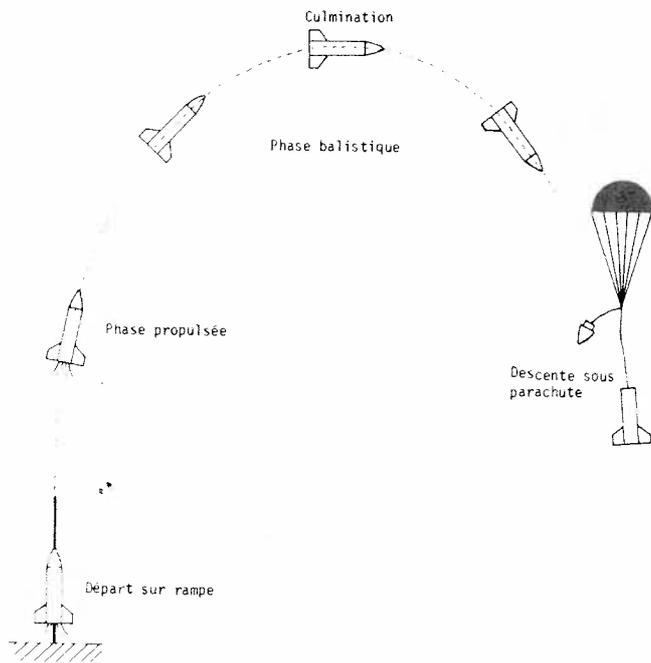
Et la fusée s'élève majestueusement dans le ciel... Une fusée vole, c'est incontestable, mais comment ? Comme tout véhicule, elle possède un moteur qui la propulse. Mais, pour la micro-fusée, il n'est pas question de chauffeur qui la dirige. Elle doit se guider seule, ou presque, tout au moins sans intervention humaine.

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

Le but de la fusée étant de transporter une expérience le plus haut possible, ses **performances en poids et altitude** vont nous intéresser tout particulièrement. Il va donc falloir lui donner des caractéristiques telles qu'elle aille vite et loin. Ce sont ces deux préoccupations que nous aurons dans la conception de la fusée :

- sa **stabilité**, qui lui assurera une bonne trajectoire,
- ses **performances** qui la rendront efficace,

LES PHASES DE VOL

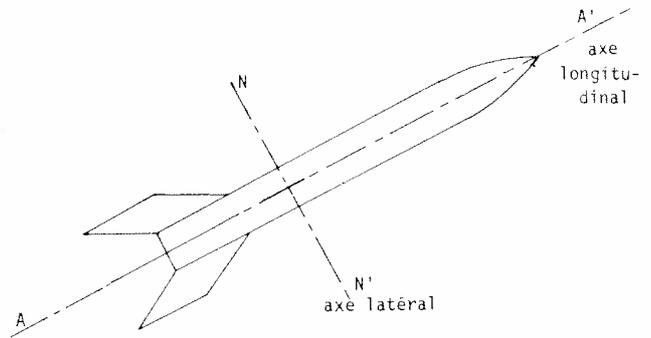


LES FORCES EN PRÉSENCE

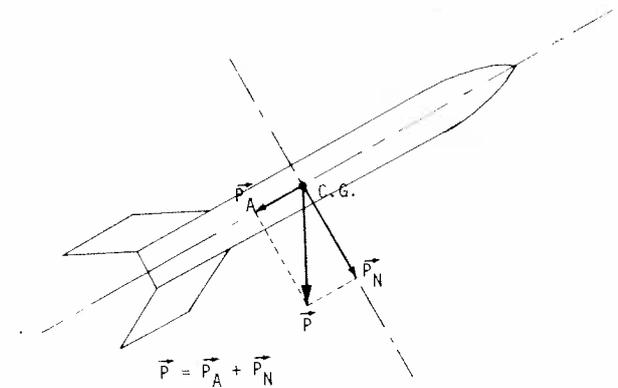
Trois forces contribuent au déplacement de la fusée :

- la **poussée** du moteur,
- le **poids** de la fusée,
- la **résistance de l'air** à l'avancement de la fusée.

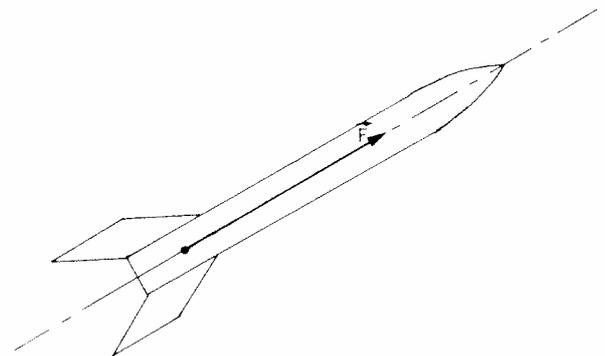
Ces forces peuvent se décomposer suivant les axes longitudinal et latéral de la fusée.



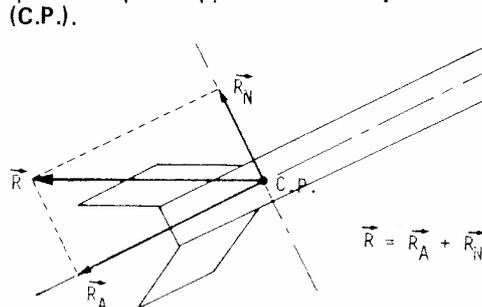
Le poids s'applique au centre de gravité (C.G.) et est dirigé verticalement.



La poussée, si le propulseur est correctement positionné, s'applique suivant l'axe longitudinal.



La résistance de l'air à l'avancement de la fusée, qui s'applique en un point appelé «centre de poussée aérodynamique» (C.P.).



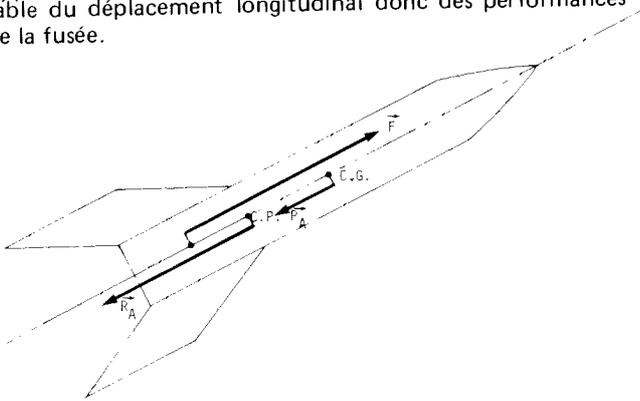
COMPOSITION DES FORCES

Suivant l'axe longitudinal : les performances.

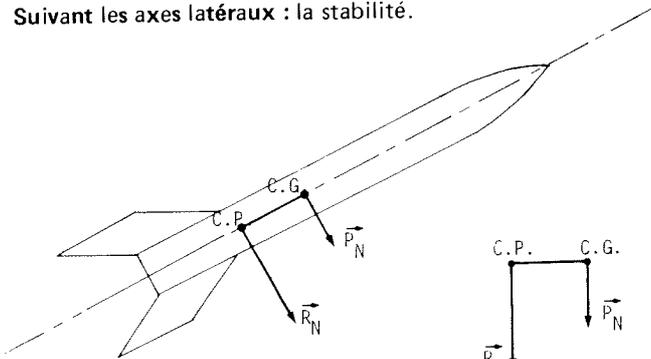
Les trois forces \vec{F} , \vec{P}_A et \vec{R}_A sont colinéaires et peuvent s'ajouter :

$$\vec{F} + \vec{P}_A + \vec{R}_A = \vec{T}_A$$

\vec{T}_A résultante longitudinale des forces sera la force responsable du déplacement longitudinal donc des performances de la fusée.



Suivant les axes latéraux : la stabilité.



Les deux forces latérales \vec{P}_N et \vec{R}_N normales à la fusée vont comme pour une balance, faire tourner la fusée autour d'elle-même.

Le mouvement de rotation résultant sera significatif de la stabilité de la fusée.

SUR QUELLES FORCES AGIR ?

- La poussée du moteur : un seul moyen : changer le type de moteur ce qui modifiera les performances mais n'influera pas sur la stabilité :
- Le poids : défini avant le lancement, il ne varie durant le vol que de la masse de poudre brûlée et éjectée pendant la propulsion.
- La résistance de l'air : c'est surtout grâce à elle que nous allons pouvoir améliorer performances et stabilité de la fusée.

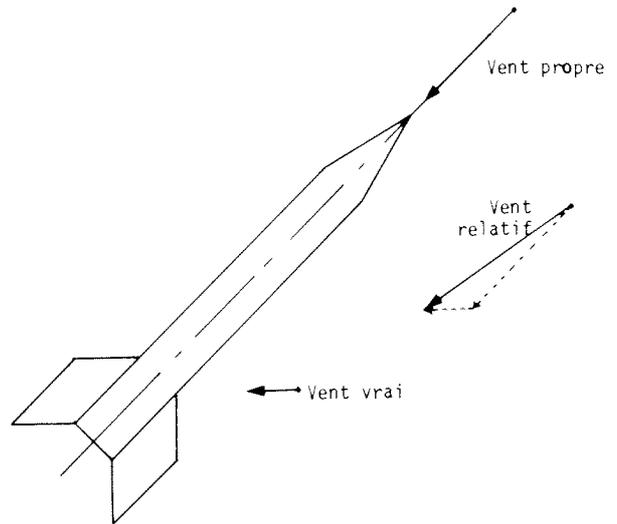
LA RÉSISTANCE DE L'AIR

Elle provient de l'action combinée :

– de l'air fixe par rapport à la fusée en déplacement : 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 : le **vent vrai**.

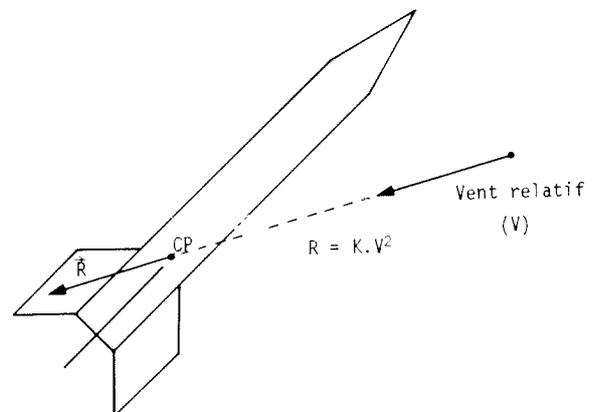
Les vitesses de ces deux vents s'additionnent pour ne donner qu'un seul déplacement d'air apparent : le **vent relatif ou apparent**.



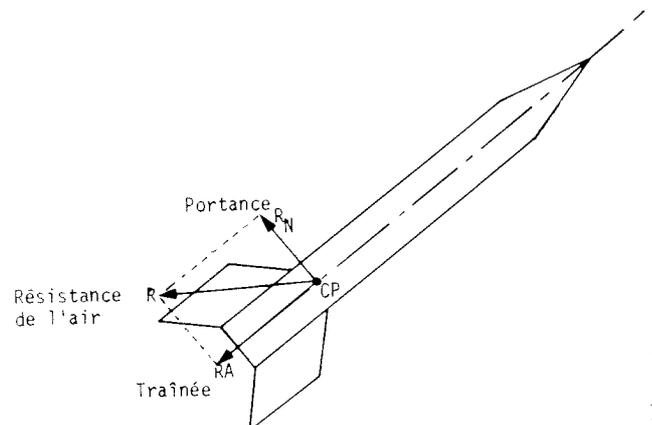
ACTION DU VENT RELATIF

La résistance de l'air est la conséquence de l'existence de ce vent relatif par rapport à la fusée supposée immobile. Elle est de même direction et de même sens que ce vent. Sa valeur (R) est en relation avec le carré de la vitesse (V) de ce vent relatif.

$$R = KV^2$$



Comme précédemment, nous pouvons décomposer cette résistance en deux composantes.



CARACTÉRISTIQUES DE QUELQUES MICRO-PROPULSEURS

En complément de la présentation des micro-moteurs dans le chapitre «propulsion», sont indiquées ci-après les caractéristiques de micro-moteurs habituellement utilisés.

LE MICRO-PROPULSEUR A-8

Caractéristiques propulsives :

- * Impulsion totale : 2,5 Ns
- * Temps de poussée : 0,32 s
- * Poussée maximale : 14 N

Masses :	avant combustion	après combustion
A-8-0	11 g	6,8 g
A-8-3	16 g	11,8 g

LE MICROPROPULSEUR B-4

Caractéristiques propulsives :

- * Impulsion totale : 5 Ns
- * Temps de poussée : 1,2 s
- * Poussée maximale : 13 N

Masses :	avant combustion	après combustion
B-4-4	20 g	14 g

LE MICRO-PROPULSEUR B-6

Caractéristiques propulsives :

- * Impulsion totale : 5 Ns
- * Temps de poussée : 0,84 s
- * Poussée maximale : 13,3 N

Masses :	avant combustion	après combustion
B-6-4	20 g	13,8 g

LE MICRO-PROPULSEUR C-6

- * Impulsion totale : 10 Ns
- * Temps de poussée : 1,7 s
- * Poussée maximale : 13,5 N

Masses :	avant combustion	après combustion
C-6-0	23 g	10,5 g
C-6-5	25 g	12,5 g

REMARQUE

Il faut noter les deux allures de courbes de poussée : La forme en pic et la forme en palier.

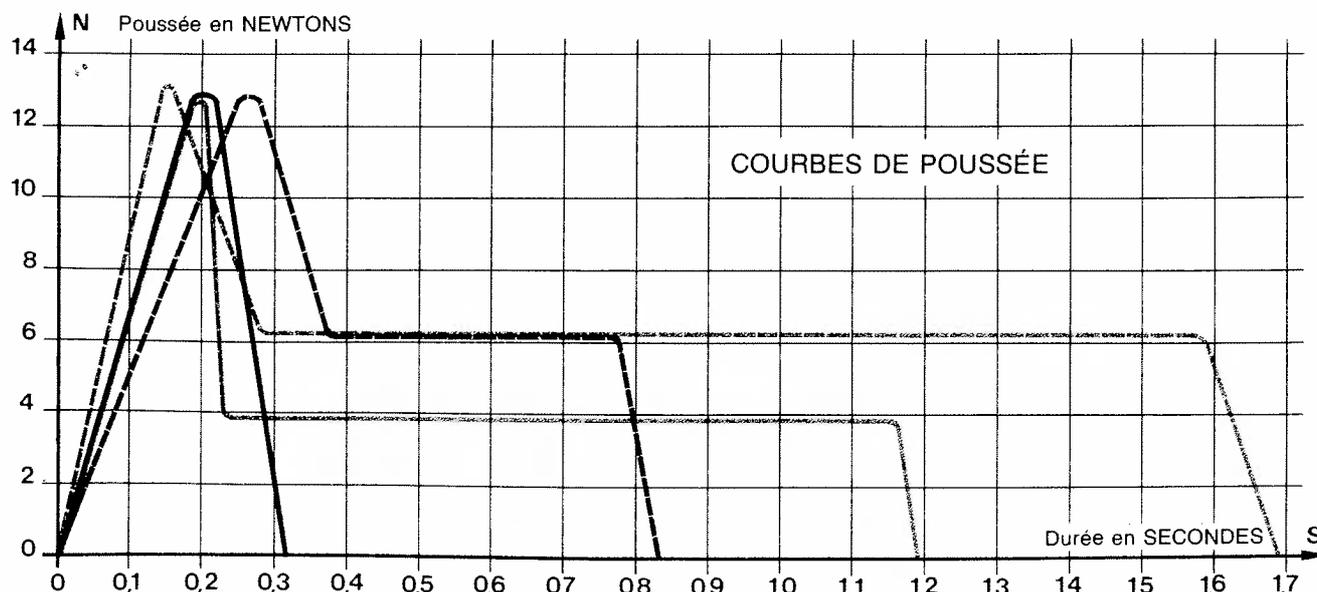
La forme en pic permet de développer une forme poussée pendant un court instant : elle permet à la fusée d'avoir une forte accélération donc d'augmenter sa vitesse rapidement. Son inconvénient est que la vitesse augmentera très fortement la résistance de l'air donc les performances de la fusée. Cette forme est utilisée pour permettre à la fusée d'aller suffisamment vite pour être stable en sortie de rampe.

La forme en palier, par sa poussée régulière et longue permet d'augmenter doucement la vitesse. Elle est donc utilisée pour la propulsion «de croisière» car elle permet d'atteindre de bonnes altitudes en minimisant les pertes dues à la résistance de l'air.

Par exemple, dans le cas d'utilisation d'une fusée à deux étages, un moteur possédant un fort pic de poussée (impulseur ou booster) sera préféré pour le premier étage et un moteur à long palier conviendra aux deuxième étage (moteur de croisière).

Légende

MICRO-PROPULSEURS A-8 ———
 B-4 ———
 B-6 ———
 C-6 ———



DEUX RAMPES DE LANCHE

Les lanceurs ont été prévus pour différentes tailles de micro-fusées aussi il a été indispensable de réaliser un réglage de l'écartement des guides.

MATÉRIEL :

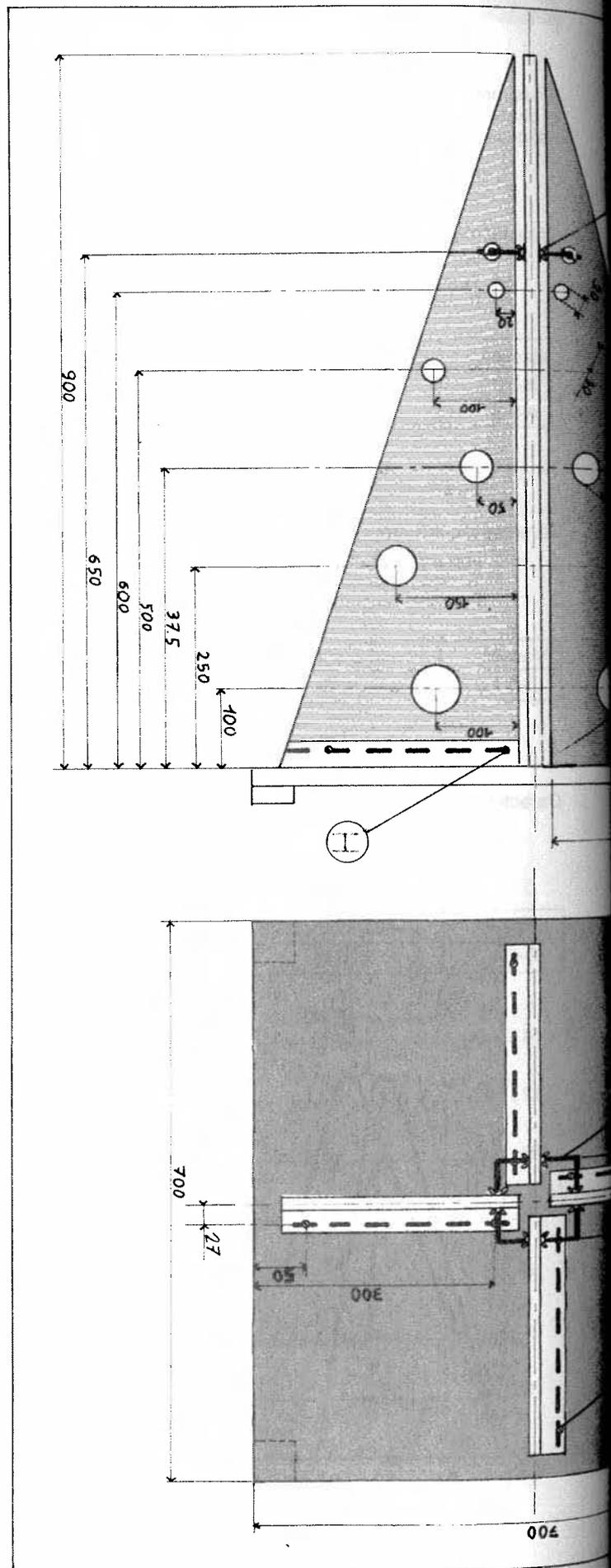
- 1 plaque Aglo 19 mm 70 cm x 70 cm
- 4 morceaux Aglo 19 mm 5 cm x 5 cm
- 2 plaques CTP 15 mm 30 cm x 90 cm
- tige filetée de 5 mm + 8 rondelles + 8 écrous oreilles
- 8 vis 5 x 25 + 8 rondelles + 8 écrous prisonniers
- 1,20 m de cornières 30 x 30
- 8 vis à bois 3 x 15

CONSTRUCTION :

- Au départ un socle D et 4 pieds E à découper dans l'aglo 19 mm. Coller les pieds, à chaque coin et laisser sécher.
- Découper les équerres B dans du contreplaqué de 15 mm. Une forme d'esthétique qui rend bien des services se cache autour du perçage de ces équerres. En effet quelques trous bien placés peuvent facilement remplacer un double décimètre qui n'est malheureusement pas toujours à portée de main sur le terrain.
- Sur les équerres B fixer les cornières 30 x 30 C grâce aux 2 vis à bois 3 x 15 H.
- Percer les trous destinés aux vis 5 x 25 G. Positionner les écrous sous le socle (des écrous prisonniers sont bien pratiques).
- Mettez en place les équerres.
- Couper dans de la tige filetée 5 mm
 - 3 morceaux de 15 cm pour la rampe 3 guides
 - 4 morceaux de 10 cm pour la rampe 4 guides
- Centrez ces tiges filetées à l'aide des rondelles + écrous à oreilles A sur les équerres B de telle manière que les bouts de ces tiges soient en contact.
- Il ne vous reste plus qu'à faire un petit point de soudure à l'arc à chaque angle pour que votre rampe soit prête à subir le premier «jet de flamme» des propulseurs.

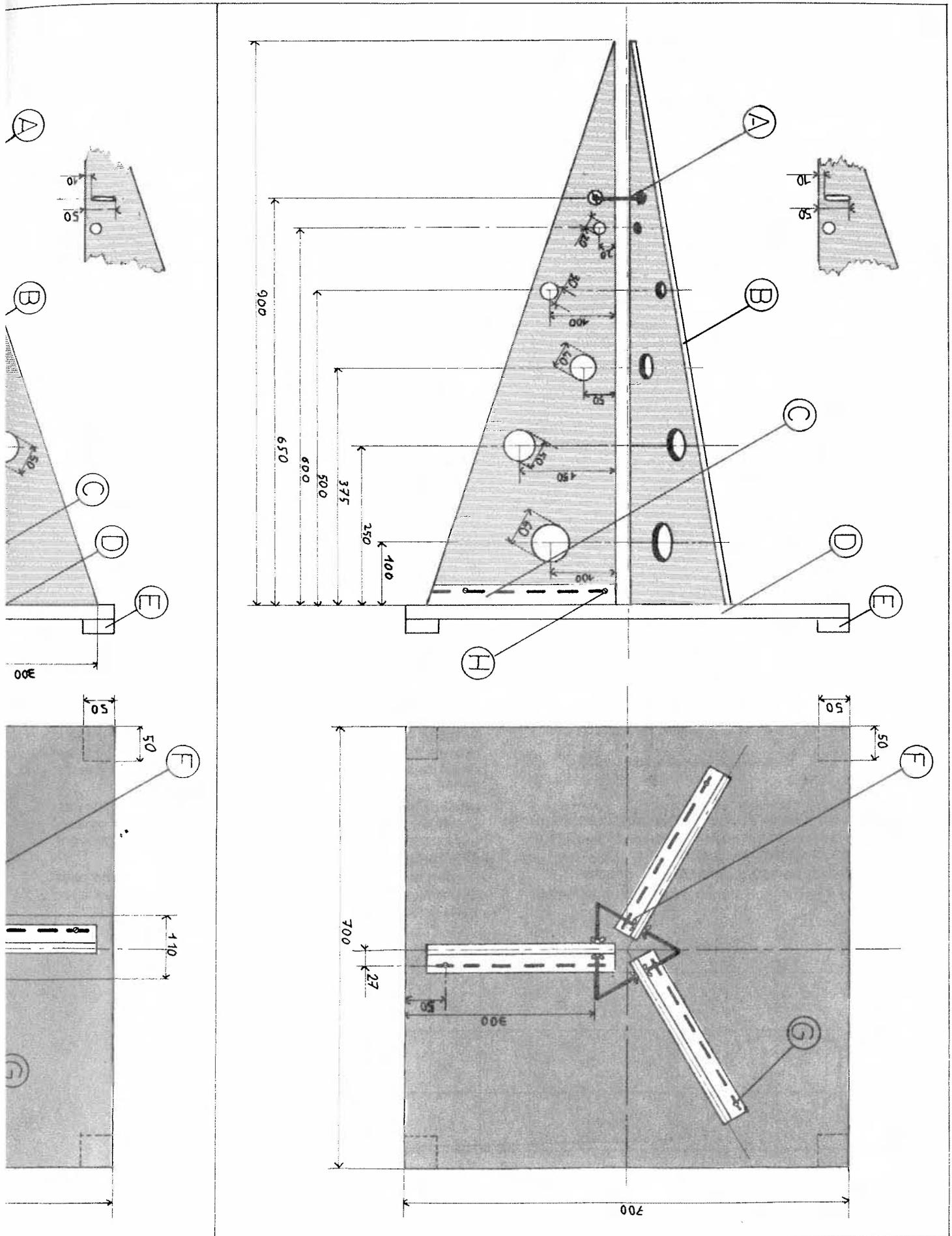
J.P. BOYER

R. GRANSEIGNE



clap 86

ENT POUR MICRO-FUSÉES



PETITE FUSÉE DEVIENDRA GRANDE : LA MINI-FUSÉE

Une fois exploré le merveilleux domaine de la micro-fusée (mais si, mais si), quelques hardis techniciens souhaiteront aller plus loin. Là encore, l'interdiction réglementaire a amené le Centre National d'Études Spatiales à faire réaliser des propulseurs adaptés à une activité plus évoluée. Ce sont les mini-propulseurs, DIK-DIK de leur nom de famille (petite gazelle africaine).

Fabriqués par la Société Nationale des Poudres et Explosifs, les DIK-DIK permettent à des fusées d'une masse de l'ordre de 500 grammes d'atteindre une altitude d'environ 500 mètres.

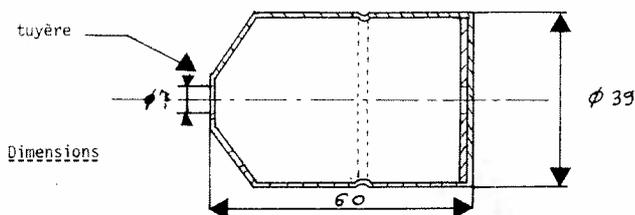
Ce sont des propulseurs beaucoup plus performant (la poussée d'un DIK-DIK équivaut à celle de 13 C-6-5 tout en brûlant trois fois plus vite !). Ils doivent donc être lancés d'un terrain beaucoup plus grand en prenant de nombreuses précautions de sécurité. C'est pourquoi il n'existe pas « d'agrément mini-fusée » comme il en existe un en micro-fusée.

Les lancements sont effectués sous la responsabilité d'une personne déléguée par le C.N.E.S.. Cette personne n'est pas obligatoirement une personne du C.N.E.S. mais ses compétences doivent être reconnues dans ce domaine par une pratique régulière et une formation adéquate. Un groupe de travail de l'Association Nationale Science Technique Jeunesse assure la formation et la coordination de ces délégués.

Les campagnes sont généralement régionales.

LE MOTEUR DIK-DIK

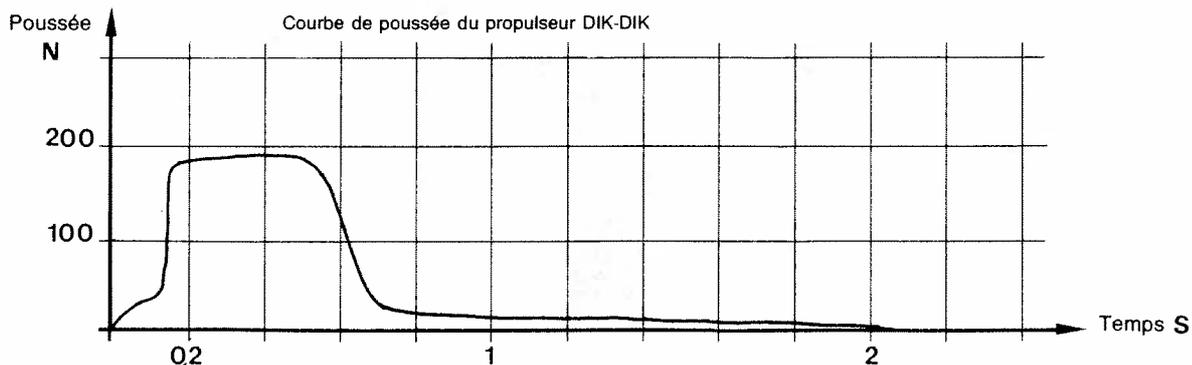
Il est constitué par une enveloppe en acier. La tuyère ne possède pas de divergent, le col est « mis à la cote » par un simple perçage (diamètre : 7 mm). Le fond avant est constitué par une rondelle métallique, percée et sertie dans l'enveloppe. L'obturation du trou et l'ignifugation du fond avant sont réalisés par une rondelle de caoutchouc coulé.



Le DIK-DIK ne possède pas de charge d'éjection ni de charge délat². Il revient donc au constructeur de concevoir le système de temporisation et d'éjection du parachute.

Sa masse totale est de 130 g dont 50 g de poudre.

Son allumage est assuré à distance à l'aide d'un inflammateur électrique.



LA MINI-FUSÉE

De part l'absence d'un système de récupération intégré au propulseur, la première activité technique autour de la mini-fusée est la conception et la réalisation d'un système de récupération. Ce système mettra en œuvre toute une série d'éléments de petite mécanique (bois, plastique et métal) ainsi que des systèmes électriques (à base de moteurs) ou électroniques (à base de minuterie).



La taille et les contraintes subies par la mini-fusée (l'accélération subie au départ est de l'ordre de 20 à 30 fois l'accélération de la pesanteur), la réalisation mécanique doit être de bonne qualité et les essais nombreux.

Une fois maîtrisé le système de récupération, ce qui n'est pas si simple, il est possible de concevoir des systèmes embarqués permettant d'effectuer de petites mesures qui peuvent être enregistrées à bord ou retransmises au sol.

De part l'importance de la réalisation, cette activité ne peut se pratiquer qu'en groupe, que ce soit à l'intérieur d'un foyer socio-éducatif, d'un atelier technique, d'un club...

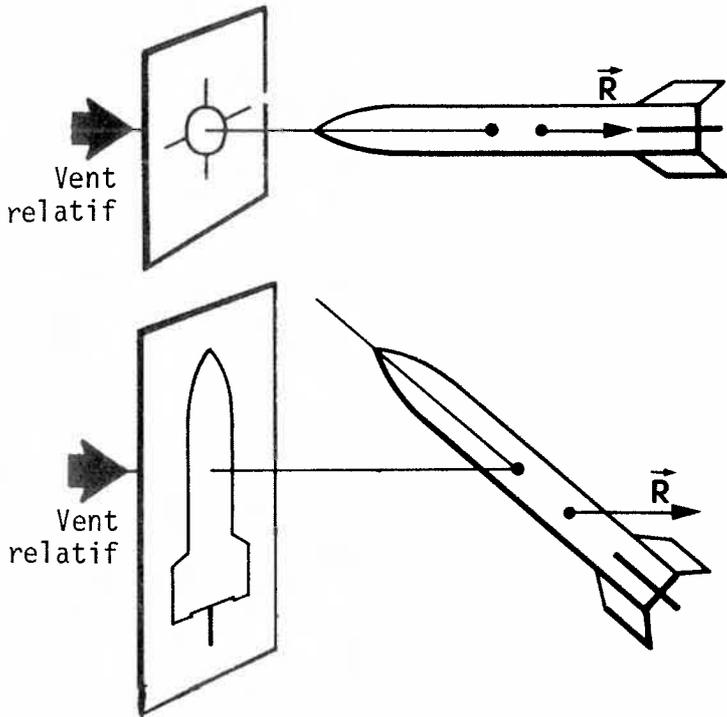
- R_A , composante de l'axe longitudinal qui influe sur les performances de la fusée, est appelée **traînée**.
- R_N , composante normale à l'axe longitudinal, qui assure la stabilité de la fusée est appelée **portance**.

LA TRAÎNÉE

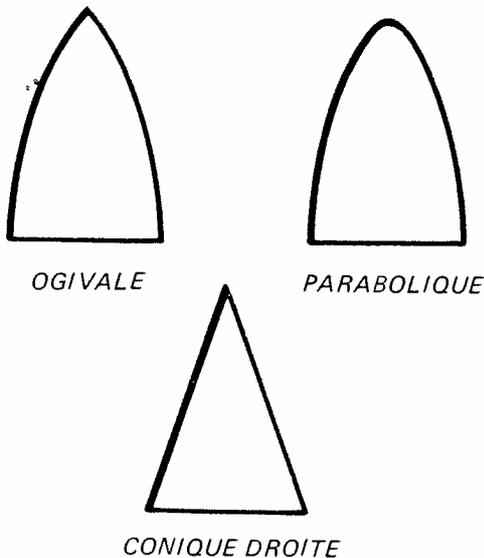
Elle dépend principalement de 3 facteurs :

- la taille de la fusée,
- sa forme,
- son état de surface.

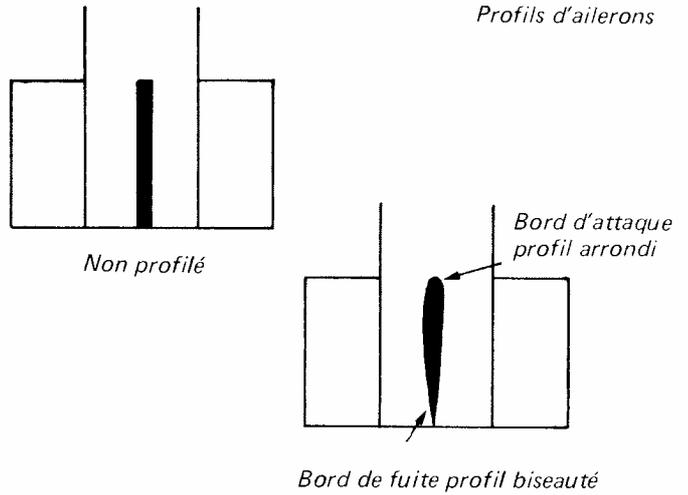
La taille de la fusée, et plus précisément la surface «vue» par l'air en mouvement : le maître couple.
 Le maître couple est l'aire de la projection de la fusée sur un plan perpendiculaire à l'axe du vent relatif.
 Dans de bonnes conditions de stabilité, la surface sera prise sur un plan normal à l'axe longitudinal de la fusée.



Les formes : les profils de la pointe, des ailerons, et la présence de tout élément extérieur tel un guide de rampe.



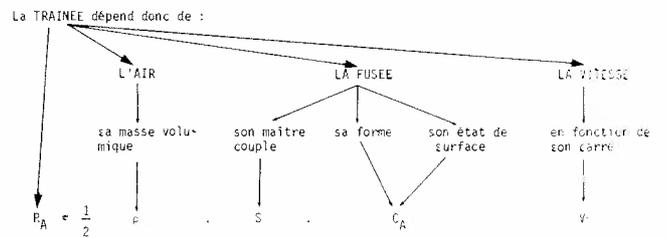
Profils d'ailerons



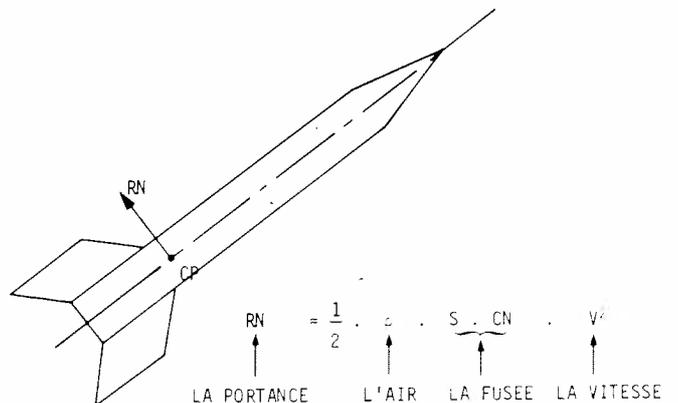
L'état de surface : un revêtement de papier abrasif sera moins performant qu'un vernis poncé finement.

Pour tenir compte pratiquement des deux derniers éléments, la forme et l'état de surface, le coefficient de traînée C_A est introduit.
 Le maître couple S (en mètres carrés) et le coefficient C (sans dimension), donnent le paramètre $S \cdot C_A$ qui représente l'influence de la construction de la fusée sur la traînée aérodynamique.
 Pour être plus rigoureux, nous faisons intervenir l'état de l'air dans lequel la fusée se déplace, sous la forme de sa masse volumique. Dans notre cas, cette dernière sera considérée comme constante.

EXPRESSION DE LA TRAÎNÉE



La portance : l'expression de la portance aérodynamique est identique à celle de la traînée, au coefficient près qui devient coefficient de portance C_N et qui prend bien entendu une autre valeur :



COMMENT DIMINUER LA TRAINÉE ?

La **résistance de l'air (R)** est complètement définie par ses deux composantes :

- La **portance (R_N)** pour la **stabilité** de la fusée
- La **traînée (R_A)** pour ses performances.

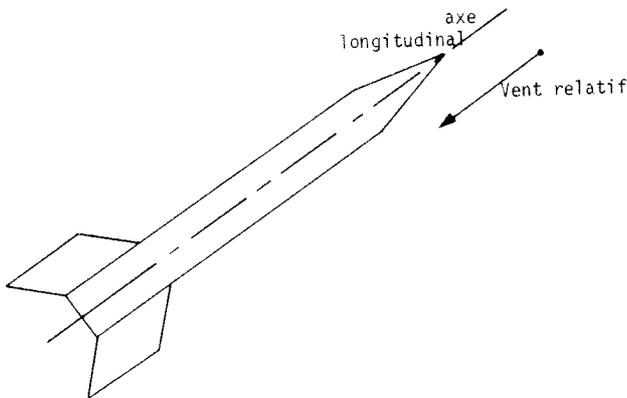
Nous ne présenterons pas ici les valeurs numériques correspondantes et nous conseillons de se reporter aux notes techniques correspondantes.

Pour la traînée, les solutions telles que réduire le maître couple, profiler les ailerons et la pointe, améliorer l'état de surface, apparaissent nettement.

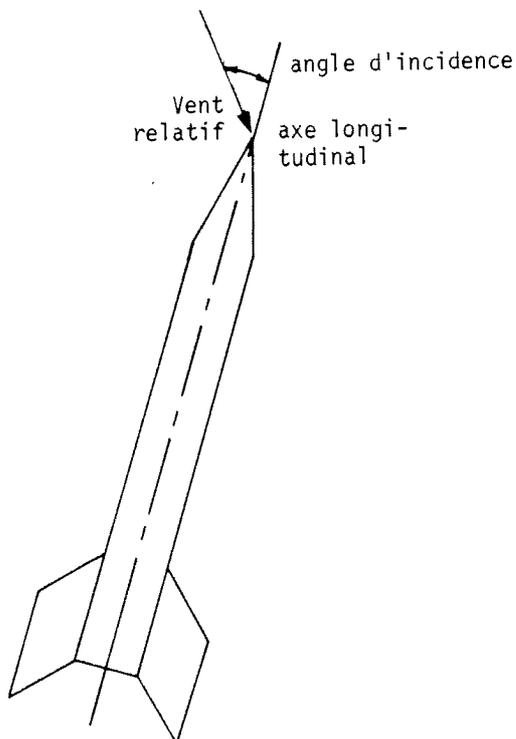
Pour la stabilité, il n'en est pas de même d'autant que la valeur de la portance R_N n'est pas seule à intervenir.

LA STABILITÉ DE LA FUSÉE

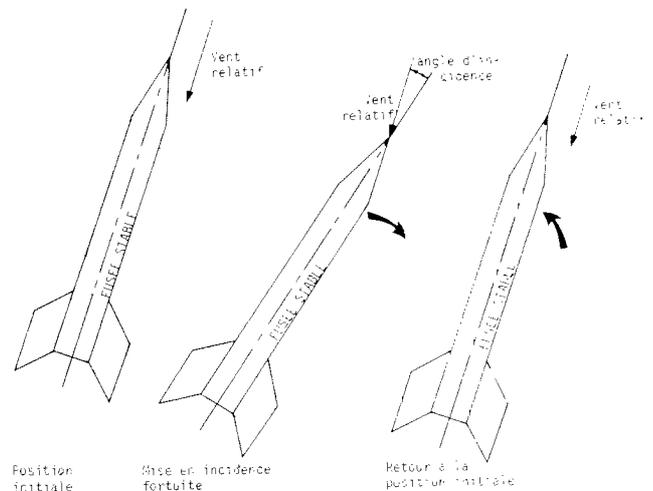
Pour être stable, la fusée doit conserver la même attitude durant son vol. Pour la micro-fusée, **conserver son attitude** consistera à maintenir son **axe longitudinal aligné avec le vent relatif**.



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**.



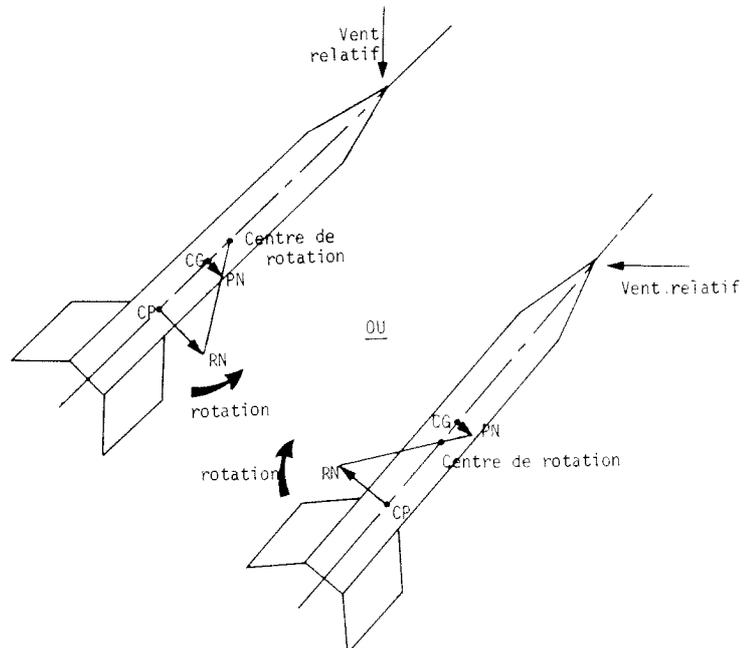
En d'autres termes, si, pour une quelconque cause, la fusée se met en incidence, elle retrouvera sa position initiale (axe longitudinal aligné avec le vent relatif) si elle est stable.



RÉPARTITION DES FORCES NORMALES :

Nous avons vu que les forces qui contribuaient à la stabilité de la fusée sont la composante du poids (P_N) et la portance (R_N). La portance étant proportionnelle au carré de la vitesse, dès que la fusée a acquis un peu de vitesse (R_N) devient prépondérante sur (P_N), le rapport d'importance étant d'environ 10.

Ces deux forces normales entraînent la rotation de la fusée.



Dans les deux cas, la portance (R_N) étant très supérieure à la composante normale du poids (P_N), la fusée **tourne autour d'un centre de rotation proche du centre de gravité**. Elle tourne **autour de ce centre dans le sens de la portance**. En simplifiant, en **négligeant la composante normale du poids**, nous pourrions imaginer que la fusée tourne autour du centre de gravité (C.G.) sous la seule action de la portance (R_N).

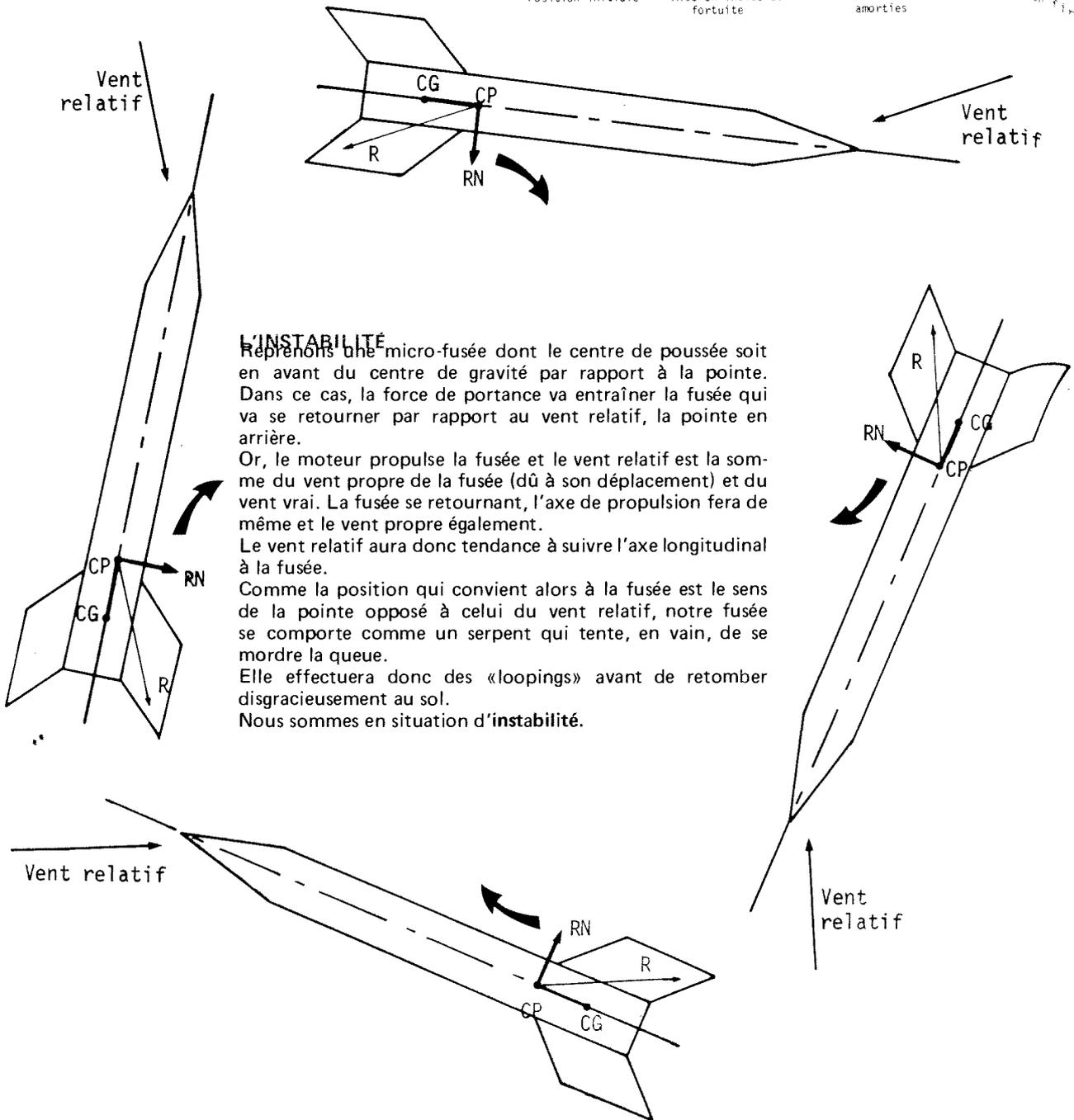
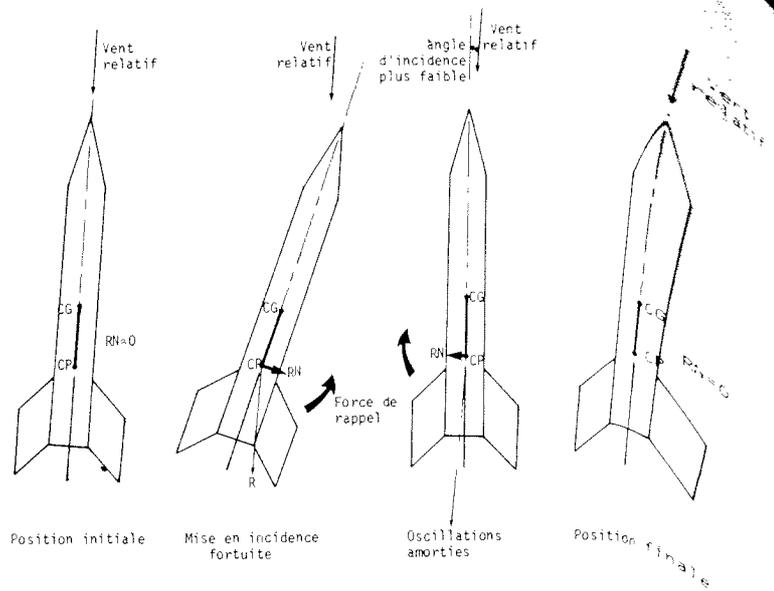
Cette schématisation va nous permettre d'étudier les trois situations possibles :

- la stabilité,
- l'instabilité,
- l'indifférence.

LA STABILITÉ

Supposons notre micro-fusée se mettant fortuitement en incidence. Si le centre de poussée (C.P.) est placé en arrière du centre de gravité par rapport à la pointe, la force de portance entraîne la fusée qui revient vers sa position initiale. Une fois la fusée dans cette position, la force de portance s'annule.

En fait, la force de rappel de la portance a tendance à entraîner la fusée en incidence de l'autre côté du vent relatif et c'est seulement après plusieurs oscillations de plus en plus faibles, amorties, que la fusée retrouve sa position initiale.



L'INSTABILITÉ

Reprenons une micro-fusée dont le centre de poussée soit en avant du centre de gravité par rapport à la pointe. Dans ce cas, la force de portance va entraîner la fusée qui va se retourner par rapport au vent relatif, la pointe en arrière.

Or, le moteur propulse la fusée et le vent relatif est la somme du vent propre de la fusée (dû à son déplacement) et du vent vrai. La fusée se retournant, l'axe de propulsion fera de même et le vent propre également.

Le vent relatif aura donc tendance à suivre l'axe longitudinal à la fusée.

Comme la position qui convient alors à la fusée est le sens de la pointe opposé à celui du vent relatif, notre fusée se comporte comme un serpent qui tente, en vain, de se mordre la queue.

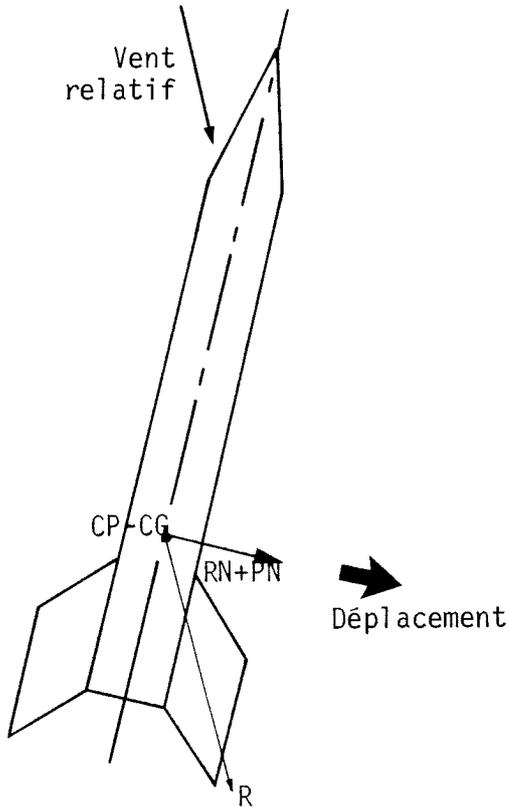
Elle effectuera donc des «loopings» avant de retomber disgracieusement au sol.

Nous sommes en situation d'instabilité.

L'INDIFFÉRENCE

Reste le cas où le centre de gravité et le centre de poussée sont confondus. Les deux forces (P_N) et (R_N) sont alignées et la fusée n'est pas soumise à rotation. Elle va errer en une quelconque position. En fait, en cours de vol, centres de gravité et de poussée ne sont pas fixes (déplacement du centre de gravité par éjection des gaz du moteur, déplacement du centre de poussée en fonction de l'attitude de la fusée...).

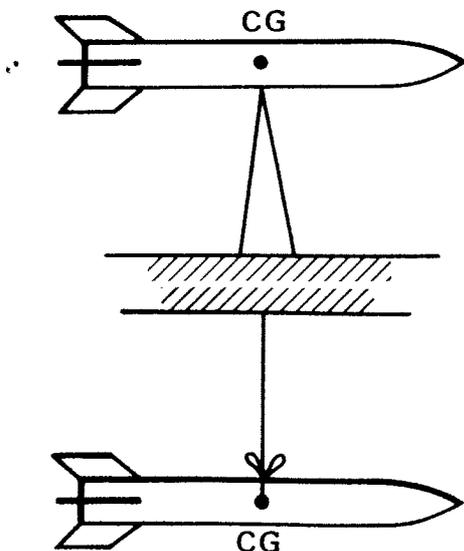
L'indifférence consiste donc plus en une alternative entre stabilité et instabilité, difficilement évaluable avant le vol.



DÉTERMINATION DES CENTRES

• LE CENTRE DE GRAVITÉ

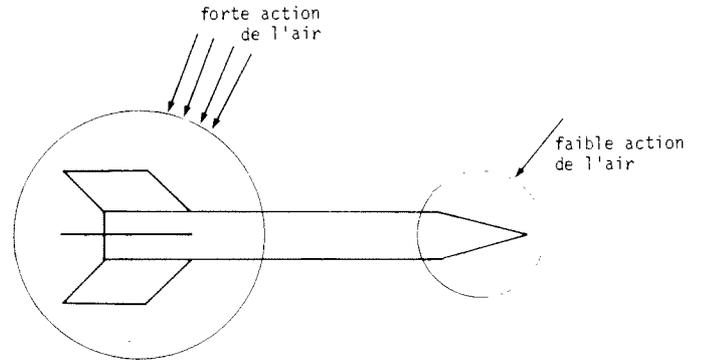
Par définition, il est situé sur l'axe longitudinal au niveau de la position d'équilibre au repos de la fusée à l'horizontale.



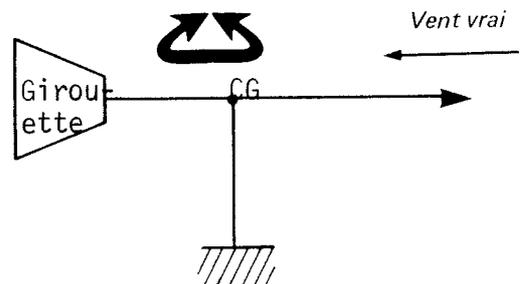
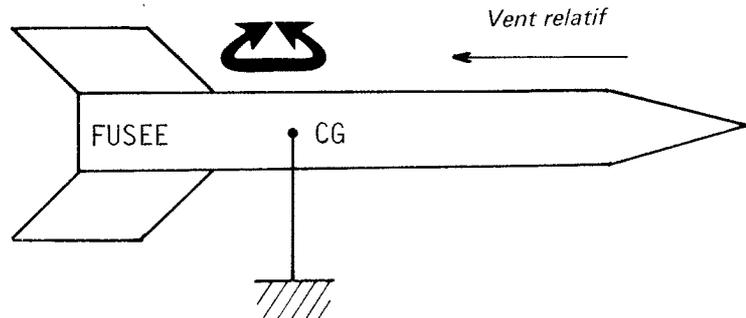
• LE CENTRE DE POUSSÉE

Une seule solution reste à retenir pour avoir une fusée stable : le **centre de poussée est en arrière du centre de gravité par rapport à la pointe**. Or, pour une micro-fusée simple, le facteur essentiel pour la position du centre de poussée est la position des ailerons.

En effet, lorsque la fusée est en incidence, la résistance de l'air la plus grande sera portée sur les parties de plus grande surface au vent. Lorsque nous voyons une fusée de profil, il apparaît bien que la résistance de l'air minimale s'applique sur la pointe et la résistance maximale vers les ailerons.

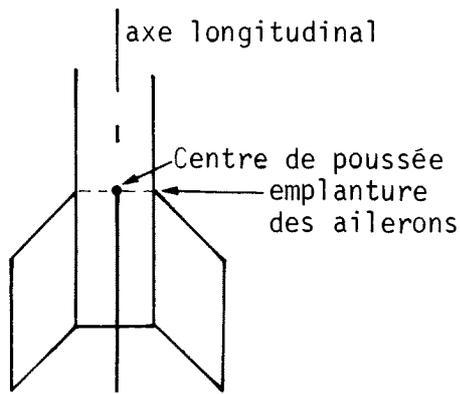


La fusée ressemble alors à une girouette dont l'axe de rotation serait placé au centre de gravité, au détail près que la girouette ne possède pas de vent propre donc que son vent relatif est le seul vent vrai.



La position du centre de poussée est donc en relation avec la position des ailerons.

C'est ainsi qu'en faisant une grossière approximation sur les ailerons de proportions moyennes, le centre de poussée se situe sur l'axe longitudinal de la fusée, à la hauteur de l'emplanture des ailerons.



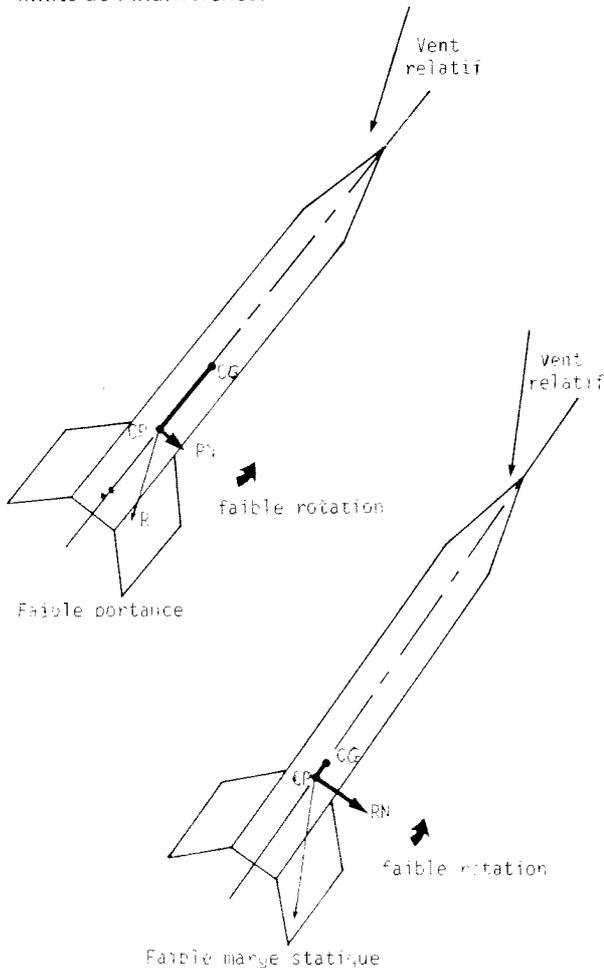
TROP DE STABILITÉ NUIT

Il apparaît en résumé que deux facteurs principaux interviennent dans la stabilité.

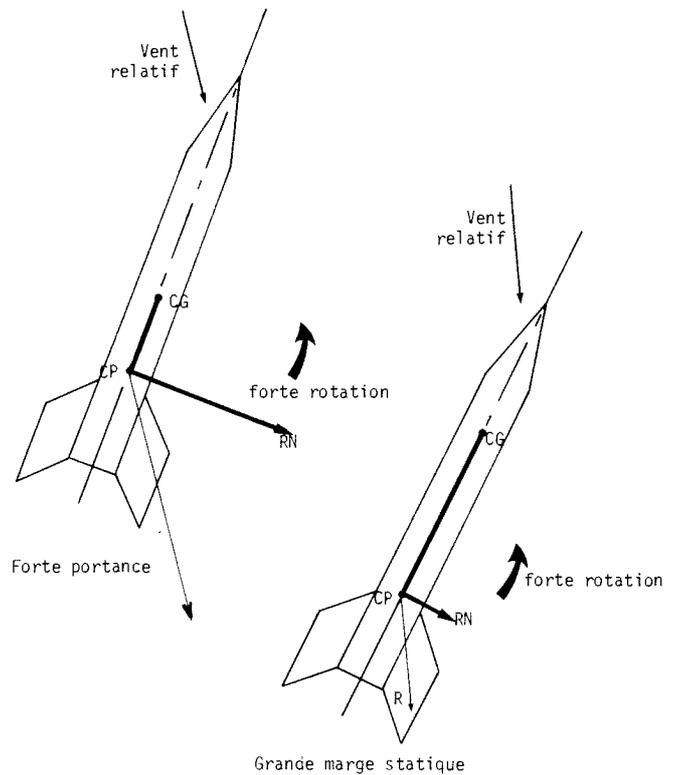
- la valeur de la portance qui est en relation directe avec la surface et la forme des ailerons.
- les positions relatives du centre de gravité et du centre de poussée.

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

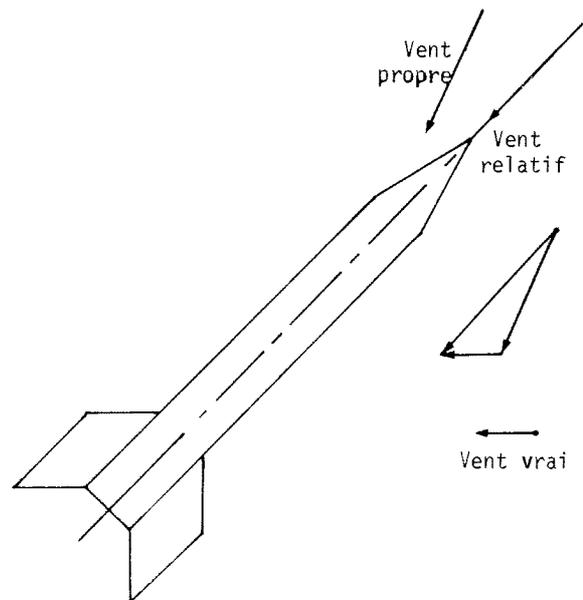
Ces deux facteurs, la portance et la marge statique, sont inclus dans des fourchettes. En effet, supposons tout d'abord que la portance ou la marge statique soient trop faibles. La rotation de rappel sera elle-même faible, à la limite de l'indifférence.



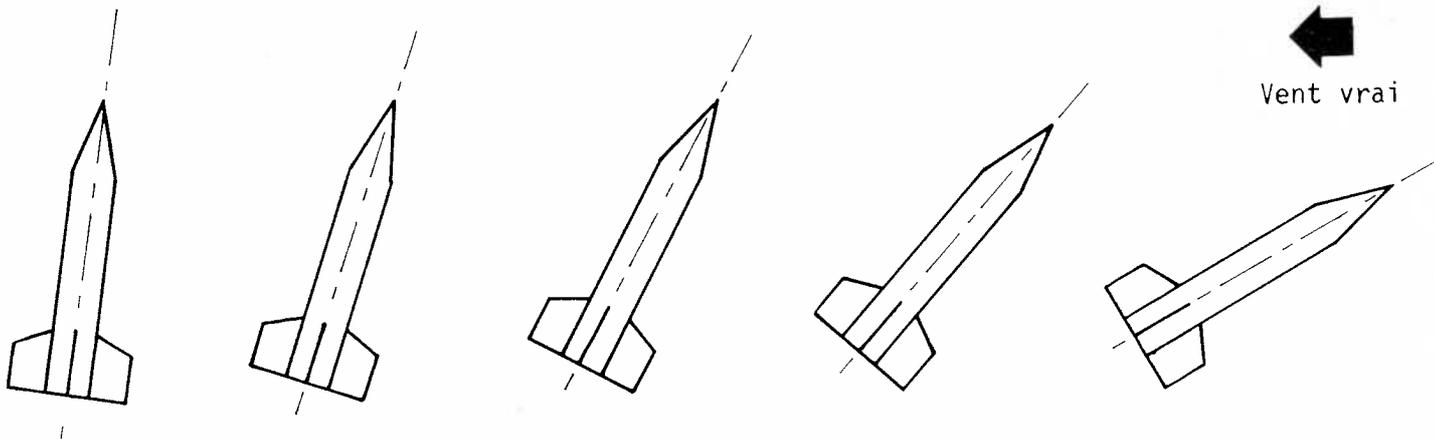
Dans le cas contraire, si la portance ou la marge statique sont très fortes, la force de rappel sera très vigoureuse, renverra la fusée de l'autre côté du vent relatif et la fusée oscillera continuellement sans jamais trouver de position d'équilibre. Cette attitude est nommée **surstabilité**.



Un autre inconvénient de cette surstabilité a rapport avec le vent vrai (vent météo). Ainsi, lorsque la fusée est stable, elle aligne son axe longitudinal avec le vent relatif donc en partie avec le vent vrai. Ceci signifie que la fusée a tendance à remonter le vent.



De plus, cette situation n'est pas statique : le vent propre cherche à s'aligner sur le vent relatif, qui lui-même se



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

rapproche du vent vrai et la fusée se couche lentement dans le vent vrai.

Dans le cas d'une fusée surstable, la fusée se couchera presque immédiatement dans le vent vrai et partira quasiment horizontalement, ce qui n'est pas le but recherché.

CONDITIONS DE STABILITÉ

De manière expérimentale, il est possible d'arrêter des conditions moyennes de stabilité :

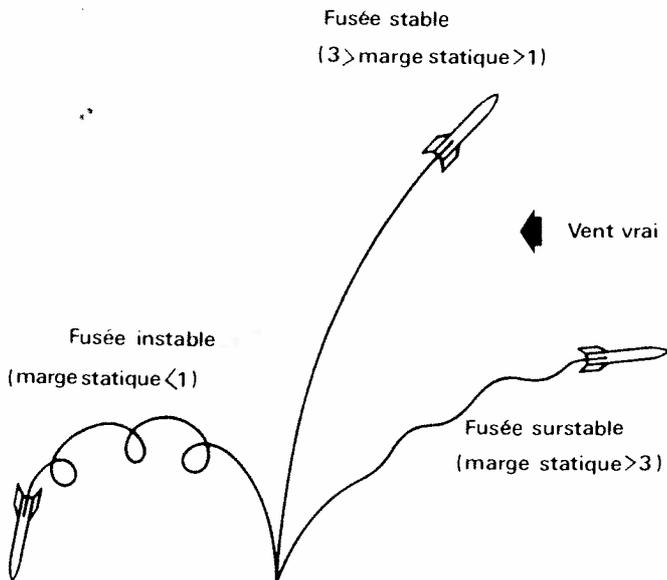
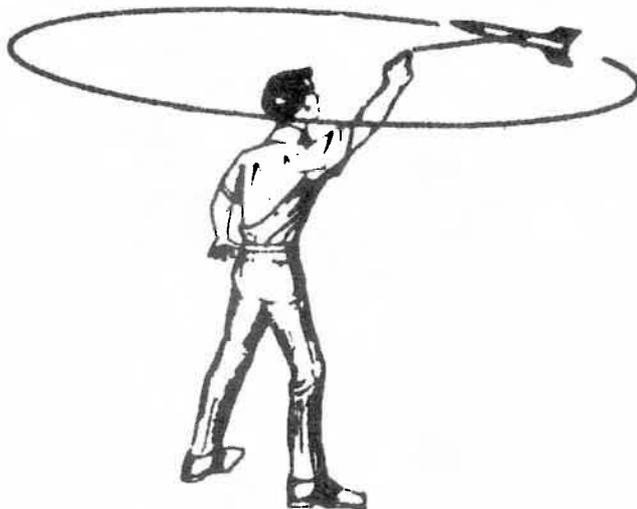
- la marge statique doit être comprise entre 1 et 3 calibres (le calibre vaut un diamètre de fusée).
- chaque aileron (parallélogramme) doit avoir une envergure comprise entre 1 et 2 calibres, une hauteur comprise entre 1 et 3 calibres, le nombre minimal d'ailerons étant de trois.

Attention, ces valeurs ne sont nullement limitatives car les fusées peuvent voler et très bien voler hors de ces limites. Mais, ces valeurs donnent un ordre de grandeur de ce qui est couramment utilisé.

L'ESSAI FINAL

Avant le vol réel, il est préférable de faire un essai de notre fusée. Pour ce faire, il est possible soit d'utiliser une soufflerie en suspendant la fusée en son centre de gravité ; soit, plus simplement, de faire tourner la fusée au bout d'une ficelle fixée en son centre de gravité.

Si la fusée est stable aux basses vitesses de l'essai, elle le sera bien entendu aux grandes vitesses du vol.



LES PHASES DU VOL

En guise de conclusion, nous vous invitons à faire voler votre fusée !

Plusieurs séquences se dérouleront dont chacune possède ses propriétés : le départ sur rampe, la propulsion, le vol balistique, la descente sans parachute (si tout se passe bien). Les nombreuses forces augmentent et diminuent au gré de l'évolution de la fusée, et il y aurait encore beaucoup à dire sur ce sujet.

Car la mécanique du vol est une longue histoire...

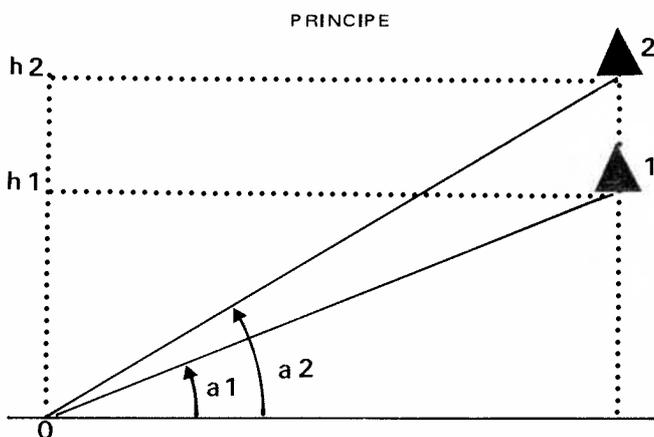
La Mesure

Lancer sa micro-fusée, la voir évoluer, ça y est, le rêve est devenu réalité. Mais faut-il en rester là ? Bien sûr que non : c'est seulement à partir de maintenant que va démarrer la première démarche scientifique. Il va falloir mesurer. Et la première pensée du lanceur est celle-ci : «A quelle hauteur a bien pu monter mon engin ?».

Traduction scientifique : «Quelle est l'altitude du point de culmination ?».

LA MESURE D'ALTITUDE

Une méthode relativement simple consiste à procéder par visée à l'aide d'une alidade.



La fusée n° 1 ayant atteint une altitude h_1 fait avec le sol un angle a_1 .

La fusée n° 2 ayant atteint une altitude $h_2 > h_1$ fait avec le sol un angle $a_2 > a_1$.

Il nous faut donc mesurer cet angle qui nous permettra par un calcul qui sera exposé plus loin, de déterminer l'altitude atteinte.

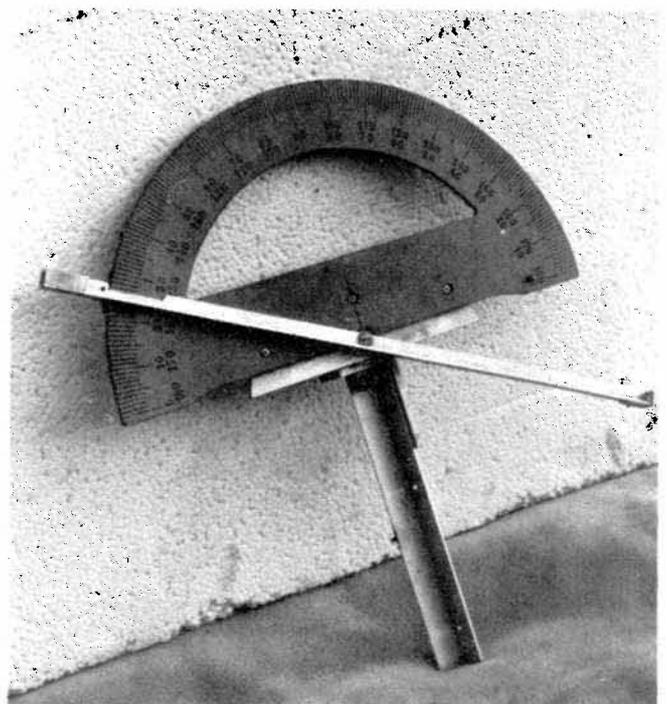
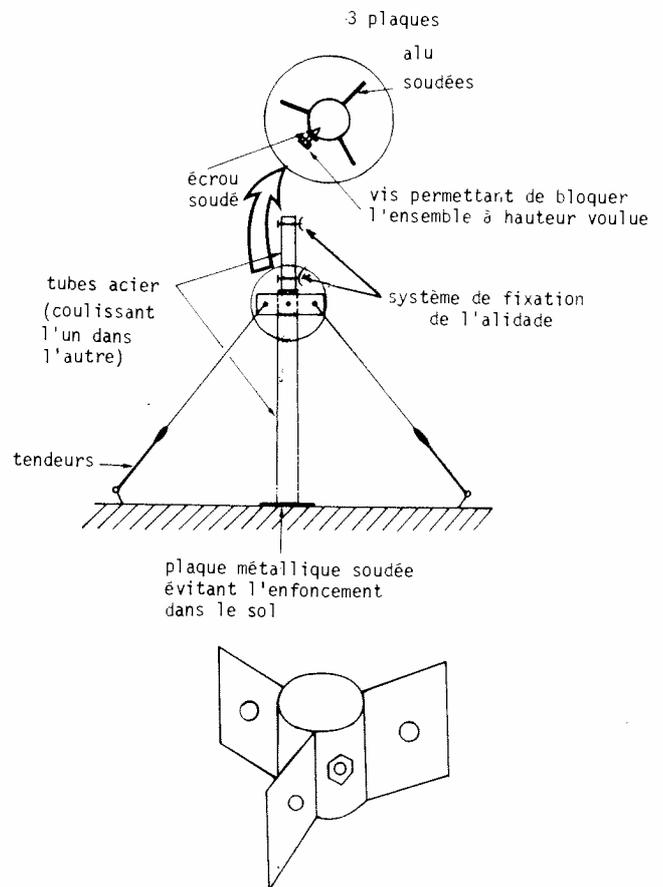
Construction d'une alidade simple :

A l'aide d'un rapporteur type «école».

La photo ci-contre vaut mieux qu'un long discours. Le rapporteur est fixé sur une cornière par quelques vis ou rivets dont la tête ne doit pas dépasser. Le viseur, ici une simple cornière munie d'un œilleton de visée pivote à **frottement doux** exactement au centre du rapporteur. Il faut pouvoir suivre la fusée sans fournir d'effort trop important mais il faut aussi que le viseur garde la position correspondant à la culmination (un petit truc la rondelle en nylon).

Cet ensemble rapporteur-cornière-viseur doit pouvoir pivoter en douceur sur une embase qui sera rendue solidaire d'un pied. Ici, toutes les astuces sont permises et diffèrent selon le modèle de pied que vous avez en votre possession. Un bon pied photo fera l'affaire. Mais tout le monde n'a pas ce genre d'accessoire à sa disposition.

Voici une idée, pour un pied simple et bon marché fabriqué à partir de matériel de récupération.

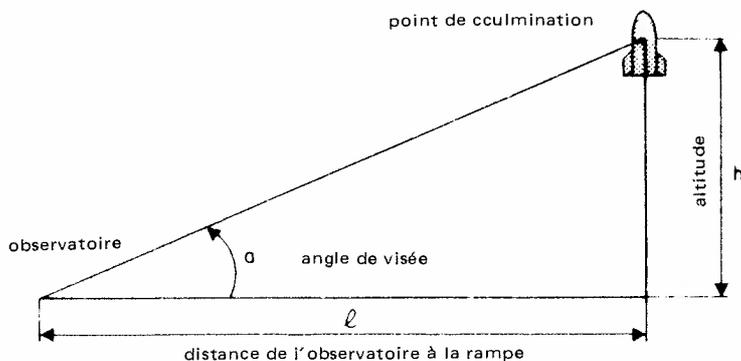
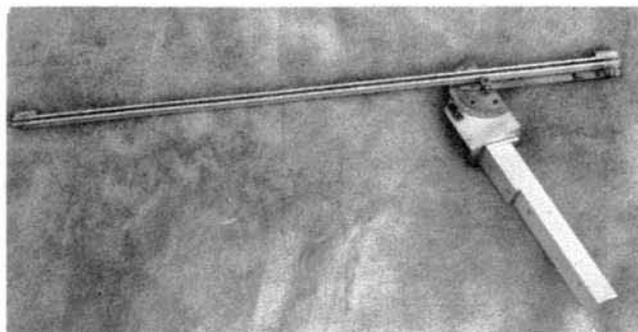


La photo ci-contre montre une autre alidade basée sur le même principe général mais réalisée à partir d'un rapporteur de mécanicien.

Le traitement de la mesure d'altitude :

Lorsque l'angle α est mesuré, il faut pouvoir le ramener à une altitude.

En supposant que la fusée s'élève verticalement au-dessus de la rampe, il suffit de reporter la distance entre le théodolite et la rampe sur une feuille quadrillée, puis l'angle α .



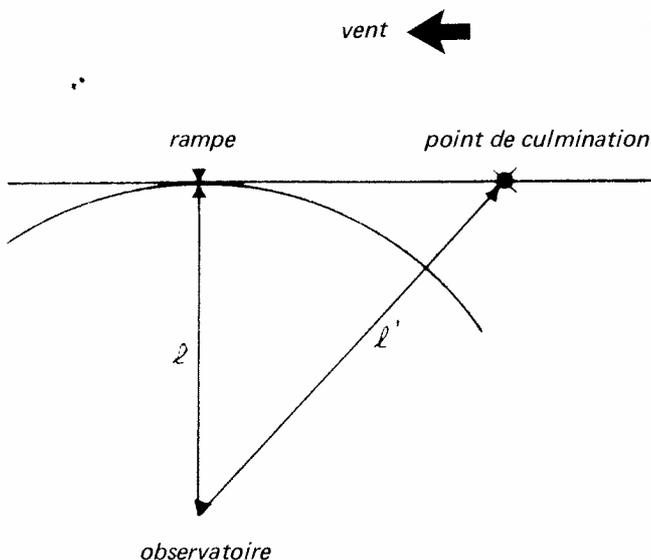
L'intersection entre la verticale de la rampe et la visée donne le point de culmination. L'altitude h se mesure alors directement.

La résolution trigonométrique est :

$$h = l \operatorname{tg} \alpha \quad \text{avec } h \text{ et } l \text{ en mètres}$$

Pour obtenir une bonne précision des mesures, quelques règles sont à respecter absolument :

- le support de l'alidade doit être à l'horizontale (utiliser pour cela un niveau à bulle).
- la distance entre l'observatoire et la rampe doit être proche de l'altitude atteinte par la fusée.
- la fusée «remontant» le vent, l'observatoire doit être installé perpendiculairement à l'axe rampe—direction du vent.
- l'observatoire ne doit pas être placé face au soleil.



Ensuite, que peut-on encore mesurer ?

Tout simplement le temps de vol de la fusée :

- le temps de la montée,
- puis le temps de descente,

à l'aide d'un chronomètre bien sûr et l'on en déduira la vitesse moyenne à l'aide de la formule :

$$\text{vitesse} = \frac{\text{distance parcourue}}{\text{temps}}$$

Et encore la distance du point de chute au pied de la rampe de lancement à l'aide d'une chaîne d'arpenteur.

Mais c'est plus facile à dire qu'à faire car l'instant du départ et l'instant de la culmination ne sont pas toujours bien repérés.

– le départ : il existe un certain décalage, variable selon la batterie et la longueur du fil de mise à feu, entre le zéro du compte à rebours et l'instant exact où la fusée commence à s'élever. Il faut donc déclencher son chronomètre à cet instant précis. L'habitude sera vite prise.



– la culmination : lorsque le ciel est chargé de nuages, ou si les couleurs de la fusée se confondent avec le ciel, il est difficile de voir le point exact de culmination, qui ne se situe pas toujours au moment de l'éjection du système de récupération, visualisé par un petit panache de fumée. Là aussi, ce sera l'habitude qui permettra de reconnaître la culmination.

Cette remarque à propos de la culmination est aussi valable pour la mesure d'altitude. Il faut s'habituer à suivre ses micro-fusées et ce n'est pas facile pour les premières fois car on est surpris par la vitesse atteinte en quelques dixièmes de seconde.

Les erreurs : les risques d'erreur sont donc importants et le meilleur moyen de les diminuer est d'effectuer un double chronométrage et une double mesure d'altitude.

LE TRAITEMENT ET L'EXPLOITATION DES RÉSULTATS

De retour de la campagne de lancement, nous nous trouvons face à de nombreuses observations et mesures qui serviront à expliquer le vol et les performances des fusées lancées.

1ère PHASE : LE TABLEAU RÉCAPITULATIF (p. 30)

Toutes les caractéristiques doivent être regroupées sur un tableau récapitulatif. Les différents observateurs complètent ce tableau suivant la tâche qu'ils s'étaient assignée avant la campagne.

Si une mesure n'a pu être faite, tracer un tiré dans la case correspondante pour éviter de confondre avec une case pas encore remplie.

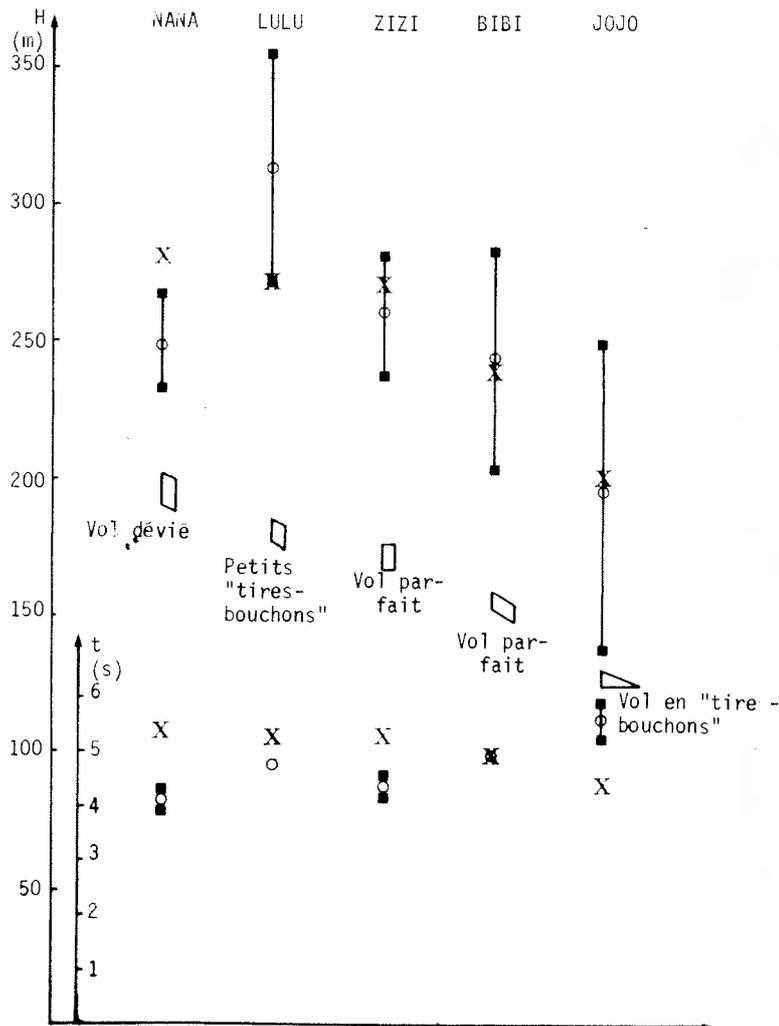
Le tableau contient toutes les informations à l'état brut, il faut donc traiter les informations avant de les utiliser.

A la fin de l'établissement de ce tableau, il est possible de supprimer les quelques résultats aberrants (mauvaise mesure, incohérence,...).

Mais par le fait qu'il contient toutes les informations, le tableau manque de clarté, car trop chargé. Nous en extrairons quelques informations importantes que nous présenterons plus simplement.

2ème PHASE : LE GRAPHIQUE

Nous prendrons la ou les mesures qui nous intéressent directement et nous les représenterons sur un graphique, si



possible en respectant un ordre d'évolution par exemple par rapport au paramètre étudié (la masse de la fusée, la surface des ailerons...).

Sur ce graphique, devront apparaître les mesures, les moyennes éventuelles, les évaluations d'erreurs et les remarques.

3ème PHASE : L'EXPLOITATION

Il s'agit maintenant pour nous de tirer des enseignements des résultats obtenus. S'ils sont cohérents, nous en déduisons des lois de variations, des ordres de grandeurs et surtout des explications sur le déroulement du vol.

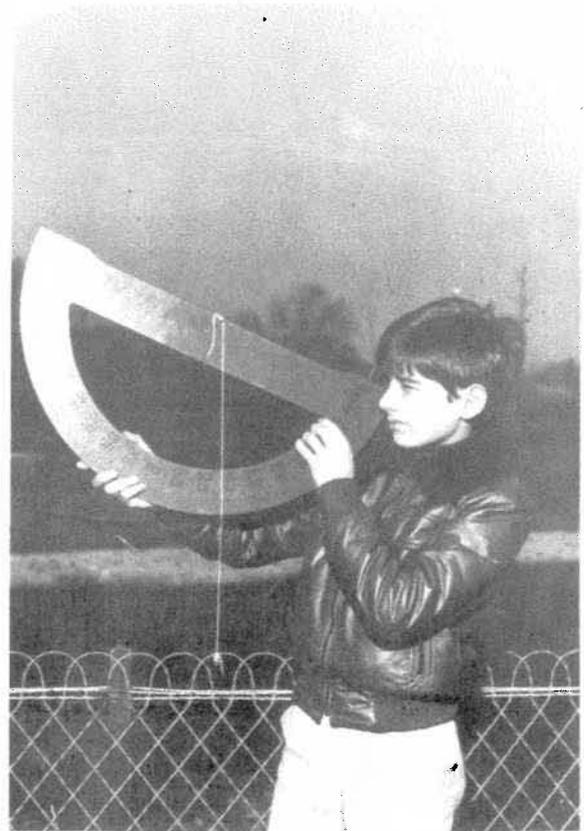
S'ils ne le sont pas (et ils ne le sont jamais tous), nous analyserons les raisons des erreurs et des échecs expérimentaux. Nous en définirons ensuite des nouvelles conditions expérimentales pour répondre aux questions auxquelles nous n'avons pu répondre.

4ème PHASE : LA CONCLUSION

Il faut conclure : il ne suffit pas de faire une analyse détaillée des résultats. Avant de repartir à dessiner, construire et lancer notre prochaine fusée, nous devons faire la synthèse de ce que nous avons obtenu et en déduire une ligne d'action pour la prochaine construction.

C'est au prix de cette réflexion, parfois difficile mais toujours enrichissante que nous ne resterons pas dans un « tâtonnement sauvage » sans valeur de formation. C'est la condition essentielle d'un véritable projet.

Et n'oublions pas notre carnet et notre crayon pour prendre des notes sur le terrain de lancement !



LÉGENDE X : CALCUL PRÉVISIONNEL
■ : MESURES
○ : MOYENNE DES MESURES

FUSEE	NANA	LULO	ZIZI	BIBI	JOJO	
Moteur	C6 - 5	C6 - 5	C6 - 5	C6 - 5	C6 - 5	
Masse (g)	35	35	35	35	35	
Longueur de la fusée (mm)	295	295	295	295	295	
Longueur du cône	45	45	45	45	45	
Longueur entre la pointe et le haut des ailerons (mm)	243	261	251	239	243	
Nombre d'ailerons	4	4	4	4	4	
C.G (à partir du nez - mm)	220	220	220	220	220	
C.P (à partir du nez - mm)	233	233	233	233	233	
Marge statique (distance CG - CP - mm)	13	13	13	13	13	
Forme de l'aile (mm)						
CA	1	1	1	1	1	
Maitre-couple (mm ²)	514	564	564	724	1 014	
Système de récupération	Banderolle	Banderolle	Banderolle	Banderolle	Banderolle	
Prévisionnel	Altitude (m)	280	270	270	240	200
	Temps (s)	5,4	5,3	5,3	5	4,4
Expérience	Influence des ailerons sur les performances en altitude des fusées					
Déroulement du vol	Bon. Un peu dévié.	0.K petits tirs-bouchons lors de la montée	0.K	0.K	Tire-bouchon	

Temps de culmination (s)	1	4,2	4,8	4,2	5	5,2
	2	4	4,8	4,4	5	5,9
Altitude de culmination (m)	1	246	271	280	283	246
	2	232	355	236	204	137
	3	-	-	267	-	198



Les Techniques Complémentaires

Lorsque vous aurez expérimenté la micro-fusée telle qu'elle vient de vous être décrite, si vous avez l'esprit un tant soit peu curieux et scientifique, vous aurez envie de compiler un peu vos montages.

GROUPEMENT DE MOTEURS

L'une des premières pensées qui nous vient est de vouloir fabriquer une fusée plus importante afin d'importer du matériel : plusieurs parachutes, ou un accéléromètre, ou des contrefils, etc... (ce ne sont pas les idées qui nous manquent...).

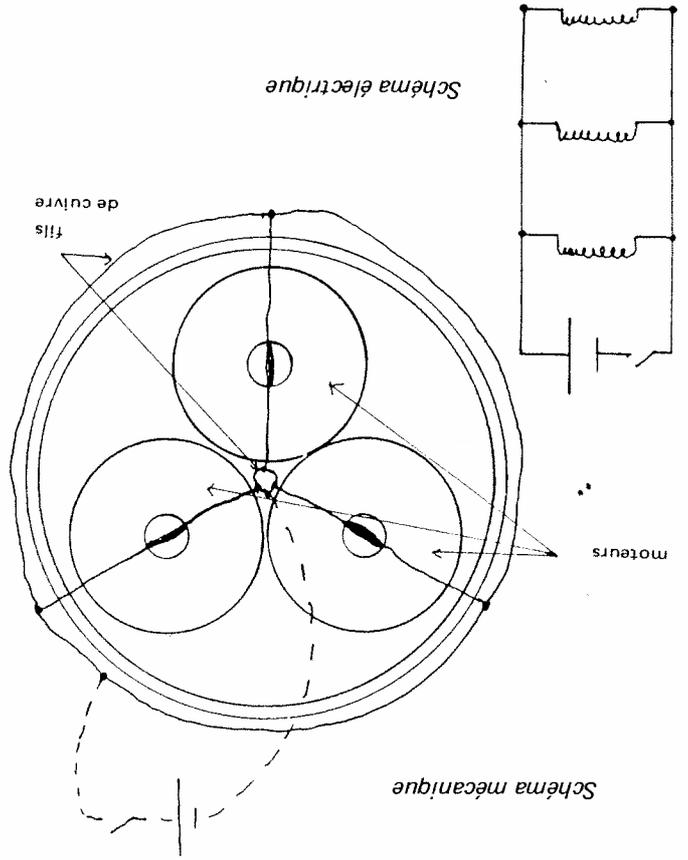
Il vous faut pour cela un moteur puissant : il suffit de grouper 2 ou 3 moteurs en parallèle.

Puisque vous êtes astucieux, la construction ne vous cause pas trop de problèmes : veillez à la bonne étanchéité du compartiment qui devra éjecter le système de récupération et à la position du centre de gravité.

Le seul point sur lequel vous buterez sera la mise à feu **simultane** de tous les moteurs : deux méthodes sont utilisées :

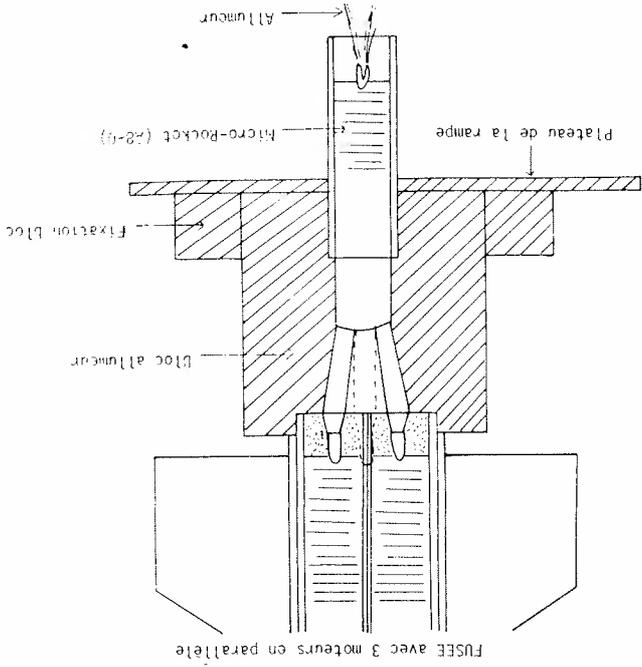
- allumage par 3 allumeurs branchés en parallèle (voir figure).
- allumage par micro-rocket (voir figure).

1 - ALLUMAGE PAR 3 ALLUMEURS BRANCHÉS EN PARALLÈLE :



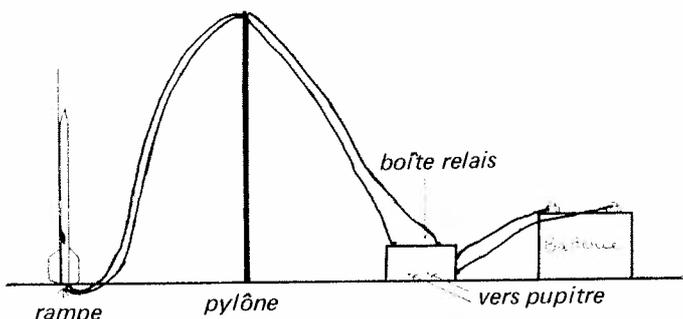
Une micro-rocket est un propulseur fixe utilisé comme allumeur d'un propulseur mobile.
 Dans ce cas, nous avons utilisé un moteur d'impulseur AB-0 fixé à un bloc allumeur percé de 3 canaux aboutissant aux 3 moteurs.

2 - ALLUMAGE PAR MICRO-ROCKET :



CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

- 1) Utiliser des propulseurs à temps de combustion long et à poussée constante (B6-4 - C6 - 5).
- 2) Assurer la symétrie et le parallélisme des moteurs par rapport à l'axe longitudinal de la fusée.
- 3) Choisir des allumeurs recouverts d'une couche de poudre identique et les couper à la même longueur.
- 4) Mettre la batterie d'alimentation au pied de la rampe et commander la mise à feu à distance par l'intermédiaire d'un relais.
- 5) Les deux fils d'allumage reliant la batterie aux allumeurs doivent pouvoir suivre la fusée durant son parcours sur la rampe en profitant de son guidage.
- 6) Relier les allumeurs en parallèle :
 - soit en les reliant par des dominos,
 - soit en les soudant (avant de les introduire dans les moteurs) sur deux fils de cuivre.



FUSÉES A PLUSIEURS ÉTAGES :

Si par contre vous désirez augmenter l'altitude atteinte par votre micro-fusée, il vous faudra l'équiper d'un étage supplémentaire. La réalisation d'une fusée bi-étage est relativement simple. Le second étage sera tout simplement une fusée comme toutes celles que vous avez réalisées. Le premier étage comportera un nombre d'ailerons égal à celui du second étage, collés sur un tube de carton dont la longueur sera égale à celle d'un moteur. Le moteur sera différent de celui utilisé habituellement : ce sera un «*impulseur*» (sans charge d'éjection de système de récupération) dont le code pourra être A-8-0 ; B-14-0 ; C-6-0 ; ... le dernier chiffre étant toujours zéro.

Le premier étage sera mis à feu comme habituellement, par dispositif électrique. Le second étage est allumé **automatiquement** par les gaz chauds entraînant des restes de propergol du 1er étage à la fin de la combustion.

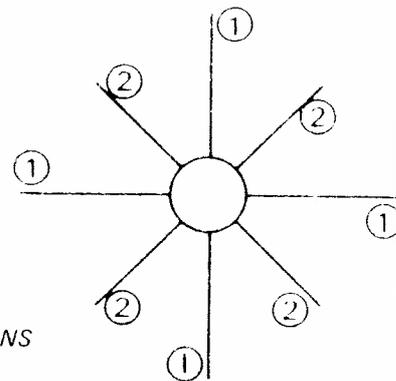
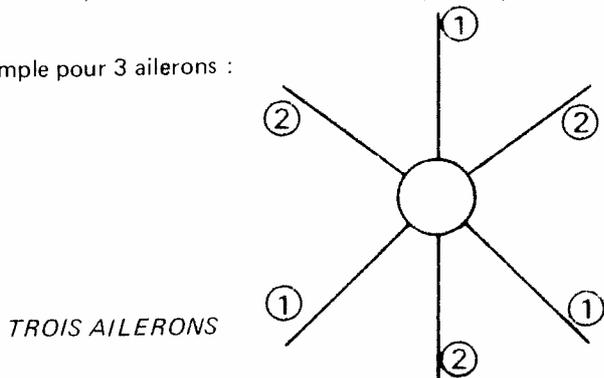
Problèmes à résoudre :

a) Position des empennages du 1er étage :

Ils seront positionnés soit dans le prolongement de ceux du 2e, sans espace intermédiaire, afin de ne pas créer de turbulences, ou encore en quinconce.

De toute façon, ils devront être de surface plus importante.

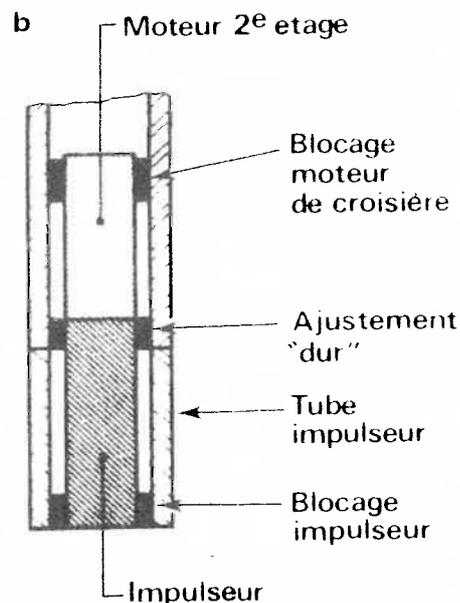
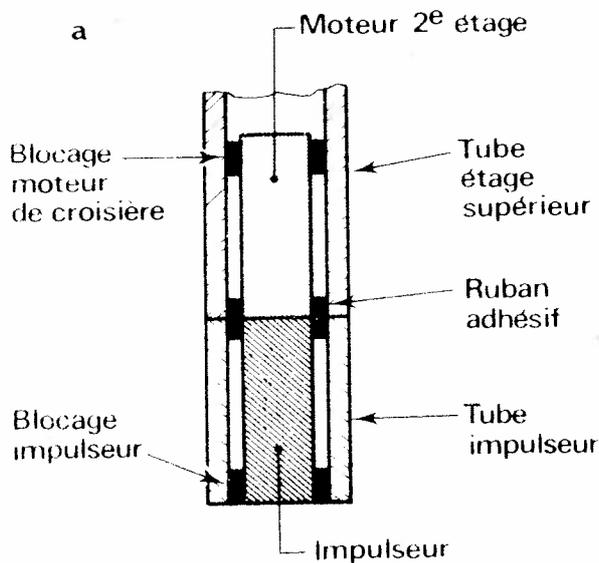
Exemple pour 3 ailerons :



QUATRE AILERONS

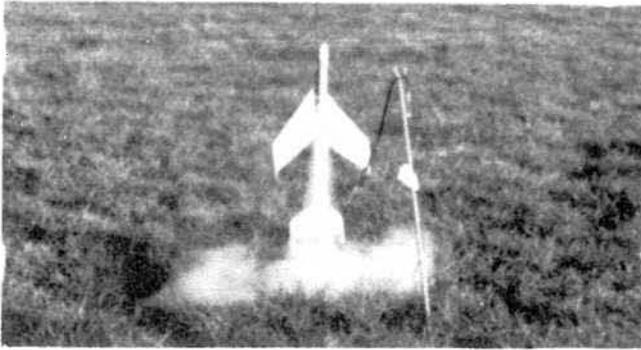
b) Liaison des 2 étages :

Elle se fera à **frottement dur**, sinon le premier étage n'allumera pas le second. Une méthode simple : laisser dépasser le moteur du 2e étage de 6 à 8 mm. C'est sur cet espace que vient s'enfiler le 1er étage. Quelques tours de ruban adhésif sur cette partie du moteur régleront la force de liaison étage 1 – étage 2.

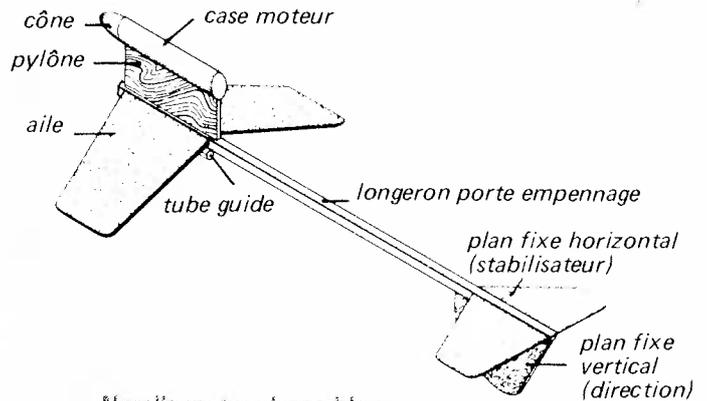


c) Attention :

- la séparation ne doit pas engendrer une déviation de la trajectoire.
- l'ensemble des 2 étages doit être rééquilibré exactement comme s'il formait une fusée à lui seul.



Si elle est trop faible, le moteur éjecté frôlera ou heurtera l'empennage.



Nacelle moteur larguable :

Un planeur sera d'autant plus performant que son poids et sa résistance au vent seront réduits. Le système de la nacelle larguable se révèle très intéressant.

NAVETTES

Ce sont des planeurs propulsés par des moteurs et décollant verticalement, comme une fusée. Mais le retour vers la terre s'effectue en vol plané, au lieu de faire appel à un parachute. Il existe quatre types principaux de navettes :

- à moteur arrière,
- à moteur avant,
- à nacelle moteur larguable,
- gigogne.

Le problème de stabilité se pose comme pour les mini-fusées. Le moteur, en général, est le plus en avant possible, pour éviter les déviations, surtout au cours de la phase ascendante.

Moteur arrière :

Sur ces modèles, deux des empennages présentent une très grande surface et constituent les ailes équipées de gouvernes.

Ces gouvernes sont maintenues droites par le moteur, en cours de vol propulsé. Au moment de l'éjection, les gouvernes se braquent, ce qui a pour effet de faire légèrement cabrer le modèle et de donner aux ailes une certaine incidence créant une force de portance qui assure la sustentation du modèle. L'avant peut être alourdi par un certain nombre d'enveloppes de moteurs vides, de manière à améliorer la stabilité.

Toutes les gouvernes doivent être parfaitement dans le prolongement du plan fixe au cours de la phase ascendante du vol.

Le principal problème est la détermination du centre de gravité. Celui-ci doit être :

- suffisamment en avant pour obtenir une bonne ascension ;
- assez en arrière pour obtenir un bon « plané ».

Moteur avant :

Le moteur doit être placé de telle façon que la tuyère soit au niveau de l'axe médian de l'implanture de l'aile. L'axe du moteur, l'intérieur de la voilure et le plan fixe stabilisateur horizontal doivent être parallèles entre eux.

S'il existe un angle quelconque, le modèle aura tendance à effectuer un looping et s'écrasera au sol avant l'éjection.

L'entretoise supportant la nacelle du moteur doit avoir une épaisseur d'environ 2 mm. Si elle est trop importante, le décentrement de la poussée fera piquer l'engin.

La fusée récupérée par parachute et par banderole est dépourvue d'empennages, mais elle est équipée d'une broche inclinée à laquelle est accroché le planeur monté libre sur la broche. Il joue un rôle de stabilisateur durant l'ascension.

La réaction due à l'éjection de l'ogive ralentit la nacelle, tandis que l'inertie du planeur déplace ce dernier vers l'avant et le dégage de la broche. Si la broche coince légèrement, la traînée du parachute est, en général, suffisante pour arracher la nacelle.

La nacelle doit être suffisamment libre pour tomber de son propre poids lorsque l'on tient le planeur « nez en l'air ».

Sur la tige guide de la rampe de lancement, le planeur et la nacelle sont placés de part et d'autre. Seule cette dernière porte des tubes guides. Moteur, voilure et empennages doivent être, ici aussi, parallèles.

Gigogne :

Deux planeurs sont placés de part et d'autre d'un corps propulseur, sans empennage, équipé d'un dispositif de récupération par parachute.

Sur ce principe on peut créer toute une gamme de réalisations. Dans tous les cas, le corps lanceur doit être très long et très stable.

Le planeur est monté au voisinage du centre de gravité du véhicule lanceur. Une broche assez large joignant le planeur au lanceur au cours de l'ascension.

Essai plané :

La navette doit être soigneusement réglée avant le lancement.

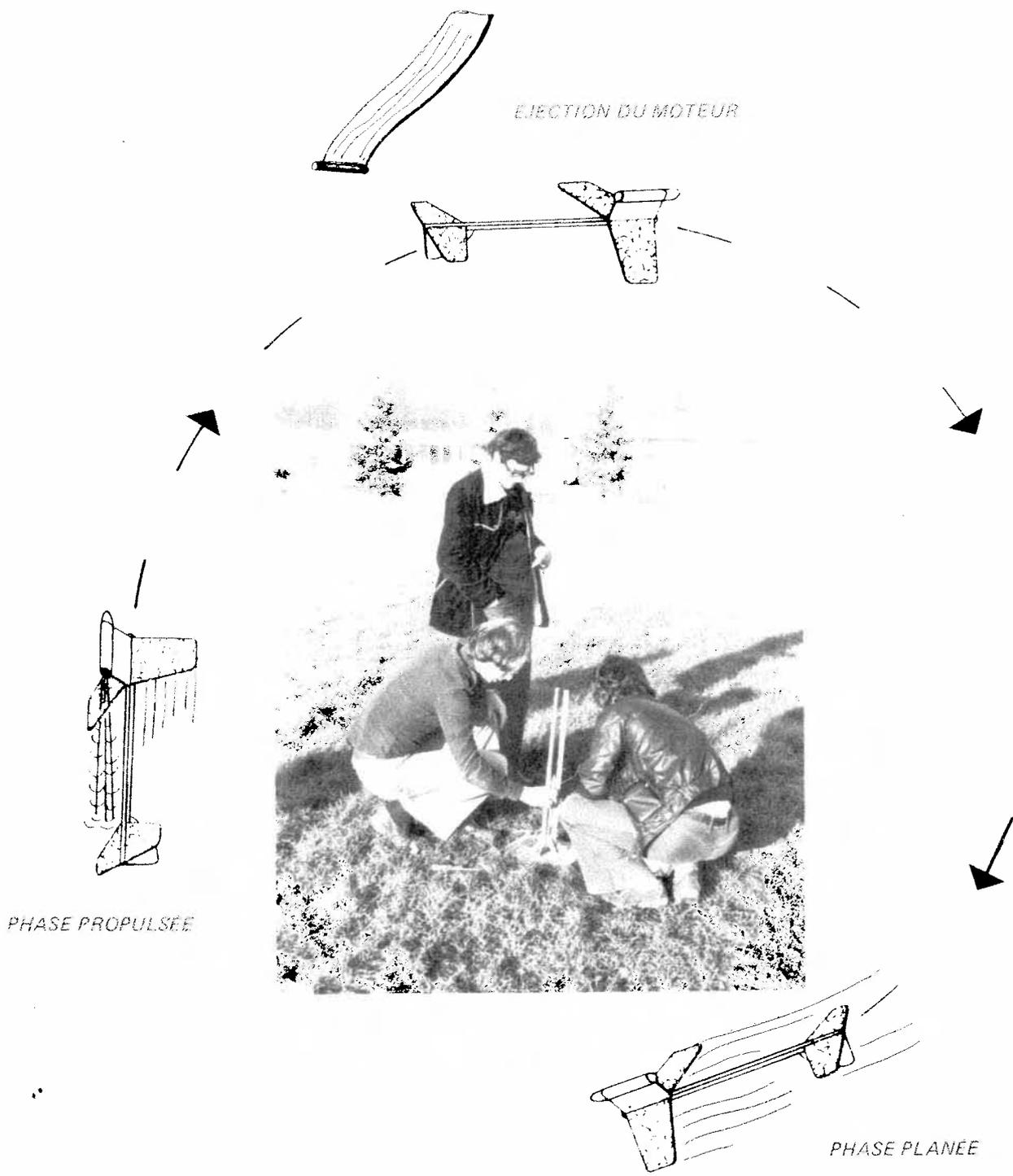
Celles à moteur arrière se règlent par braquage des gouvernes jusqu'à ce qu'un vol plané parfait soit obtenu.

Les autres sont réglées par lestage du nez.

Pour bien régler une navette, il faut la lancer sans propulseur, d'un mouvement doux, à l'horizontale, droit dans le vent (comme l'on ferait avec un petit avion de papier) :

- s'il décroche, lester le nez
- s'il vire, ajouter un très petit lest sur l'aile placée à l'extérieur du virage.

Si toutes les recommandations sont suivies, le vol du planeur sera des plus spectaculaires.



ET APRES !...

Les micro-fusées ne sont bien sûr qu'une étape, destinée à vous introduire dans le monde passionnant de l'Aéronautique et de l'Espace.

Par les techniques complémentaires présentées dans ce chapitre, nous avons voulu vous inciter à aller plus avant, à découvrir les vastes possibilités offertes par ce type d'activité et la progression possible en passant aux mini-fusées, puis, pourquoi pas, aux fusées expérimentales ; mais aussi en

découvrant l'Aéronautique par la pratique de l'aéromodélisme (du planeur à l'avion radiocommandé). Ces pratiques, tout en abordant des domaines variés, tels la mécanique, l'aérodynamique, la métrologie ou des techniques nouvelles (télécommande, électronique) sont un outil pédagogique très puissant pour l'acquisition de la méthode expérimentale par les jeunes.

Quant à vous, éducateurs, elles vous offrent la possibilité de mettre les enfants qui vous sont confiés en prise directe avec un monde en constant devenir, dans lequel sciences et techniques ont un rôle sans cesse grandissant.

La Sécurité

★ SA CONSTRUCTION :

La micro-fusée doit avoir une masse inférieure à 300 g, propulseur compris.

Elle doit être construite en matériau léger et ne pas contenir de pièces métalliques importantes (masse métallique totale inférieure à 50 g) ni proéminantes.

Elle ne peut contenir aucun système explosif ou pyrotechnique autre que le propulseur.

Elle ne doit comporter aucun angle vif en matériau dur susceptible d'être dangereux lors de sa chute.

★ SON PROPULSEUR :

Le propulseur doit être agréé par le C.N.E.S. et ne doit être remis que lors de la campagne de lancement.

Après la mise à feu, les jets de gaz propulsifs issus de la tuyère, puis l'explosion de la charge d'ouverture rendent dangereux l'axe du propulseur à 30 cm de part et d'autre de celui-ci.

De par sa conception et la constitution de la poudre, le propulseur présente un maximum de sûreté d'emploi. Les chocs, l'écrasement, la chaleur ne doivent pas provoquer son allumage spontané. En revanche, ces contraintes peuvent modifier la structure du bloc de poudre propulsive ou de la tuyère en ciment (lésions, cassures) et empêcher un bon déroulement des séquences : éjection de la tuyère, perçage du tube, mauvaise combustion...

Pour pallier à ces inconvénients, les propulseurs ayant subi ces contraintes doivent être détruits en les plongeant dans l'eau quelques minutes.

★ RAMPE DE LANCEMENT

Une micro-fusée doit être lancée à partir d'une rampe. Cette rampe doit guider la fusée sur une longueur minimum de 75 cm.

Son site doit être compris entre 60° et 90°.

La micro-fusée ne peut être utilisée comme jeu de tir sur une cible.

★ SON ALLUMAGE :

L'allumage du propulseur doit se faire électriquement à distance. Le circuit de mise à feu doit comprendre une clé amovible de sécurité empêchant toute mise à feu intempestive durant les opérations sur rampe.

La clé de sécurité ne doit pouvoir être enlevée qu'en position de circuit électrique ouvert (pas de mise à feu). Le responsable des lancements doit conserver cette clé sur lui durant toutes les opérations sur rampe.

★ SON AIRE DE LANCEMENT

L'aire de lancement doit être une surface plane et dégagée d'au moins 50 m de côté (terrain de football).

Le gabarit de lancement est établi le plus possible dans le vent, en fonction des impératifs de sauvegarde en cas de retombée en chute libre de la pointe ou du moteur.

Le secteur interdit doit avoir :

– une ouverture de 30° de part et d'autre du gisement de la rampe ;

– une longueur (L) fonction du moteur.

Pendant chaque lancement, ce gabarit est interdit à toute personne.

★ LE COMPTE A REBOURS

Un compte à rebours minimal de 10 s doit être effectué pour prévenir les spectateurs et les équipes de lancement.

★ EN CAS D'INCIDENT

En cas de non allumage ou de chute en sortie de rampe, personne ne doit toucher une fusée avant un délai correspondant au fonctionnement de la charge d'éjection.

Matériel - Bibliographie

MATÉRIEL MICRO-FUSÉE

OUTILLAGE :

- Construction :
 - cuters (lames de rechange)
 - scie à métaux
 - paires de ciseaux
 - aiguilles de matelassier
 - reglets
 - pinces universelles
 - perceuse électrique et support horizontal (avec clé de mandrin).
 - marteau
 - serre-joints
 - étau
 - forêts
 - tournevis universel
 - pied à coulisse
 - lime
- Électricité :
 - fer à souder (et soudure)
- Dessin :
 - compas
 - taille crayon
 - rapporteurs
 - pinceaux

MATÉRIEL CONSOMMABLE :

- Construction :
 - épingles
 - ficelle de boucher
 - tubes de carton (Ø 20 mm)
 - planchettes de balsa (épaisseur 3 mm)
 - carrés de balsa (25x25 mm)
 - sacs plastiques
 - soie
 - toile émeri épaisse
 - papier de verre fin
 - colle à bois
 - ruban adhésif fin
 - œillets adhésifs
 - grenaille de fer
 - vis à bois (diamètre 4 mm)

- Électricité :
 - interrupteurs
 - poussoirs
 - voyants
 - prises mâles et femelles, multiples
 - fil de câblage
- Dessin :
 - peinture
 - papier quadrillé 5 x 5 (feuilles doubles)
 - papier calque
 - papier millimétré

MATÉRIEL DE MESURE :

- théodolites
- balance (0 - 500 g)
- contrôleur universel
- chronomètres à main
- anémomètre à main
- (chronomètre électrique)
- boussole avec clinomètre
- calculatrice
- soufflerie

MATÉRIEL DE LANCEMENT :

- moteurs (avec allumeurs)
- pupitre de mise à feu (avec clé)
- rampe de lancement
- tige de lancement
- câbles de batterie
- batterie
- câble d'allumage
- rallonge (10 m)

DOCUMENTATION :

- notes techniques
- documentation sur les activités spatiales (Centre National d'Études Spatiales).
- compte rendu d'autres stages
- liste d'objectifs.

NOTES TECHNIQUES

- N. 2 - La mesure d'altitude
- N. 3 - Les micro-fusées multi-étages
- N. 6 - Le vol de la fusée
- N. 8 - Les micro-propulseurs à réaction, principe.
- N. 14 - Les navettes spatiales
- N. 27 - La construction d'une micro fusée.
- N. 30 - Conditions de sécurité pour le lancement de micro-fusées.
- N. 33 - Le micro-propulseur C - 6
- N. 34 - Le micro-propulseur A - 8
- N. 35 - Le micro-propulseur B - 14
- N. 38 - Le micro-propulseur B - 6

FICHES TECHNIQUES

- N. 5 - Les groupements de propulseurs.
- N. 6 - Évaluation du Cx
- N. 7 - Détermination de la vitesse

CLAP

La Ligue Française de l'Enseignement et de l'Éducation Permanente, constituée selon la loi de 1901, est reconnue d'utilité publique. Elle est le plus important mouvement de jeunesse et d'éducation populaire français et, de ce fait, mène une action socio-culturelle de grande ampleur dans de nombreux secteurs : audio-visuel, culturel, vacances, sports, aviation, sciences et techniques...

Le C.L.A.P. (Centre Laïque d'Aéronautique Populaire), section scientifique et technique de la Ligue Française de l'Enseignement :

- Favorise, dans un but éducatif, la pratique d'activités de loisirs à dominante technique.
- Cherche à développer, chez le plus grand nombre, l'intérêt pour la science et les techniques.

Pour cela, il dispose :

- d'un éventail d'activités étendu et divers :
 - l'Aéromodélisme (du planeur à l'avion radiocommandé).
 - le vol réel et la construction grandeur.
 - les modèles réduits bateaux.
 - le maquettisme, sous toutes ses formes.
 - l'initiation à l'électronique.
 - la météorologie, la photo aérienne, l'astronomie.
 - les micro-fusées.
 - l'écologie, le cadre de vie.
- d'une infrastructure solide !
 - 100 responsables départementaux, 2000 sections.
- d'un ensemble de techniques d'éducation et de loisirs.
- d'un service de formation et d'animation.
- d'un système d'assurance très complet.

POUR AIDER SES SECTIONS ET CLUBS, LE C.L.A.P. :

- organise :
 - des stages de formation d'animateurs et d'enseignants
 - des séjours de vacances à dominante scientifique et technique pour les pré-adolescents et les adolescents
 - des confrontations départementales, régionales, nationales.
 - des démonstrations pour inciter jeunes et adultes à la pratique des diverses activités aéronautiques.
 - des expositions et conférences.
 - des examens aéronautiques officiels : le certificat d'initiation aéronautique, le brevet d'initiation aéronautique, le certificat d'aptitude à l'enseignement aéronautique.
- diffuse :
 - une revue technique : « AVIATION-C.L.A.P. »
 - des informations concernant l'animation.
- fournit le matériel pour la construction des planeurs et avions réduits.
- met à la disposition des sections ses délégués spécialisés pour aider, conseiller, former.
- étudie et édite des plans, des fiches techniques.
- facilite l'accès des jeunes au vol grandeur.

ANSTJ

● PRÉSENTATION :

L'Association Nationale Sciences Techniques Jeunesse est constituée selon la loi de 1901. Son objectif principal est le développement des activités scientifiques et techniques dans le domaine scolaire et extra-scolaire. Pour cela, elle :

- coordonne, stimule, soutient et organise les loisirs scientifiques et techniques des jeunes,
- prend en charge les procédures de sécurité des expériences, en particulier dans le domaine aérospatial,
- contribue à la formation pré-professionnelle des jeunes,
- collabore avec les établissements d'enseignement primaire et secondaire pour la réalisation de travaux à caractère expérimental.
- prépare des animateurs et des éducateurs aux méthodes de développement des projets scientifiques et techniques, leur apportant ainsi un outil supplémentaire pour leur action professionnelle.

● ACTIVITÉS :

L'A.N.S.T.J. réalise son objectif en organisant :

- des séminaires et des journées d'études,
- des séjours de vacances d'initiation aux sciences et aux techniques pour les jeunes de 10 à 19 ans,
- des stages de formation pour les animateurs des centres de vacances,
- des classes déplacées et des activités d'éveil en milieu scolaire,
- des stages pour les enseignants et les normaliens pour les activités d'éveil à dominante scientifique,
- des échanges internationaux de jeunes,
- la Dotation de l'Éveil Scientifique des Jeunes,
- un suivi des clubs scientifiques qui en font la demande par des visites régulières d'animateurs,
- de nombreux salons et expositions en collaboration.

Elle publie des lettres de liaison régulières et des comptes rendus de ses principales actions.