

SPÉCIAL HORS-SÉRIE N° 2 25,00 F

L'Argonaute

LE MAGAZINE DE LA DECOUVERTE



MICRO FUSEES

ISSN 0755-0502

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

Président-Directeur Général :
Directeur de la Publication,
Jacques Zimmer

Directeur de la rédaction :
Robert Marcellin

Rédacteur en chef administrateur :
Hubert Desrues

Secrétaire de Rédaction :
Dominique Ulvoas

Directeur Artistique :
Pierre Bompar

Maquette :
Florence Vigné

Chef de rubrique :
François Cherrier

Relations publiques:
Anne Cantegreit

Comité de rédaction :
Jean-Pierre Chasseau,
François Cherrier, Evelynne Simonnet,
Michel Fantin, Michel Dürr,
André Giordan, Philippe Gramet,
Aline Houdy, Tania d'Aubrydolles.

Comité Scientifique :
Martine Ben Taboulet,
Jacques Bros, Henri Cantegreit,
Emmanuel-Paul Désiré, Albert
Jacquard, Jean-Michel Kantor,
François Kourilsky, Patrick Lascaux,
Daniel Launois, Jacques Leconte,
Pierre Lepetit, Jean-Marc Lévy-Leblond,
Michel Paty, Jean-Claude Pecker,
Philippe Taquet, Max Verdone.

Corrections :
Nicole Vallée

Publicité :
Ariane Sponsorégie
16, rue du Colisée, 75008 Paris
Tél. : (1) 42.25.05.55

Rédaction, Administration, Vente,
abonnements : 3, rue Récamier,
75007 Paris - Tél. : (1) 45.49.03.04
Inspection des ventes
Bayard Presse n° vert.
(16) 05.29.36.87

Publié par l'Argonaute Editions
S.A. au capital de 1 444 000 F

Siège social :
3, rue Récamier, 75007 Paris
R.C. Paris B 0755-0502
Commission paritaire : 651 50
ISSN 0755-0502

Photocomposition : Key Graphic, Paris
Photogravure : I.G.P. Paris
Impression : Avenir Graphique
Distribution : M.L.P.

© 1987 L'Argonaute.

Edité avec la collaboration
du Centre national des lettres.

* Outre-mer : 280 F, 11 numéros.
Etranger : 300 F, 11 numéros. Suisse :
77 FS, 11 numéros, édition André Ei-
selé, 17, rue Cossonay, 1008 Prilly.
Canada : \$57,75, 11 numéros, Péri-
dica Inc GP 220 ville Mont Royal, PQ
Canada, H3P 3C4.

L'Argonaute

LE MAGAZINE DE LA DECOUVERTE

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
La conception d'un moteur de fusée	17
La mesure	27
Techniques complémentaires	31
La sécurité	35
Matériel et bibliographie	37



Afin de permettre aux jeunes de mener à bien leurs activités de loisirs dans le domaine aérospatial, le Service Jeunesse met à leur disposition une gamme de *propulseurs à poudre* et des *ballons stratosphériques*.

Il assure le contrôle technique des projets de pointes de fusées et de nacelles de ballons et les assiste pour les lancements grâce à des infrastructures appropriées.

Cette politique de soutien technique permet d'entretenir un dialogue fructueux avec les jeunes et tous ceux qui s'intéressent à l'Espace, (enseignants, éducateurs, etc...).

Vous pouvez nous soumettre vos projets d'expériences ou obtenir des informations sur les programmes spatiaux français en nous écrivant à :

CNES - Service Jeunesse
2, Place Maurice Quentin
75001 PARIS
Tél. (1) 45.08.75.00

25 ANS D'ESPACE ET DE JEUNESSE

Le Centre National d'Etudes Spatiales après 25 années de fonctionnement, se félicite de constater l'excellent parcours effectué par les jeunes passionnés d'Espace qui se livrent comme au premier jour de l'excitante aventure des lancements de fusées.

Offrir aux jeunes les moyens de se livrer à des expériences à l'aide de petits propulseurs performants en toute sécurité, constitue l'essentiel de l'orientation prise dès 1963.

Sommes-nous vraiment conscients du danger que représente la fabrication d'un petit propulseur à poudre ? Mesurons nous réellement l'aventurisme que constitue la mise en œuvre d'un tel engin fabriqué artisanalement ?

Toutes ces difficultés ont été contournées en menant une politique de concertation avec la Jeunesse, en leur faisant prendre conscience que la pyrotechnie reste une exclusivité du domaine professionnel et n'a rien à voir avec l'alchimie des mauvais pyromanes.

Aujourd'hui certaines ouvertures se créent dans la réglementation tendant à libéraliser l'action individuelle, mais nous devons être vigilants à chaque instant et discipliner notre attitude créative. Nous devons veiller à observer les règles impératives de la sécurité, les faire connaître, les faire appliquer par les plus jeunes. Les grandes associations nationales (Ligue de l'Enseignement, Francas, CEMEA, ANSTJ etc...) conjuguent leurs actions et coordonnent leurs moyens pour permettre de pratiquer cette activité en lui donnant toute sa dimension éducative, qu'on ne s'y trompe pas la micro-fusée cache en elle des ressources insoupçonnées :

- les essais divers,
- la mesure des paramètres du vol,
- Le guidage, la propulsion etc...

autant de centres d'intérêt pour mieux connaître et mieux comprendre.

Il serait dommage d'oublier l'aspect émotionnel de la mise à feu du propulseur, l'intensité du compte-à-rebours et l'ambiance exceptionnelle de la campagne de lancements, ce serait stigmatiser cette action dans une technique en négligeant le nouveau terrain d'aventure qu'elle représente pour les jeunes.

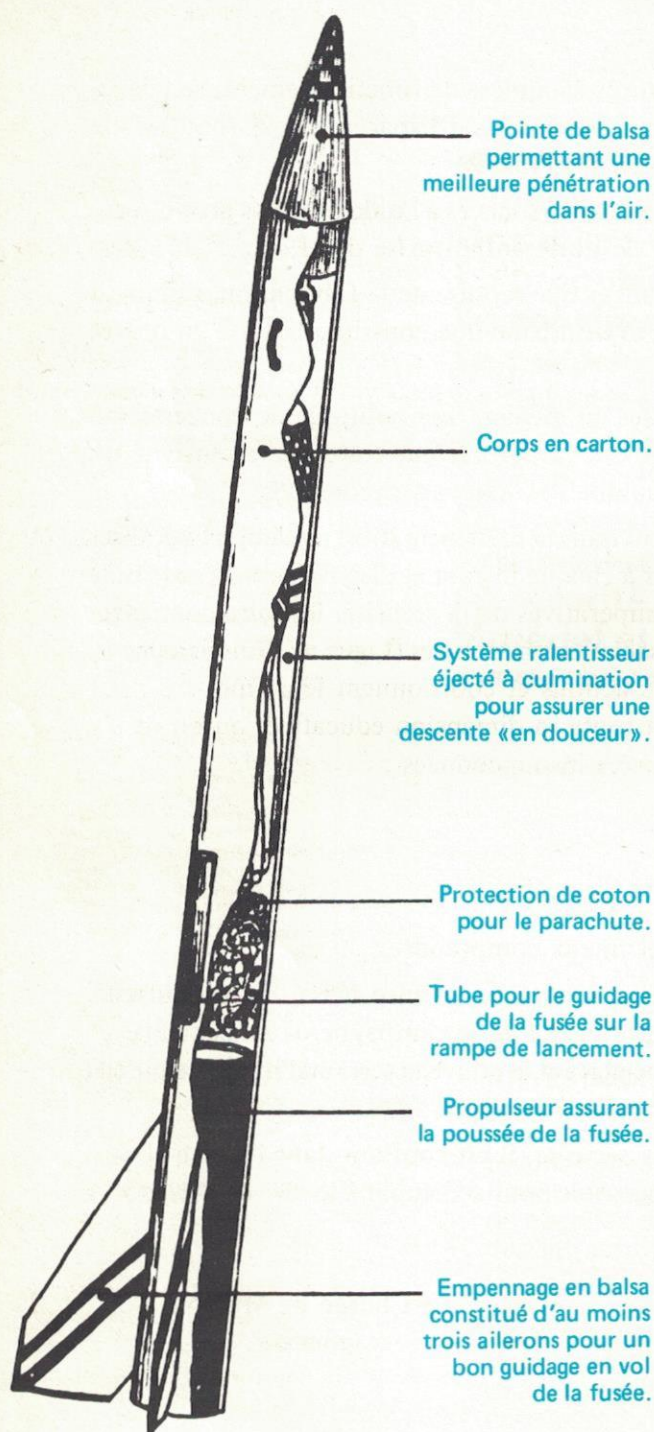
Pour sa part le CNES est le garant de la sécurité, il est confiant dans l'avenir de ces activités, il porte avec eux la part d'imaginaire indispensable pour accomplir "le rêve de l'Espace".

Le Chargé de Mission
"Jeunesse"

M. LEBARON

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'AGREMENT MICRO FUSEE

Bien que l'activité micro-fusée ne soit plus soumise à l'agrément, il n'en demeure pas moins que ce type d'activité pose des problèmes liés à la sécurité publique et reste réglementé par la circulaire n° 86-340 émanant du Ministère de l'Intérieur. Il est donc fortement conseillé aux animateurs responsables de clubs, enseignants, d'obtenir l'agrément. Celui-ci, délivré 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.

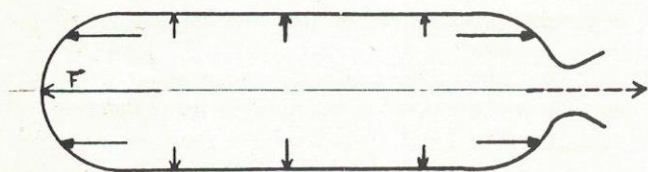
La Propulsion

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

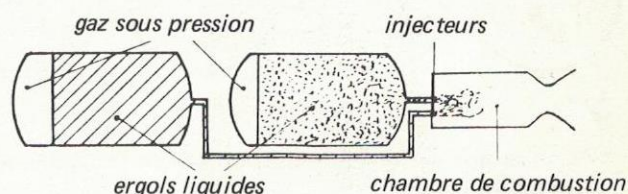
Le propulsif d'une fusée ordinaire consiste en un carburant et en un oxydant. Ce composé chimique nommé «propergol» se compose de deux ergols souvent liquides.

- 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.

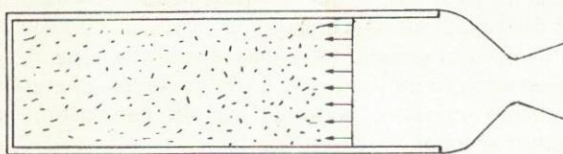
Forme des blocs :

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 » :

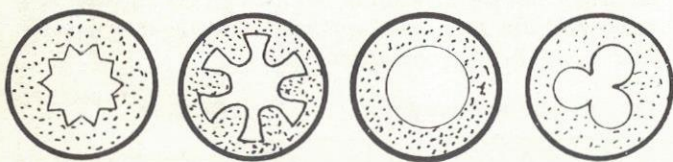
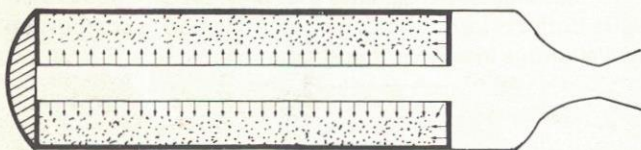
- le remplissage est maximum
- la poussée est faible
- le temps de combustion est long.



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

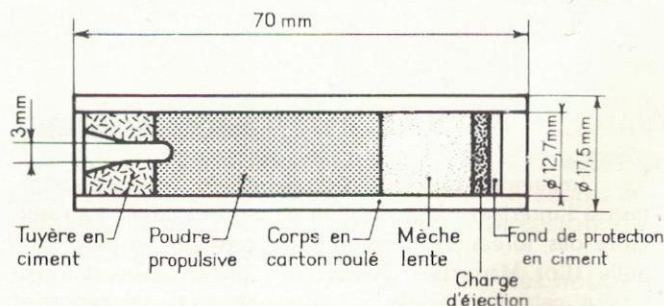
poussée étant à peu près constante, on peut donc dire qu'elle accélère graduellement pour atteindre son maximum de vitesse juste en fin de combustion. Un propulseur est de tous les moteurs, celui qui engendre la plus grande poussée par rapport à son poids.

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.

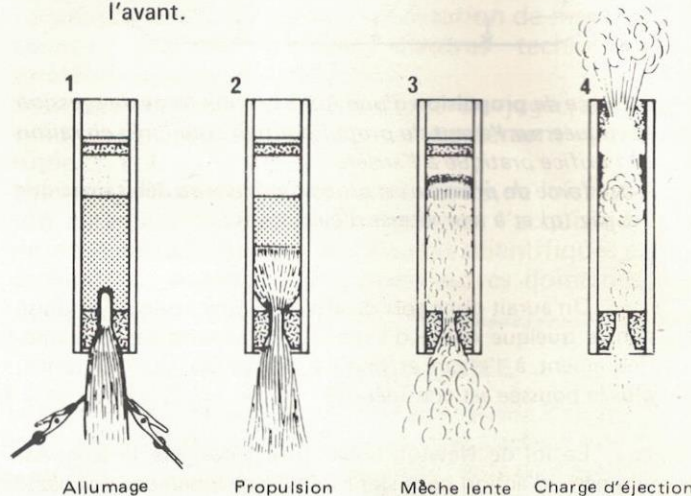


Coupe du propulseur

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.

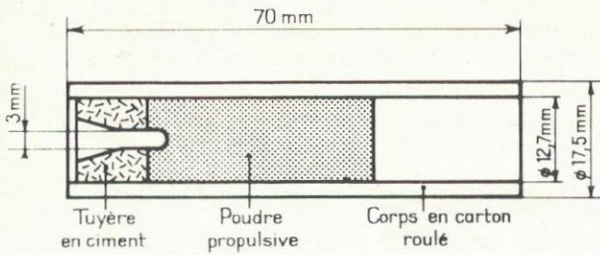


Fonctionnement du propulseur

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 :



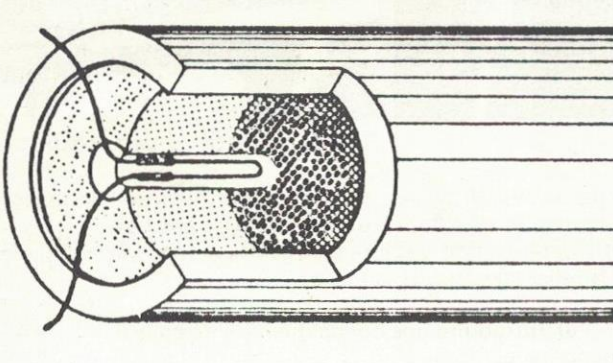
Allumage :

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.



Sécurité :

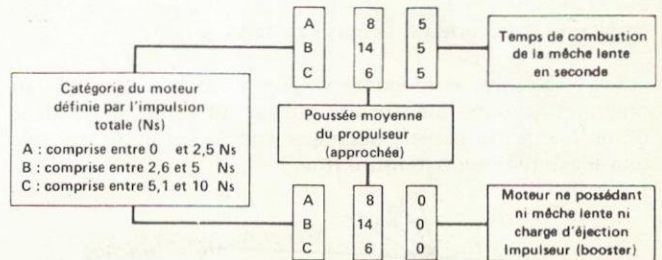
Après la mise à feu, les jets de gaz propulsifs issus de la tuyère, puis l'explosion de la charge d'ouverture rendent dangereux l'axe du propulseur à 30 cm de part et d'autre de celui-ci.

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 pou-

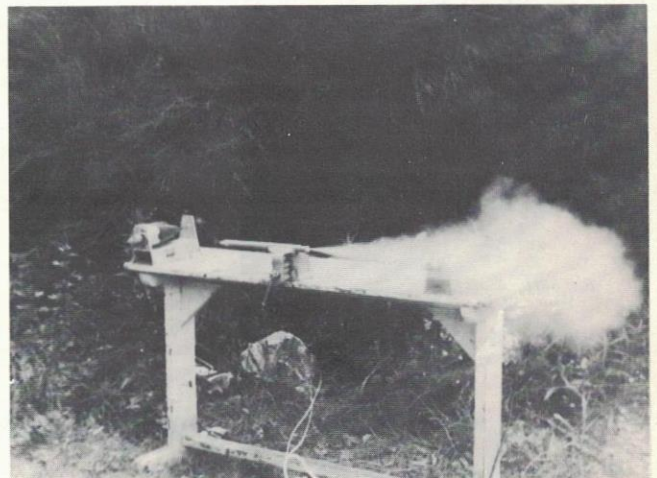
Remarque : Dans les micro-propulseurs le type de combustion est axial (en cigarette). La poudre brûle à partir de la tuyère jusqu'au fond du propulseur. Toutefois, en introduisant une baguette de balsa par la tuyère on constate que celle-ci s'enfonce plus ou moins suivant le type de moteur. Il est intéressant 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 :



$$\text{Impulsion totale} = \text{Poussée moyenne multipliée par temps de combustion}$$

$$N.S. = N \times S$$



dre, 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

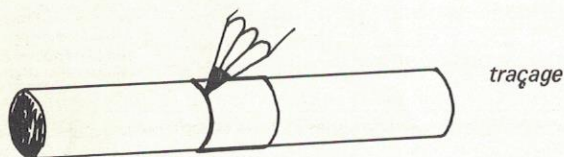
Cylindrique, ne présentant aucune déformation ou aspérité, il est réalisé dans un tube en carton ou en matériau rigide et léger, coupé aux dimensions désirées.

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.

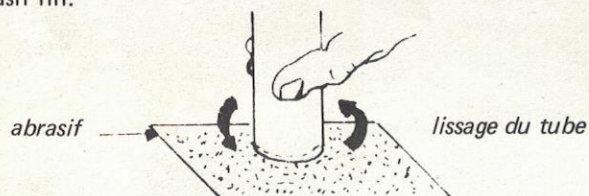
Voici comment obtenir le corps de la fusée :

— 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 couteur 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 couteur doit être bien affûtée. Procéder par légères pressions sur plusieurs tours, **sans jamais «forcer»** jusqu'à ce que le tube soit complètement sectionné.

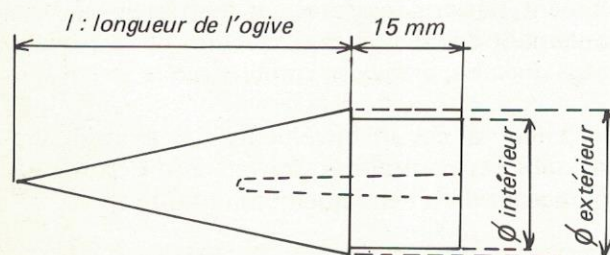
Afin que les extrémités du corps de la fusée soient bien droites et sans bavure, on peut les lisser sur du papier abrasif fin.



LA POINTE

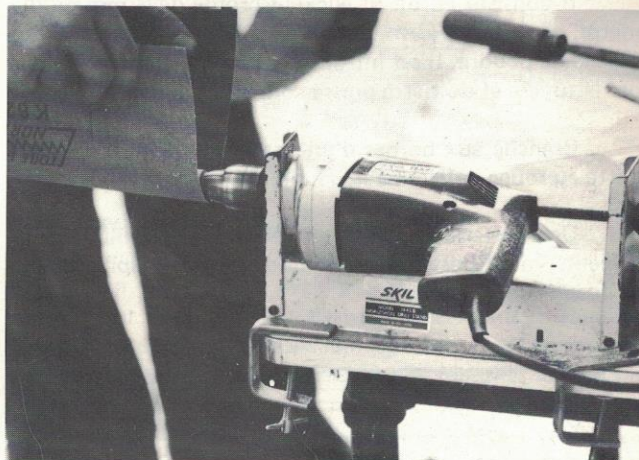
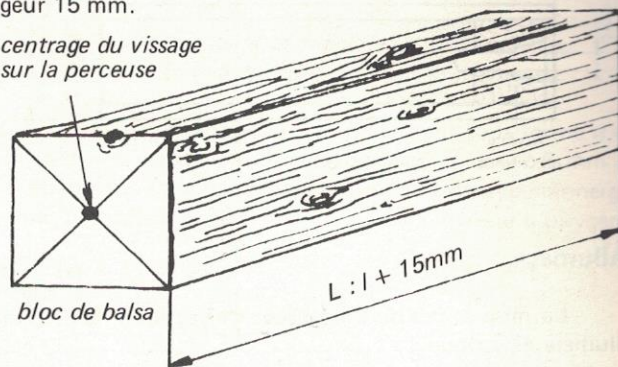
Elle doit glisser sans se coincer dans le corps de la fusée. Elle est aisément réalisée en tournant un bloc de balsa à l'aide d'une perceuse ordinaire montée sur un bâti horizontal. Une vis à bois de gros diamètre, dont la tête a été préalablement coupée, est introduite dans le mandrin. Le bloc de balsa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

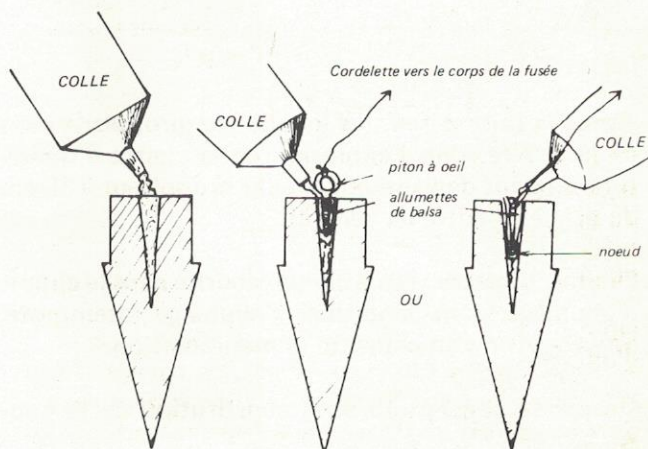


Pour le tournage, éviter le balsa dur.

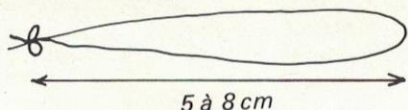
La partie cylindrique est ajustée pour obtenir un frottement doux dans le tube constituant le corps de la fusée.

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.

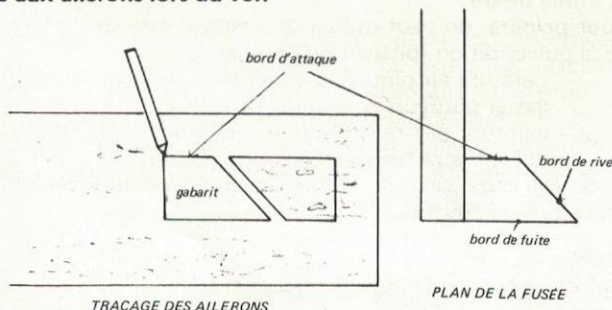
c) Si nécessaire, remettre de la colle.

L'EMPENNAGE

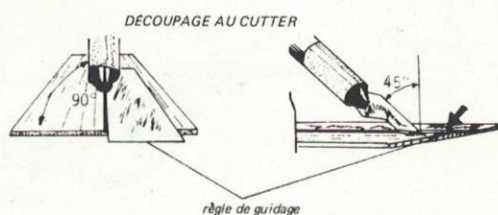
Les ailerons sont généralement exécutés dans une mince feuille de balsa dur (20 ou 30/10).

a) **Traçage** : 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.

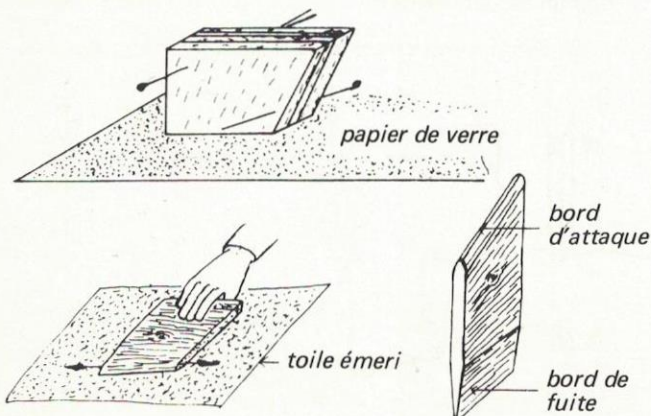
S'assurer que les bords d'attaques des ailerons sont bien parallèles au fil du bois pour donner un maximum de solidité aux ailerons lors du vol.



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

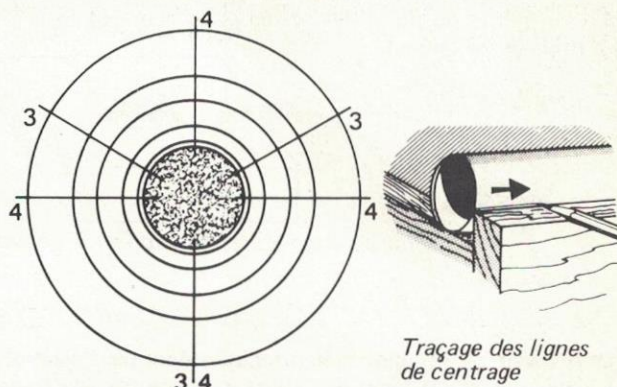


c) **Égalisation** : Il est indispensable que tous les ailerons soient de mêmes dimensions. Pour cela, il faut poncer tous les bords des ailerons ensemble. Les ailerons sont maintenus les uns contre les autres par des épingles.



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 :

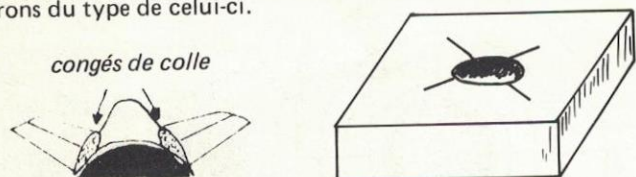
- appliquer un trait de colle au bord à coller de l'aile-ron et sur le corps de la fusée, en suivant les lignes du cen-trage.
- Laisser «prendre» la colle (préséchage) avant d'appli-quer fermement l'aile-ron sur le corps.
- Le soin apporté au collage influencera la stabilité en vol.
- Employer de préférence 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.

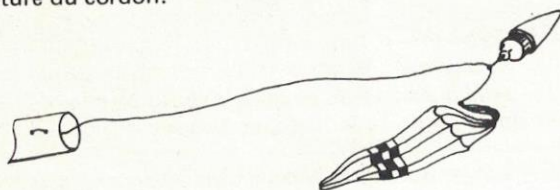
- Repercer le tube à 1 cm au dessus du premier trou. Sortir l'aiguille et un petit morceau de cordelette de l'intérieur du tube.

- 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.

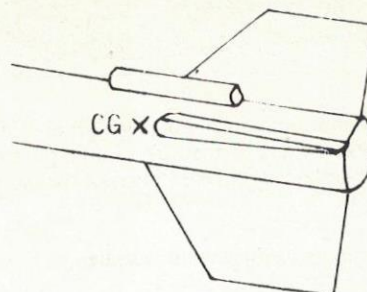


2) Enduire la ficelle de colle ininflammable (vinylique), l'introduire à l'intérieur du tube et la fixer tout le long du corps.

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 chalu-meu (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).

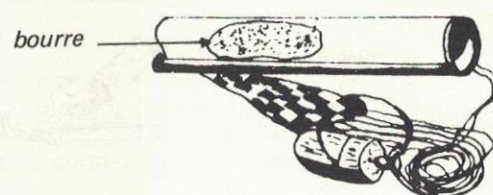
- peinture au pinceau : diluer les couches et éviter de passer plusieurs fois au même endroit.

- 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

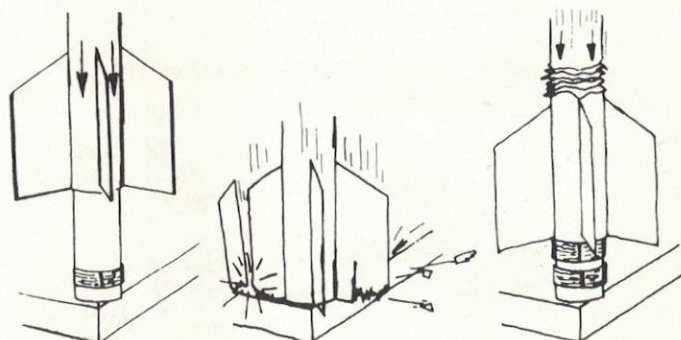
a) Mettre la bourre de protection (coton) sans la tasser, au fond du tube.



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.

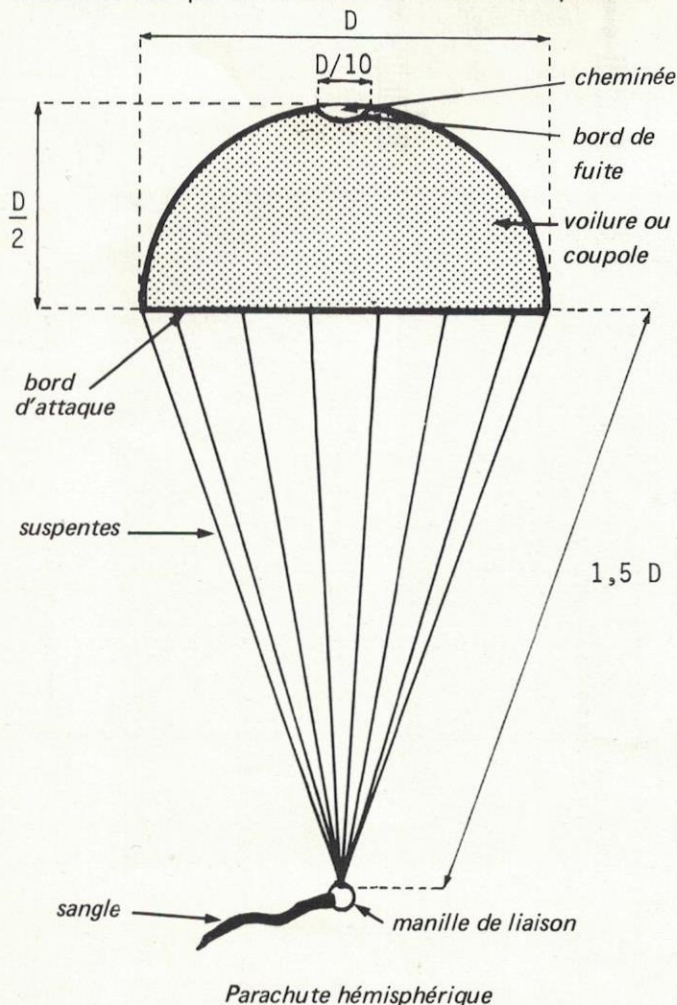
Nous chercherons à avoir un véhicule le plus freiné possible : grande surface, frottement important, forme peu profilée. Tous ces défauts aérodynamiques sont les qualités du parachute.

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

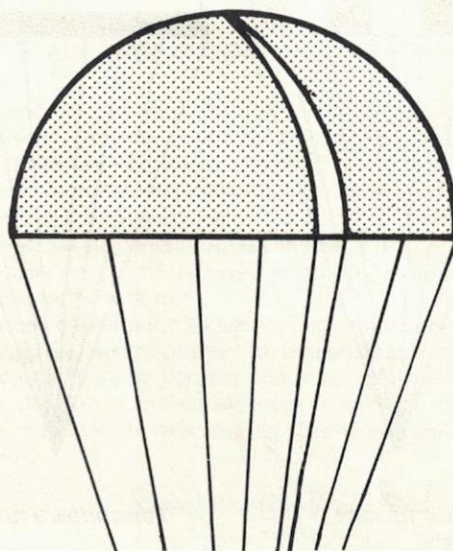
LE PARACHUTE HÉMISPHERIQUE

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.

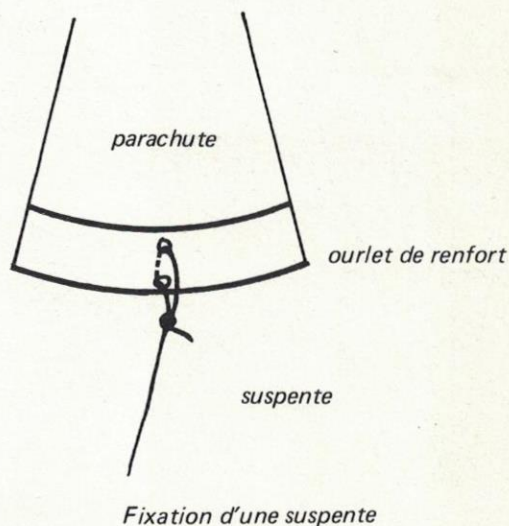


Les variantes modernes de ces parachutes remplacent cette cheminée par des fentes qui permettent au parachutiste de mieux guider sa descente.

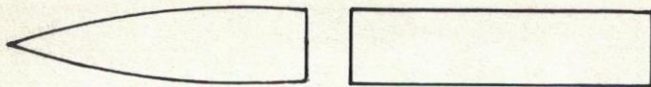


RÉALISATION DU PARACHUTE

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



— 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.

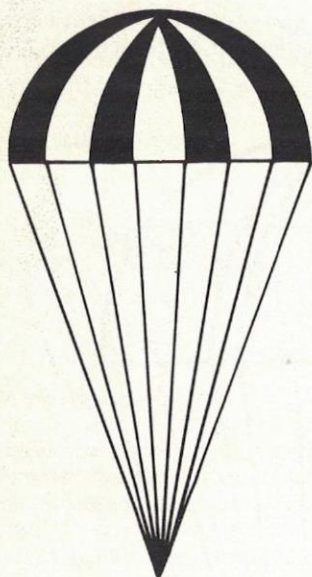


- il faut leur assurer une bonne fixation sur une toile solide.
- une fois leurs points de fixation définis, renforcer la toile en ces points (ourlet cousu, ruban adhésif).
- percer la toile en 2 points proches et nouer la suspente autour de ces 2 trous.

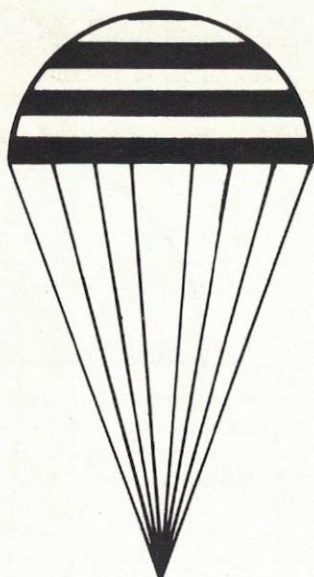
LE PARACHUTE CRUCIFORME

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.

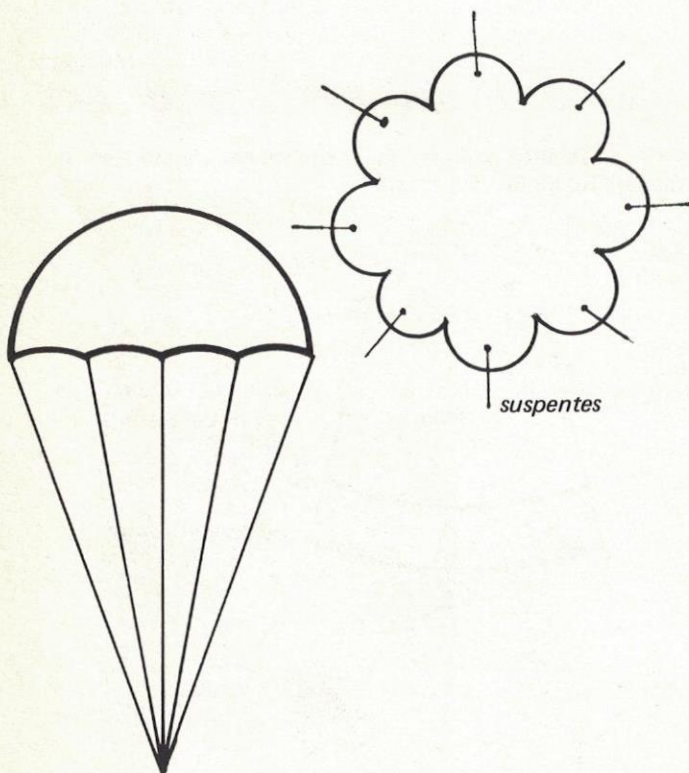
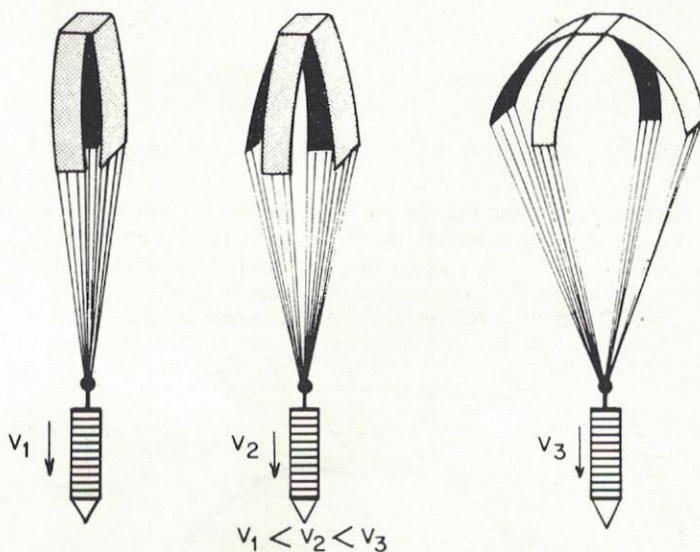
déformation du parachute cruciforme
en fonction de la vitesse



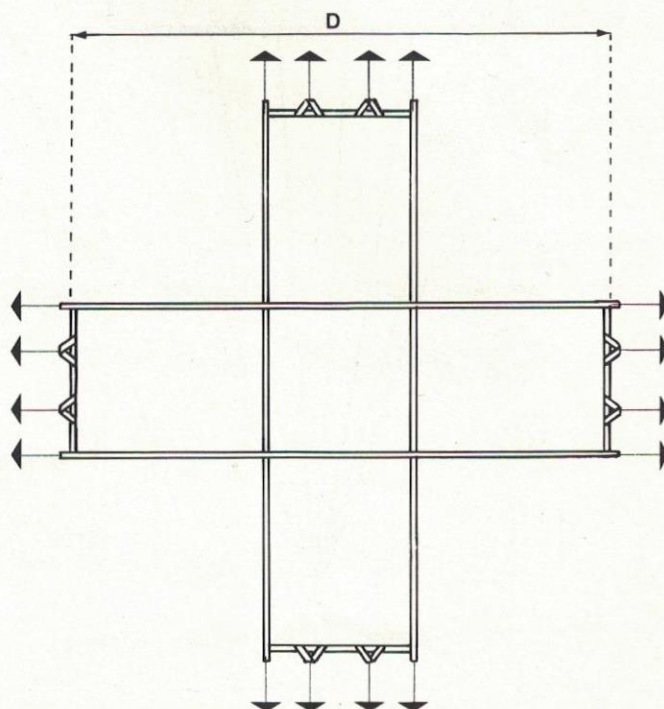
Parachute à fuseaux



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.

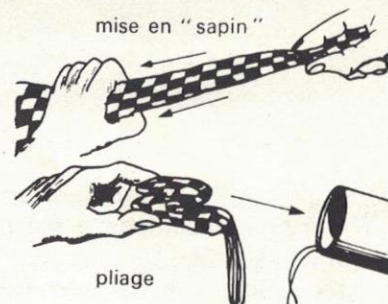


LA BANDEROLE

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.



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.

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.



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 !

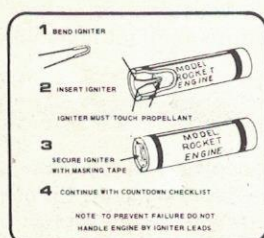
Aussi, tout autant que la construction, les systèmes de mise à feu et rampes de lancement revêtent-ils une importance cruciale dans la réussite ou l'échec d'un lancement. D'où la nécessité d'apporter un soin tout particulier lors de leur réalisation et de leur mise en place.

LES SYSTEMES DE MISE A FEU

L'allumeur :

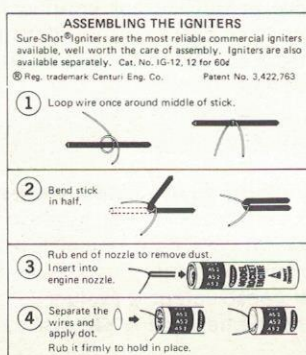
Il est constitué essentiellement par un fil de nickel-chrome de 2/10 ou 3/10 de mm de diamètre.

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.

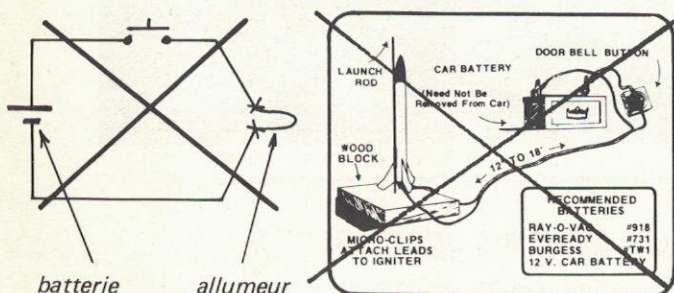
La batterie :

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).

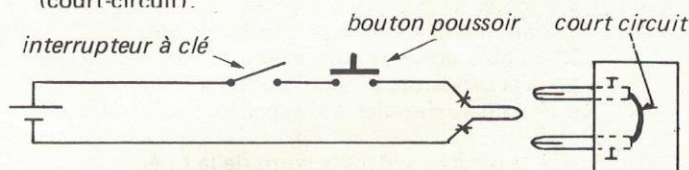


batterie

allumeur

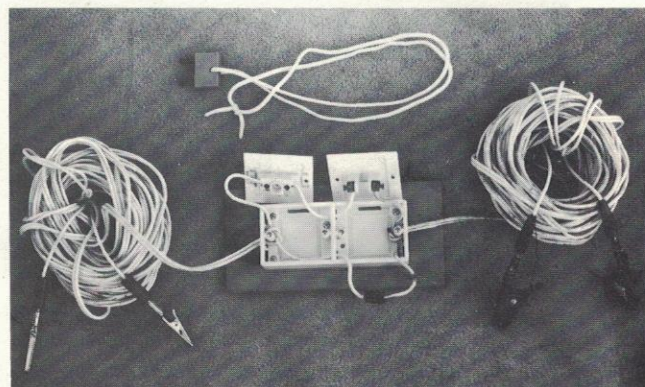
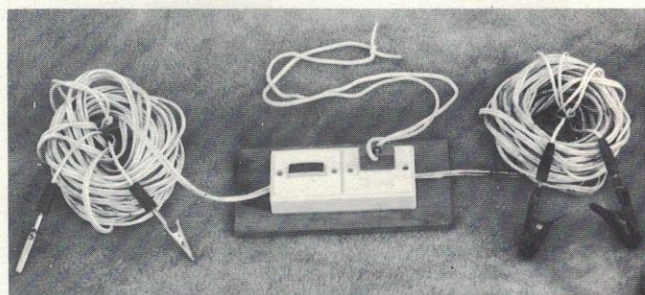
Il faut obligatoirement ajouter à ce système une **sécurité** dont le responsable du tir garde la **clé**, clé qu'il ne donne que lorsque la sécurité est respectée (voir le chapitre consacré à la sécurité).

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).

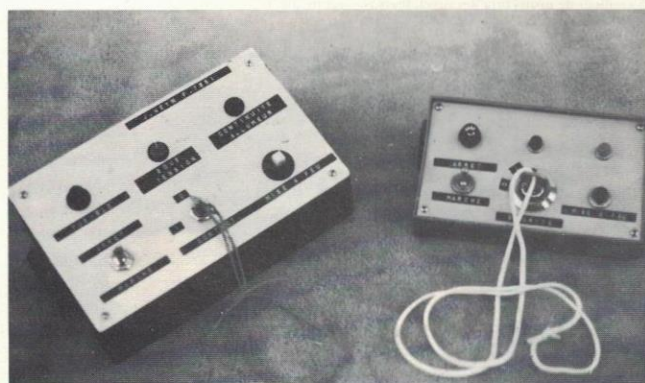
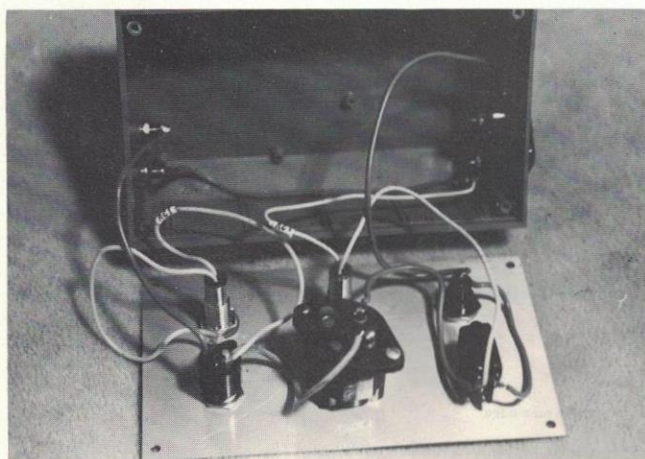
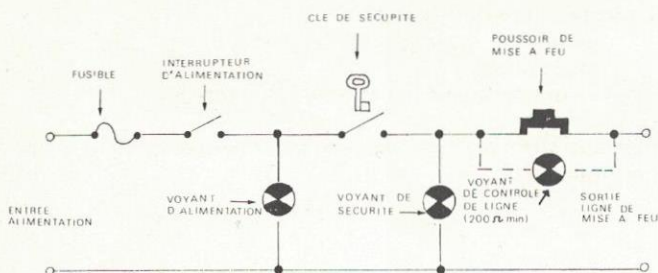
Ce dispositif rudimentaire de mise à feu peut être amélioré à l'aide de voyants lumineux de 12 volts. On peut aussi y ajouter un fusible et un interrupteur général.



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).

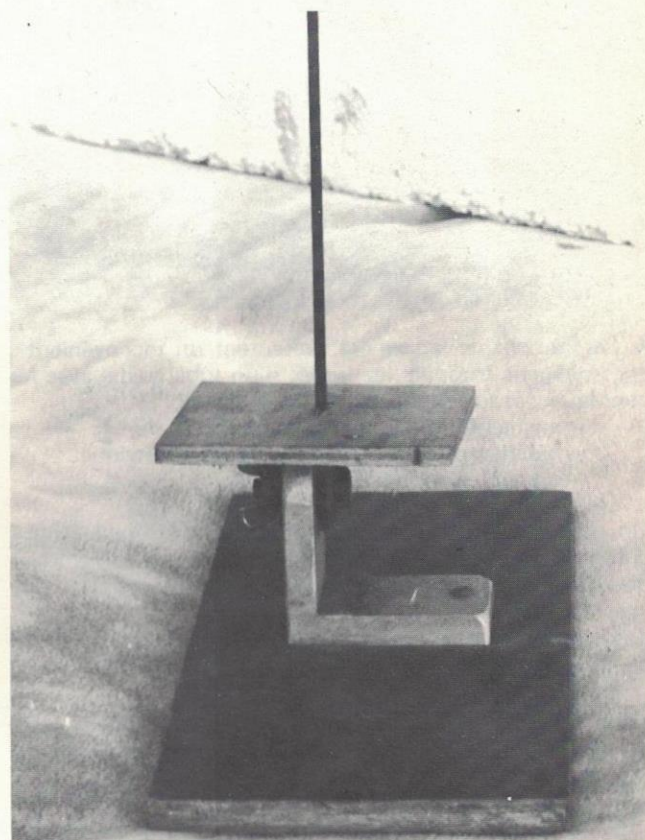
b) le voyant de contrôle ligne ne s'allume pas : voir le circuit vers l'allumeur (fiches, prises, câbles, pinces crocodiles reliant le câble à l'allumeur).

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**.

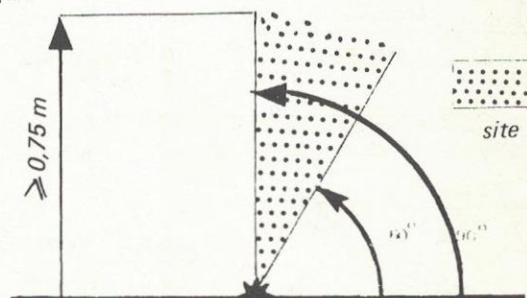
d) La fusée n'est pas partie après avoir appuyé sur le poussoir de mise à feu, tous les voyants sont allumés : vérifier que les pinces « crocodile » ne soient pas en court-circuit.

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.

AIRE DE LANCEMENT, ZONE DE SAUVEGARDE

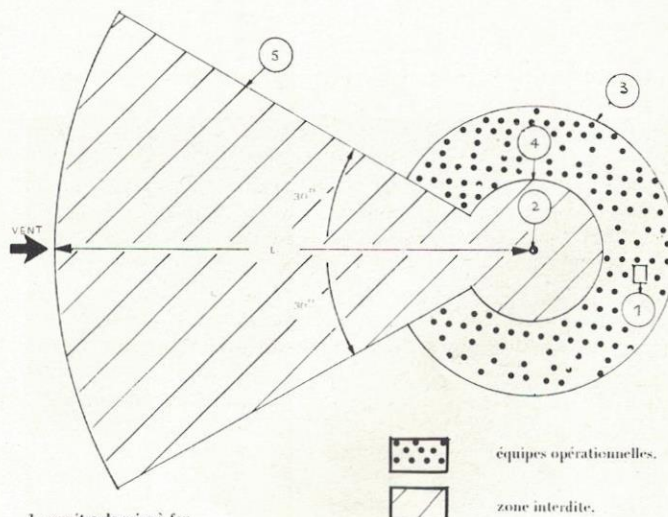
L'aire de lancement doit être une surface plane et dégagée d'au moins 50 m de côté (terrain de football).

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.



- 1 - pupitre de mise à feu
2 - rampe
3 - cercle de protection des spectateurs (R : 10 m)
4 - cercle de sécurité (R : 5 m)
5 - secteur de protection des spectateurs (ouverture 30°)

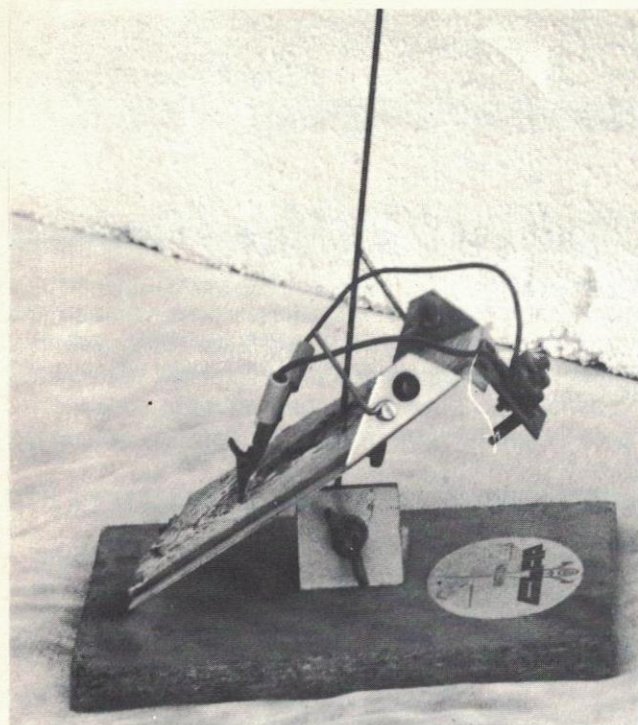


COMPTE A REBOURS

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.

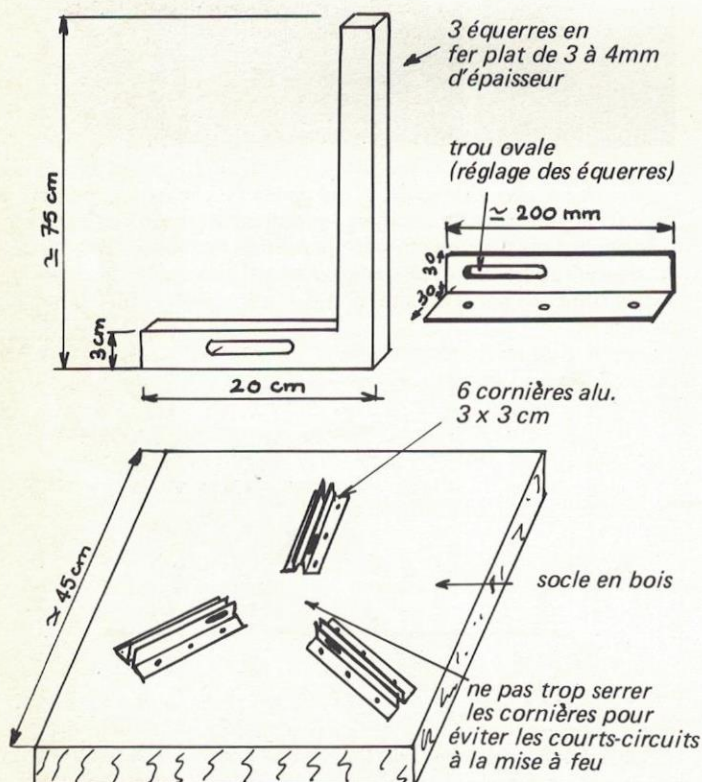


● Ces rampes de lancement présentent un inconvénient : elles obligent à munir les fusées d'un tube guide, avec les conséquences suivantes :

- 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.



Le Vol de la Fusée

3... 2... 1... ZÉRO.

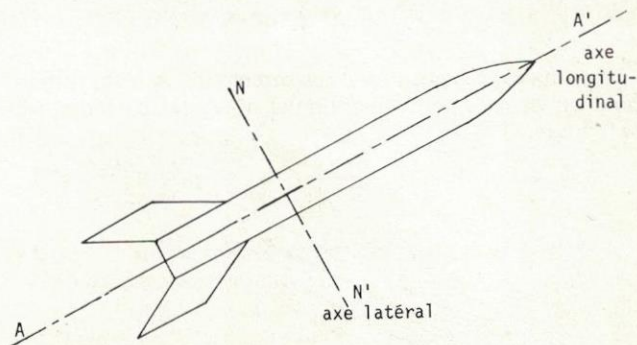
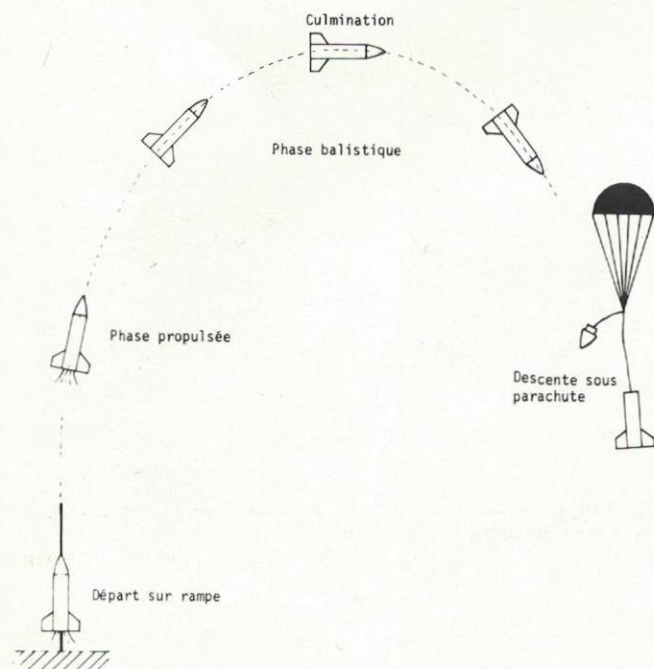
Et la fusée s'élève majestueusement dans le ciel... Une fusée vole, c'est incontestable, mais comment ? Comme tout véhicule, elle possède un moteur qui la propulse. Mais, pour la micro-fusée, il n'est pas question de chauffeur qui la dirige. Elle doit se guider seule, ou presque, tout au moins sans intervention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

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

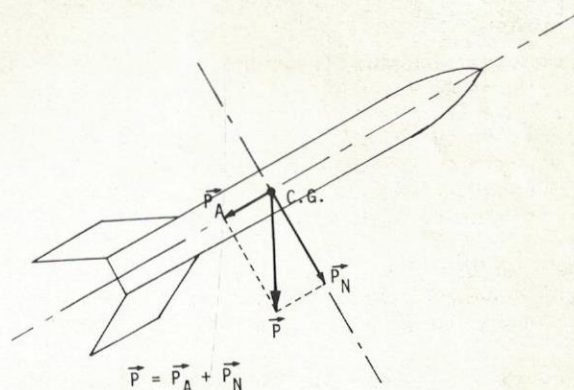
Le but de la fusée étant de transporter une expérience le plus haut possible, **ses performances en poids et altitude** vont nous intéresser tout particulièrement. Il va donc falloir lui donner des caractéristiques telles qu'elle aille vite et loin. Ce sont ces deux préoccupations que nous aurons dans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

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

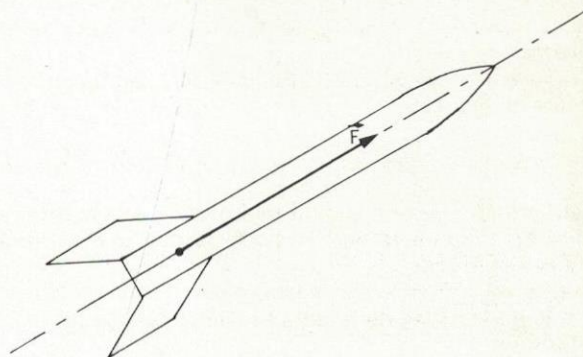
LES PHASES DE VOL



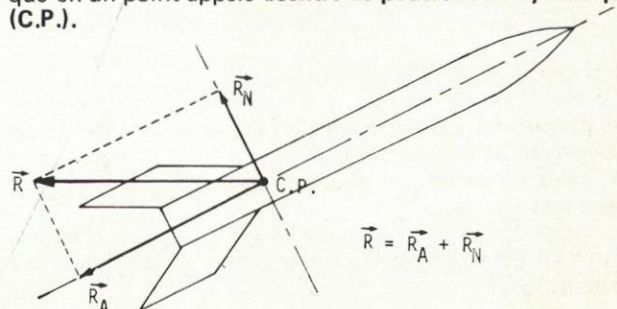
Le poids s'applique au centre de gravité (C.G.) et est dirigé verticalement.



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.).



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.

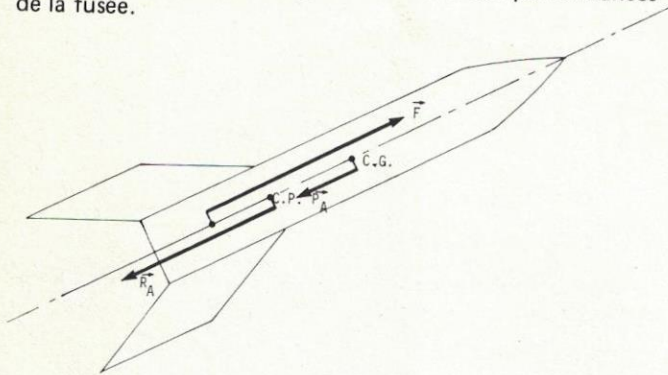
COMPOSITION DES FORCES

Suivant l'axe longitudinal : les performances.

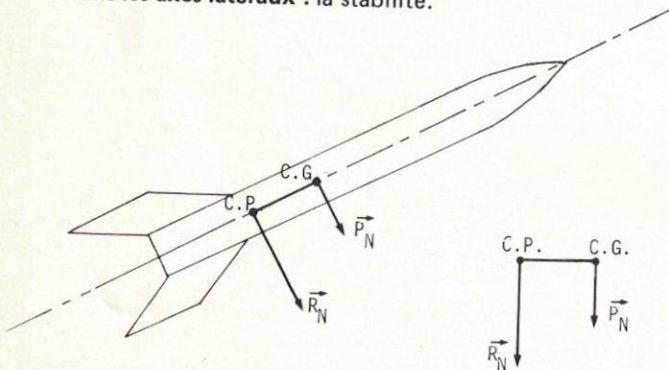
Les trois forces $\vec{F}$, $\vec{P}_A$ et $\vec{R}_A$ sont colinéaires et peuvent s'ajouter :

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

$\vec{T}_A$ 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 ?

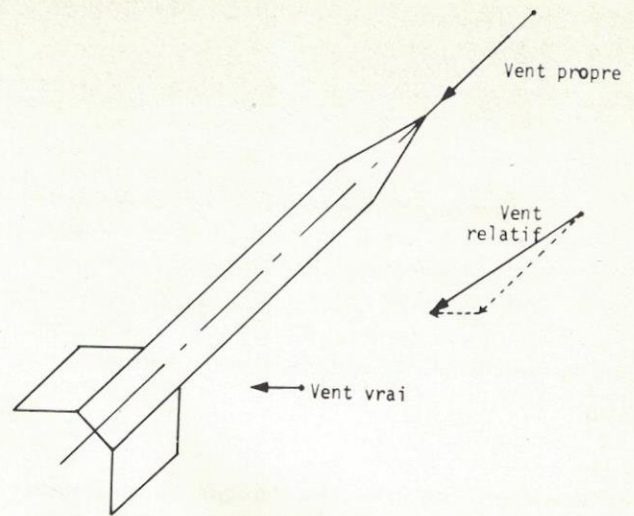
- **La poussée du moteur** : un seul moyen : changer le type de moteur ce qui modifiera les performances mais n'influera pas sur la stabilité.
- **Le poids** : défini avant le lancement, il ne varie durant le vol que de la masse de poudre brûlée et éjectée pendant la propulsion.
- **La résistance de 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**.

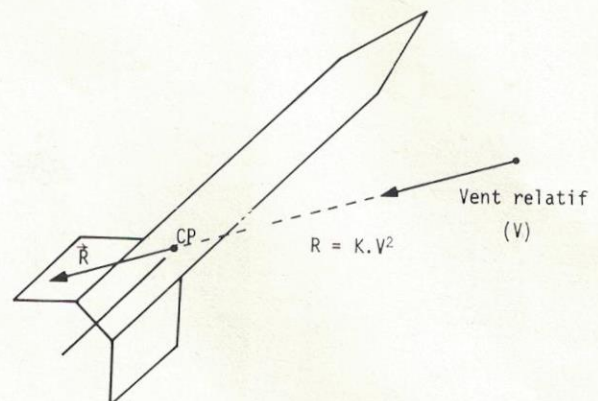
Les vitesses de ces deux vents s'additionnent pour ne donner qu'un seul déplacement d'air apparent : le **vent relatif** ou **apparent**.



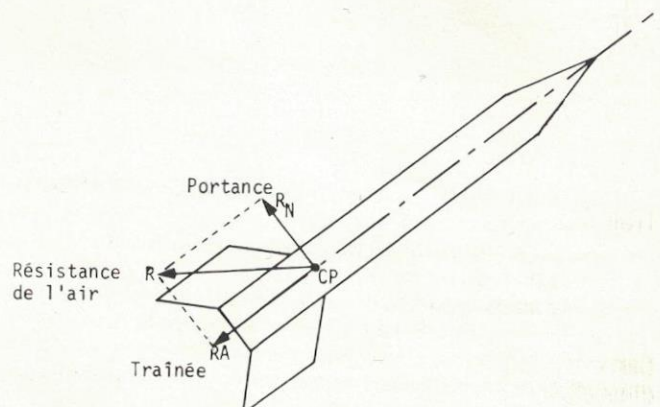
ACTION DU VENT RELATIF

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.

$$R = K V^2$$



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



CONCEPTION D'UN MOTEUR DE FUSÉE

LES DIFFÉRENTES CHARGES, LEUR EMPLACEMENT ET LEUR RÔLE

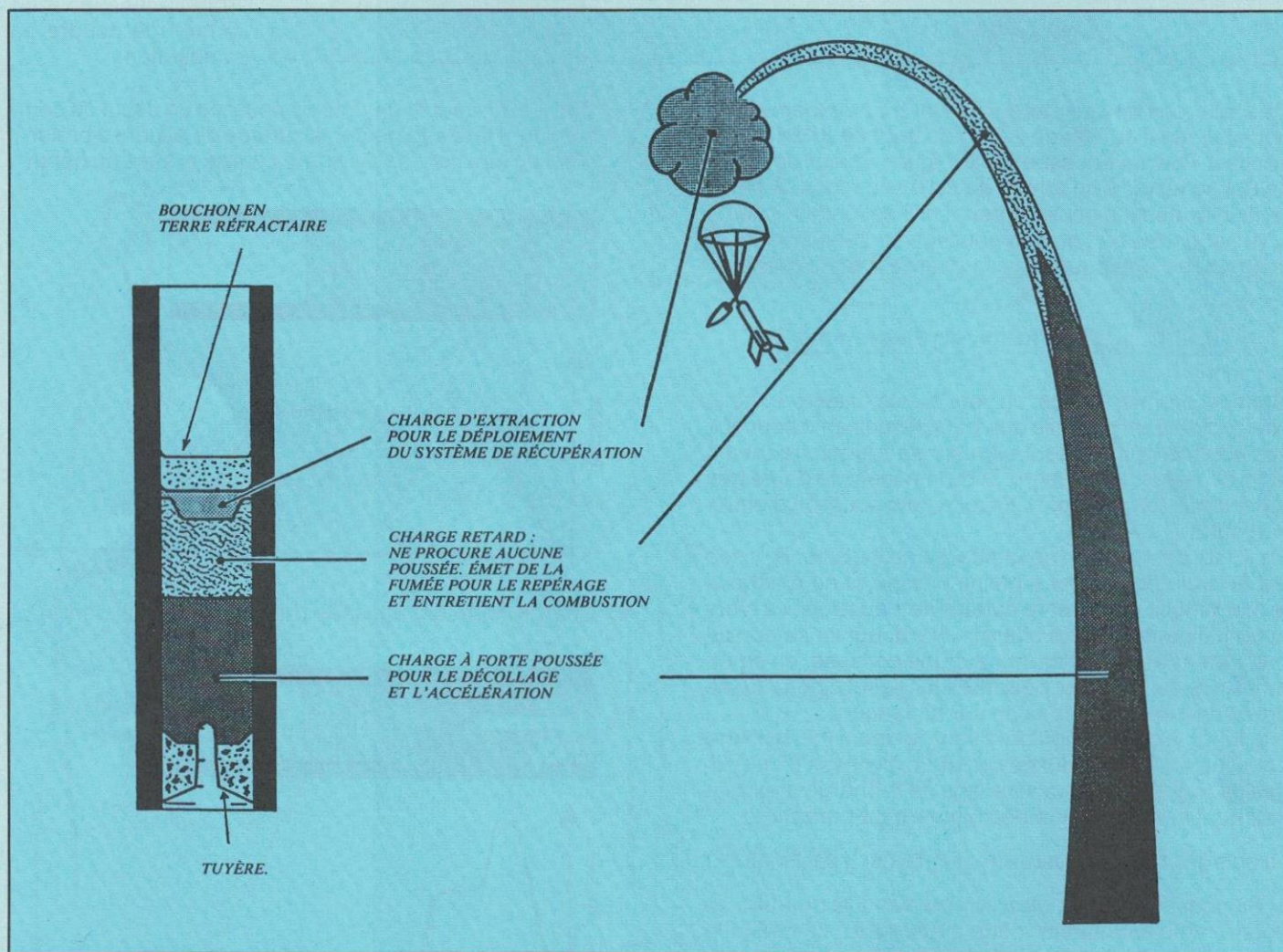
LES MOTEURS :

Ils sont tous constitués selon le même principe :

- 1) Une enveloppe en carton très résistant et ignifugé
- 2) Une tuyère en terre réfractaire
- 3) Différentes charges de poudre noire

— Les types « D » : (D12-0, etc...)
(de diam. 24 mm
(de longueur 70 mm

Dans chacune de ces dimensions, il existe des types différents de moteurs.



Il existe 3 dimensions différentes de moteurs.

— Les types « T » : (A3-4T, A10-3T, etc...)
(de diam. extérieur = 12,7 mm
(de longueur hors tout = 44,45 mm

— Les types « A,B,C, » : (1/2 A6-2, A8-3, B4-6, C6-5, etc...)
(de diam. 17,5 mm
(de longueur 70 mm

Différents par leur puissance, la forme de leur diagramme de poussée, la durée de leur charge retard. Certains types de moteurs ont des utilisations très spécifiques.

Tout cela est inscrit sur l'enveloppe du moteur sous forme de code : A8-3.

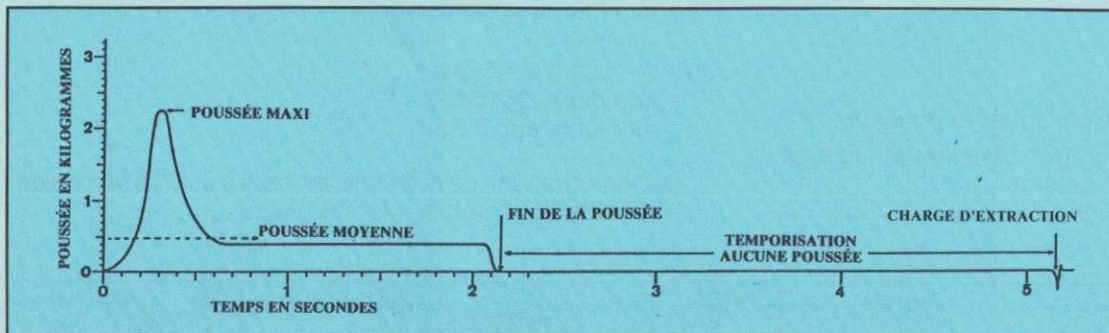
Avant d'étudier la signification de ces codes, voyons les paramètres qui déterminent les caractéristiques de poussée d'un moteur et pour cela étudions un moteur « standard » :

Le C5-3

Ce moteur comporte :

- 1) une charge propulsive
- 2) une charge retard
- 3) une charge d'extraction

Si l'on enregistre sur un banc sa poussée en fonction de la durée de la combustion on obtient la courbe suivante :



On s'aperçoit que ce moteur atteint très rapidement sa poussée maxi qui est de 2,3 kg au bout de 3/10^e de secondes. Puis sa poussée tombe à une valeur continue de 0,4 kg jusqu'à un temps de 2,10 secondes. A partir de là, plus aucune poussée pendant 3 secondes, jusqu'à 5,10 secondes où l'on a la poussée en sens inverse et instantanée provoquée par la charge d'extraction.

Pourquoi cette forme de diagramme ?

Dans un premier temps, on veut que la fusée prenne le plus rapidement possible une vitesse suffisante pour que ses ailettes la stabilisent bien sur sa trajectoire (avant la fin de la tige de guidage). D'où la nécessité d'une très forte impulsion au départ. Ensuite, une poussée d'entretien suffit.

En fin de combustion de la charge propulsive, la fusée est en train de monter à pleine vitesse et ce n'est pas le moment de déployer le parachute ! aussi, on va alors avoir l'allumage d'une charge retard, qui va se consumer lentement, sans fournir aucune poussée, en émettant juste de la fumée pour faciliter le suivi de la fusée qui continue son ascension sur sa lancée.

A la fin de la combustion de la charge retard (qui doit être calculée pour que la fusée soit alors à vitesse 0 en apogée de trajectoire) il y a allumage de la charge d'extraction qui va permettre le déploiement du parachute.

La charge propulsive peut être définie par 4 paramètres :

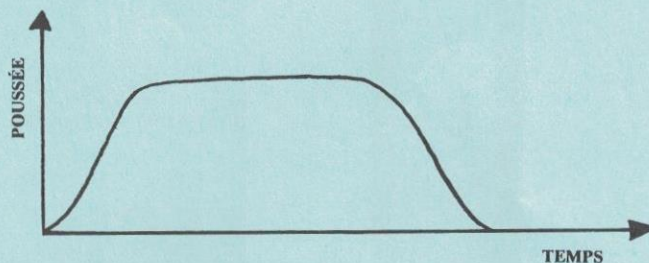
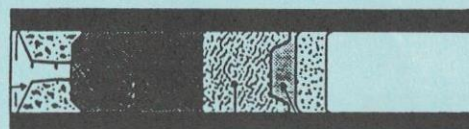
- 1) Sa poussée totale : directement liée à la quantité de poudre qu'elle contient, cette poussée totale définit la puissance d'un moteur. Elle est exprimée en g x secondes et correspond sur le diagramme à la surface comprise entre la courbe de poussée et l'axe des secondes.
- 2) Sa poussée maxi atteinte : lue directement sur le diagramme : 2,3 kg dans notre cas.
- 3) Son temps de combustion : lu directement sur le diagramme : 2,10 s dans notre cas.
- 4) Sa poussée moyenne : qui est égale à la poussée totale divisée par la durée de la combustion.

Alors que la poussée totale dépend principalement de la quantité de poudre que contient la charge propulsive, les 3 paramètres suivants : poussée maxi, temps de combustion et poussée moyenne sont intimement liés et dépendent principalement de la forme donnée à la charge de poudre propulsive.

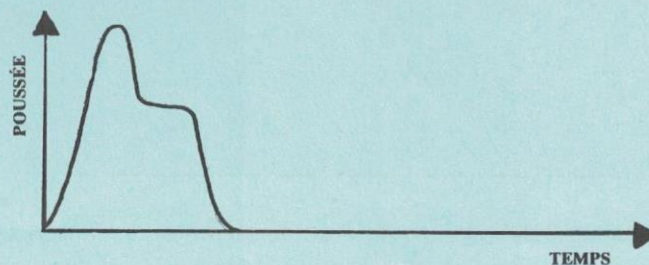
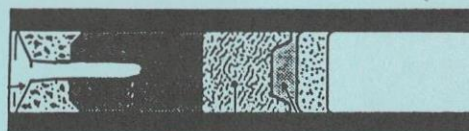
En effet, cette charge de poudre est compactée donc très homogène et a une forme bien précise suivant le diagramme de poussée recherché.

Sans se lancer trop dans les détails, on peut dire que la poussée instantanée du moteur est proportionnelle à la quantité de gaz émise, et que la quantité de gaz émise est proportionnelle à la surface de poudre en combustion.

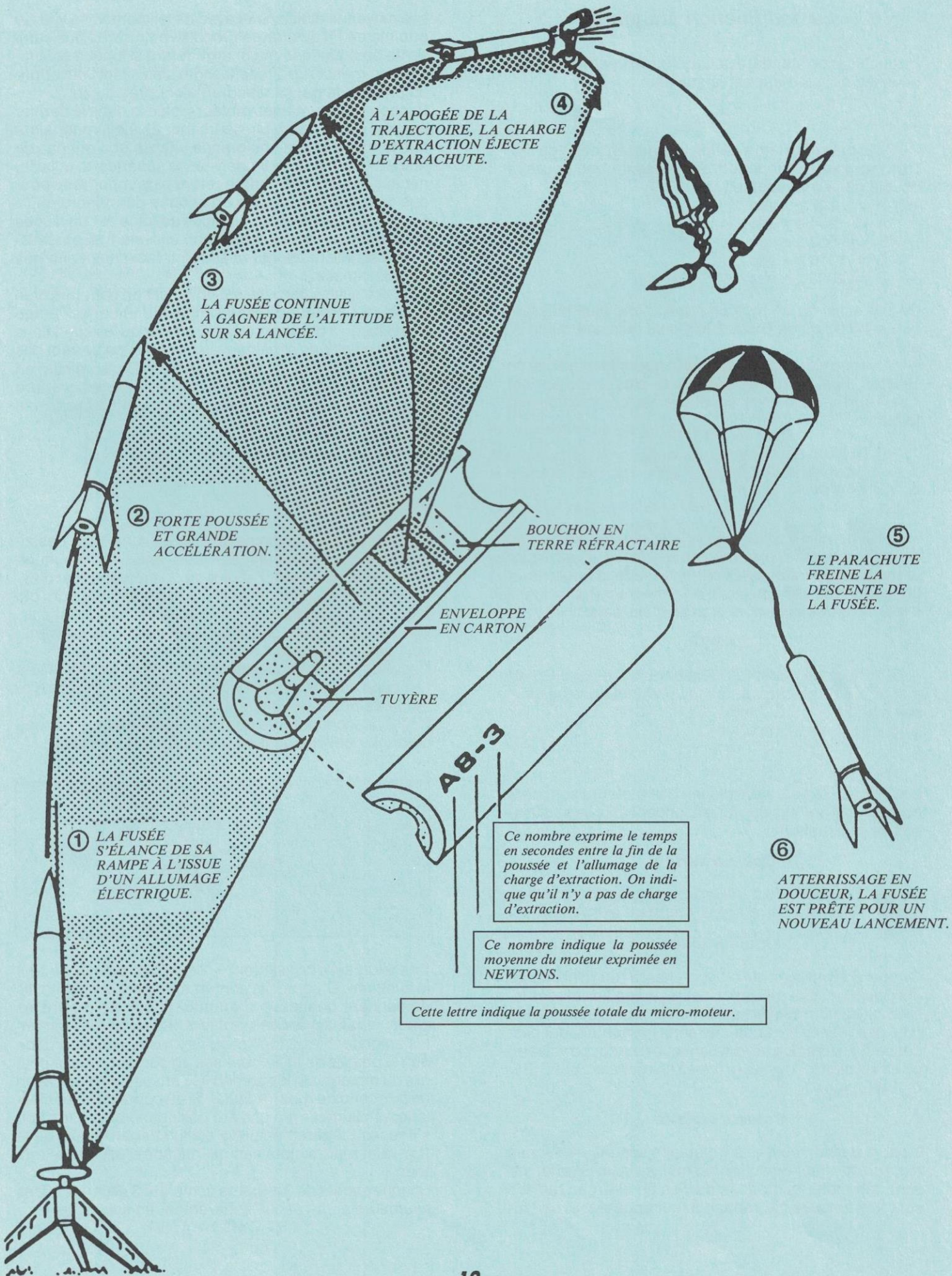
Donc, si on veut augmenter la poussée en début de combustion, il faut augmenter la surface de poudre à brûler ! c'est ce que l'on fait avec une charge creuse au début :



Charge normale, poussée pratiquement constante.



Charge creuse : très forte poussée au début, puis tout ce qu'il y a autour de la cavité ayant brûlé, la poussée redevient normale. Il est bien évident que tout ce que l'on a gagné en supplément de poussée, la poudre ayant brûlé plus vite au début, on va le perdre en temps de combustion qui va être plus court ! La poussée moyenne va donc être plus élevée.



La codification standard

La codification standard pour définir les paramètres de poussée d'un moteur est la suivante :

C5-3

— C : la première lettre définit la poussée totale du moteur (en g xs). Chaque lettre représente une poussée double de la précédente :

1/2 A = 127 g x sec
A = 254 g x sec
B = 508 g x sec
C = 1016 g x sec
D = 2032 g x sec

On voit ainsi qu'un moteur A est 2 fois plus puissant qu'un 1/2 A, qu'un B est 2 fois plus puissant qu'un A, etc...

— 5 : le premier chiffre exprime la poussée moyenne en Newton. Plus ce chiffre est grand, plus le moteur est « nerveux », mais plus sa durée de combustion est faible !

1 = 1 Newton = 102 g
2 = 2 Newton = 204 g
3 = 3 Newton = 306 g
Etc...

— 3 : le dernier chiffre indique la durée de combustion de la charge retard exprimée en secondes : c'est-à-dire le temps qui va s'écouler entre la fin de la poussée et l'ouverture du parachute. Si ce chiffre est 0, c'est qu'il n'y a ni charge retard, ni charge d'extraction,

A3-2T

— T : si le code du moteur finit par un T, c'est que l'on a affaire à un moteur de la plus petite dimension :
soit diamètre = 12,7 mm
longueur = 44,45 mm

Les inscriptions sur l'enveloppe des moteurs sont de 3 couleurs différentes qui correspondent à 3 cas d'utilisation de ces moteurs.

Couleur verte :

Ce sont des moteurs d'utilisation standard dits d'étage simple avec charge retard et charge d'extraction.

Couleur rouge :

Ce sont des moteurs qui n'ont ni charge retard ni charge d'extraction ; leur utilisation est réservée aux étages inférieurs et intermédiaires des fusées à plusieurs étages ou à des fusées particulières sans parachute, qui descendent en freinage aérodynamique (soucoupe volante) ou en vol plané. Tous leurs codes finiront donc par 0 (B6-0 ; C6-0 ; etc...).

Couleur violette :

Ce sont des moteurs dits « d'étages supérieurs », mais dans ce cas, leur définition est moins nette. En effet, ce sont des moteurs dont les durées de charges retards sont très longues par rapport à leur poussée. Si une fu-

sée moyenne était lancée avec un tel moteur, sa vitesse atteinte en fin de charge propulsive ne serait pas suffisante pour justifier une charge retard si longue et la fusée commencerait à redescendre bien avant l'ouverture du parachute qui surviendrait alors près du sol.

Par contre, ces mêmes moteurs, placés dans le dernier étage d'une fusée à plusieurs étages s'allument alors que la fusée a déjà une grande vitesse et n'ont pas de mal à lui faire acquérir une vitesse supérieure, qui elle, nécessite alors une charge retard plus importante pour que le parachute s'ouvre en apogée de trajectoire.

Maintenant cette règle n'est pas absolue et l'un de ces moteurs peut très bien convenir sur une fusée très légère à simple étage qui va acquérir facilement une très grande vitesse.

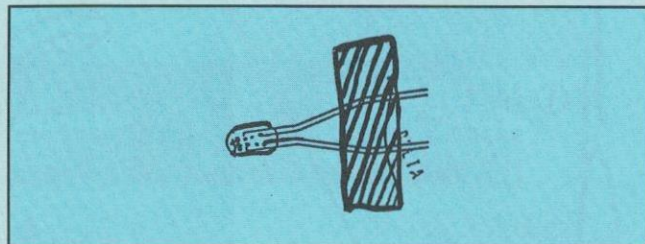
De même, la réciproque est vraie, et l'on peut très bien monter un moteur d'étage simple sur le dernier étage d'une fusée à plusieurs étages, un jour où les conditions météorologiques sont mauvaises et où l'on ne veut pas que le dernier étage monte trop haut. Dans ce cas, en choisissant une charge retard courte, on aura ouverture du parachute en pleine ascension de la fusée, ce qui stoppera sa montée.

Les allumeurs :

Ces moteurs sont conçus pour être allumés par des allumettes électriques et toute autre tentative n'a aucune chance de provoquer l'allumage du moteur (c'est d'ailleurs ce qui en fait des moteurs extrêmement sûrs qui n'ont aucune chance de partir tous seuls, quoiqu'il arrive, que ce soit au cours de la manutention, du transport ou du stockage.

Ces allumeurs sont constitués par un fil de nichrome très fin soudé entre 2 fils conducteurs et recouvert d'un mélange de poudre et de liant.

Ces 2 fils conducteurs sont maintenus entre 2 bandes de papier collées qu'il ne faut surtout pas enlever.



Ces allumeurs constituent le seul point délicat de tout le système. D'abord, ils sont très fragiles et ensuite, ils demandent beaucoup d'attention pour les mettre en place dans la tuyère des moteurs. Il faut impérativement les enfoncer bien à fond et *qu'ils y restent* de façon à ce que la poudre de l'allumeur soit en contact avec la poudre du moteur. On les immobilise ensuite en place avec un morceau de ruban adhésif. Si au cours de la manipulation, l'allumeur n'a pas été positionné bien à fond ou s'il ressort légèrement, il va s'allumer dans le col de la tuyère et n'aura alors aucune chance d'allumer le moteur.

Chaque sachet de 3 moteurs comporte 3 allumeurs. Des allumeurs sont vendus séparément en sachet de 6.

- 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

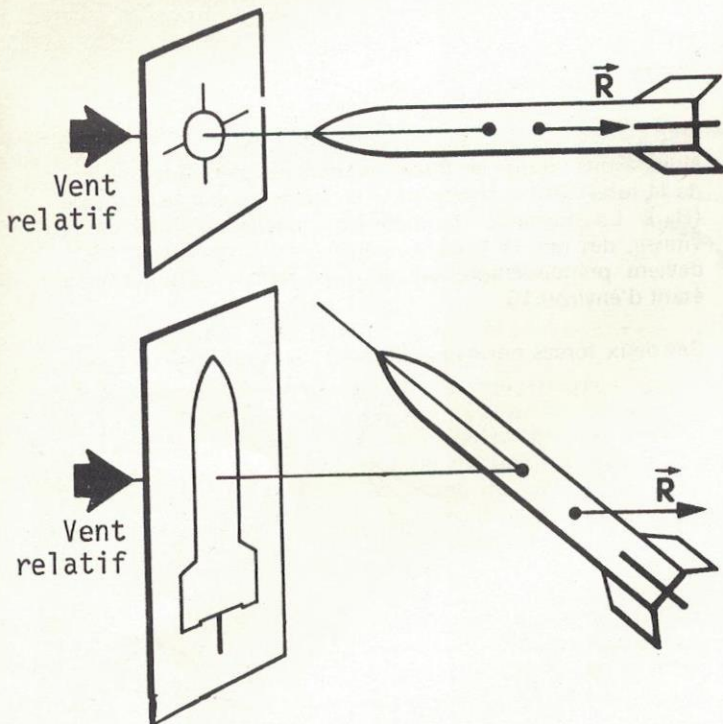
Elle dépend principalement de 3 facteurs :

- 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.



OGIVALE

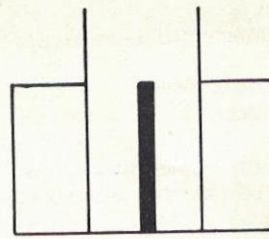


PARABOLIQUE

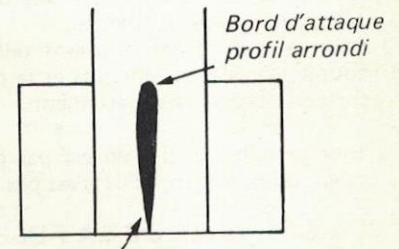


CONIQUE DROITE

Profils d'ailerons



Non profilé



Bord de fuite profil biseauté

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

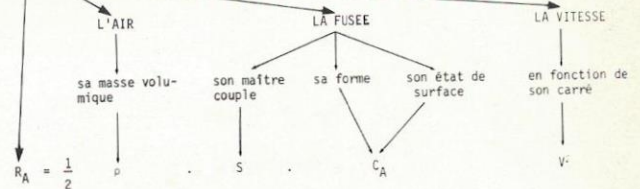
Pour tenir compte pratiquement des deux derniers éléments, la forme et l'état de surface, le coefficient de traînée C_A est introduit.

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.

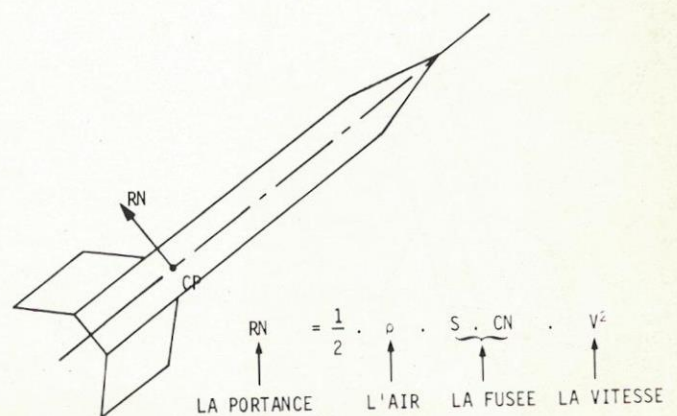
Pour être plus rigoureux, nous faisons intervenir l'état de l'air dans lequel la fusée se déplace, sous la forme de sa masse volumique. Dans notre cas, cette dernière sera considérée comme constante.

EXPRESSION DE LA TRAÎNÉE

La TRAÎNÉE dépend donc de :



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.

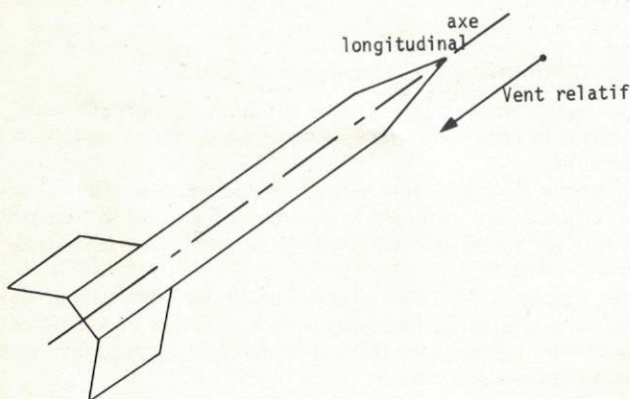
Nous ne présenterons pas ici les valeurs numériques correspondantes et nous conseillons de se reporter aux notes techniques correspondantes.

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

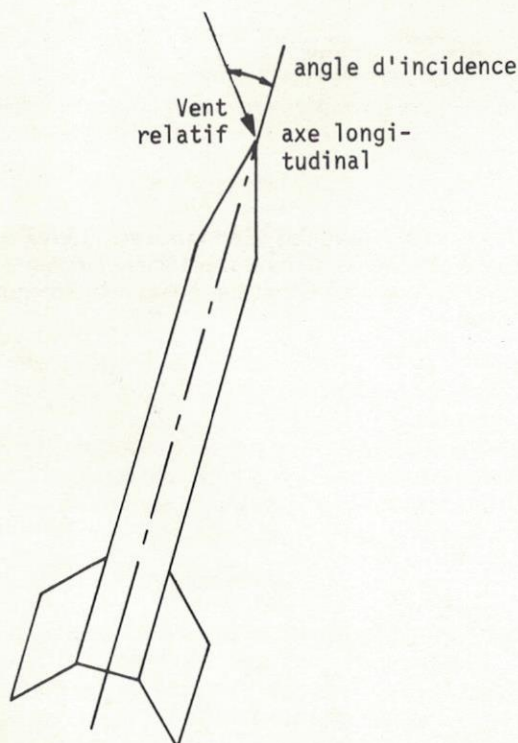
Pour la stabilité, il n'en est pas de même d'autant que la valeur de la portance R_N n'est pas seule à intervenir.

LA STABILITÉ DE LA FUSÉE

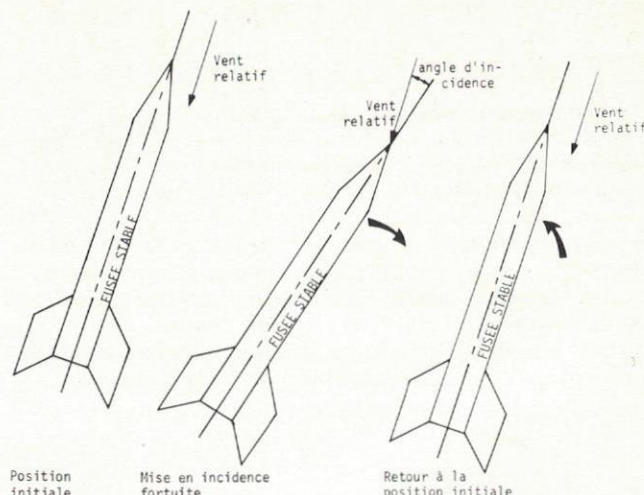
Pour être stable, la fusée doit conserver la même attitude durant son vol. Pour la micro-fusée, **conserver son attitude** consistera à maintenir son **axe longitudinal aligné avec le vent relatif**.



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**.



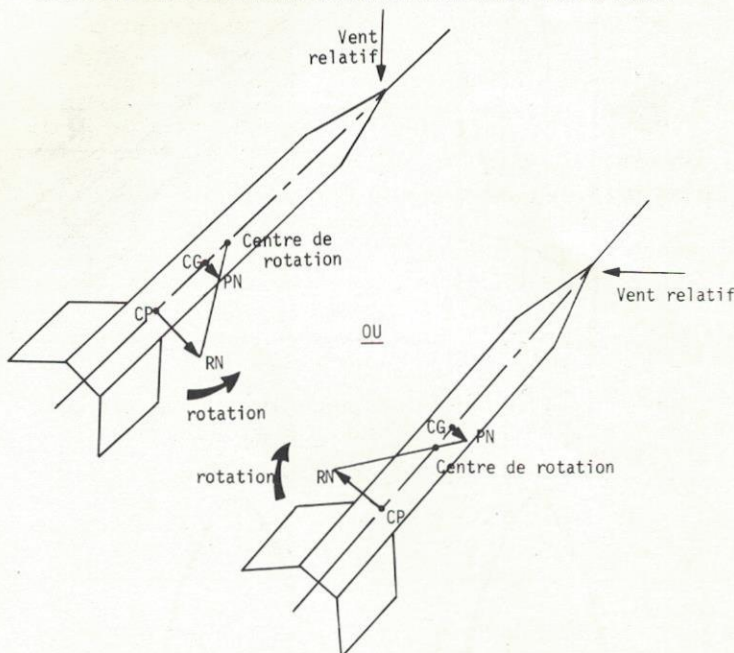
En d'autres termes, si, pour une quelconque cause, la fusée se **met en incidence**, elle retrouvera sa position initiale (axe longitudinal aligné avec le vent relatif) si elle est **stable**.



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).

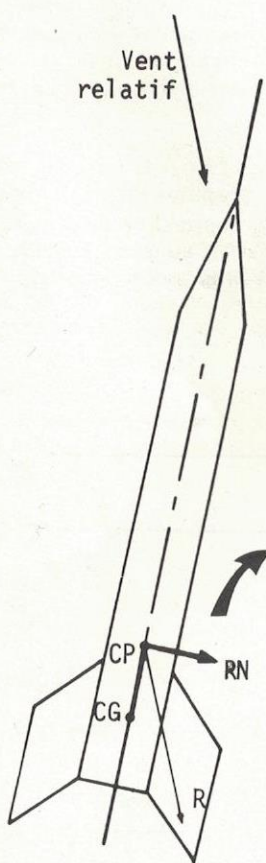
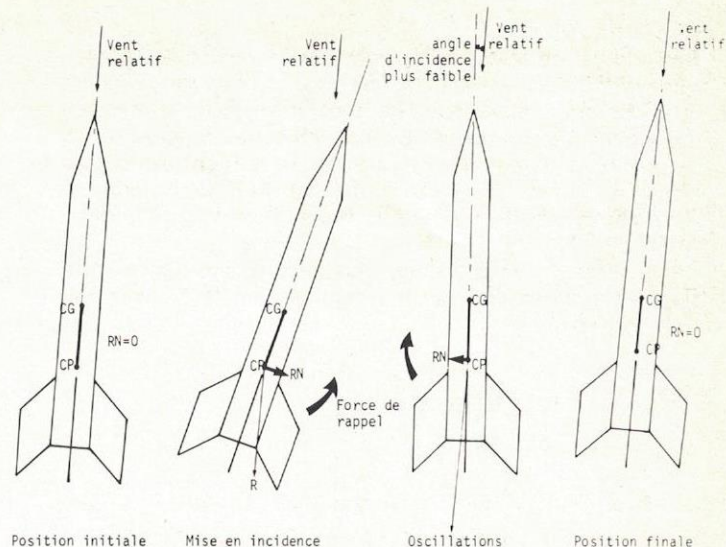
Cette schématisation va nous permettre d'étudier les trois situations possibles :

- 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.

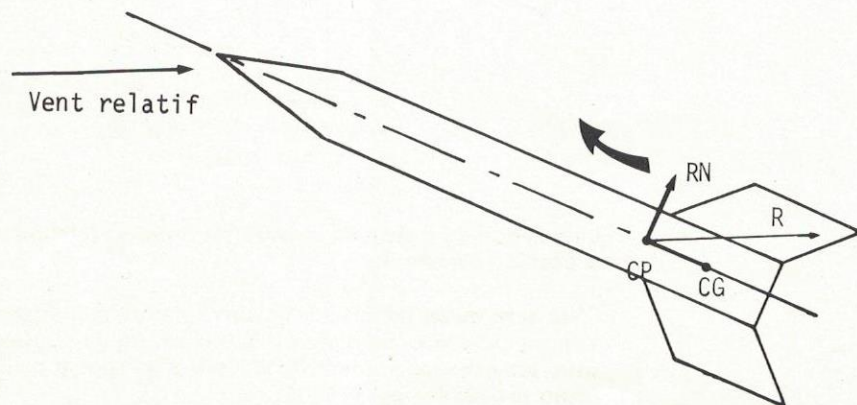
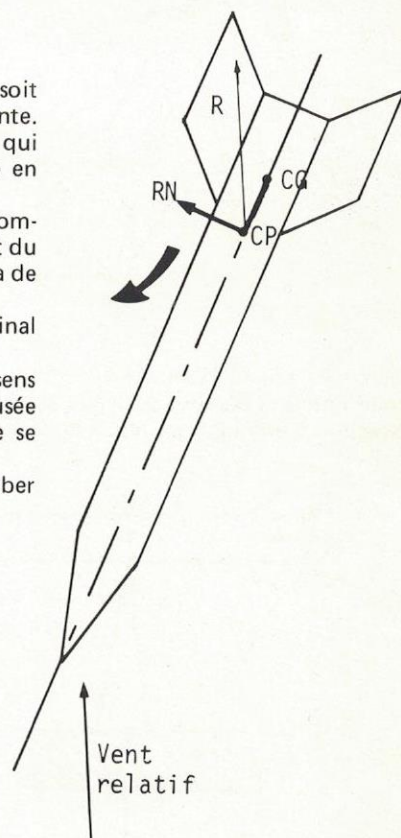
Or, le moteur propulse la fusée et le vent relatif est la somme du vent propre de la fusée (dû à son déplacement) et du vent vrai. La fusée se retournant, l'axe de propulsion fera de même et le vent propre également.

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.

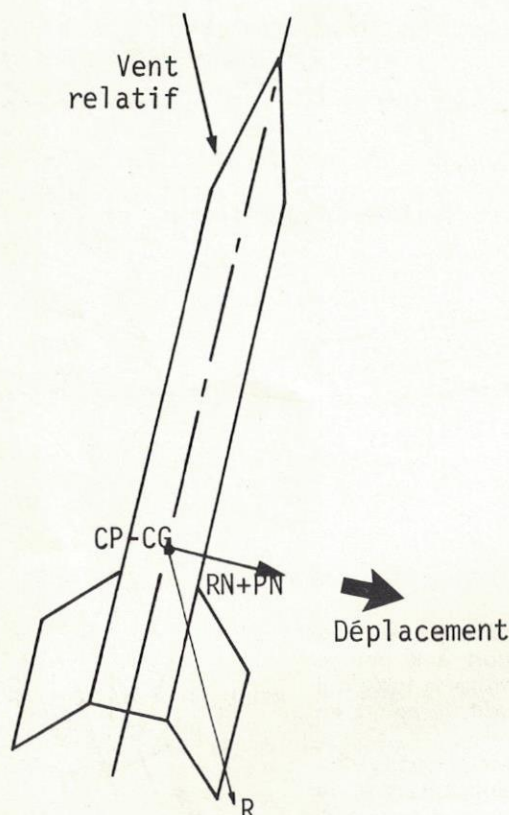
Nous sommes en situation d'instabilité.



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...).

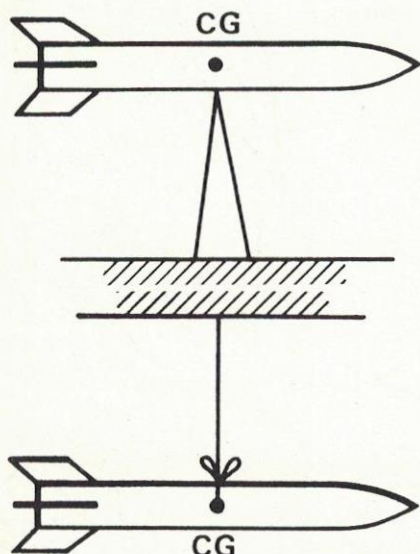
L'indifférence consiste donc plus en une alternative entre stabilité et instabilité, difficilement évaluable avant le vol.



DÉTERMINATION DES CENTRES

• LE CENTRE DE GRAVITÉ

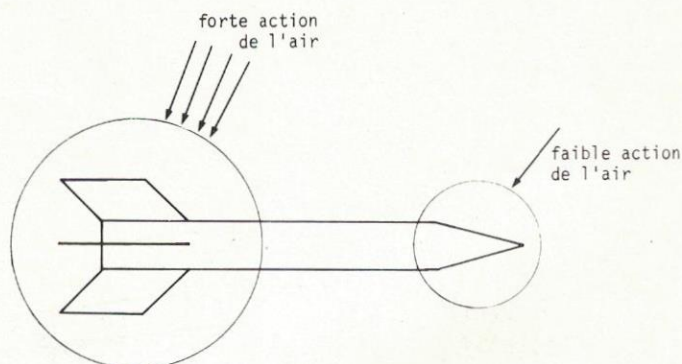
Par définition, il est situé sur l'axe longitudinal au niveau de la position d'équilibre au repos de la fusée à l'horizontale.



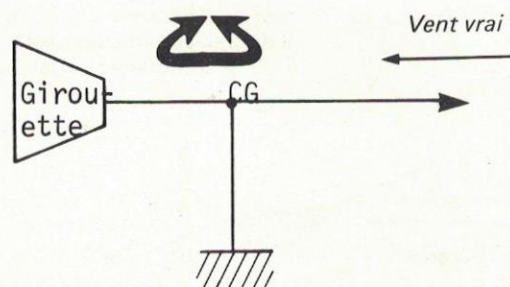
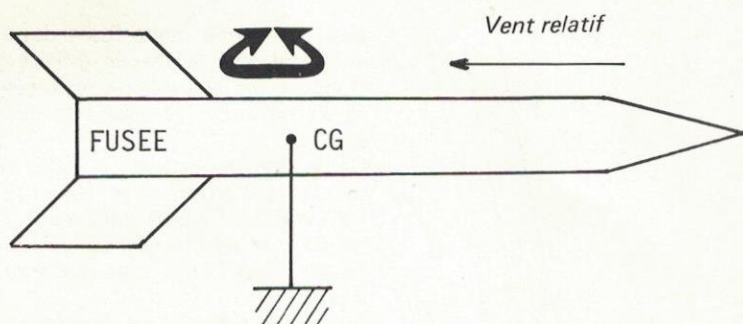
• LE CENTRE DE POUSSÉE

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.

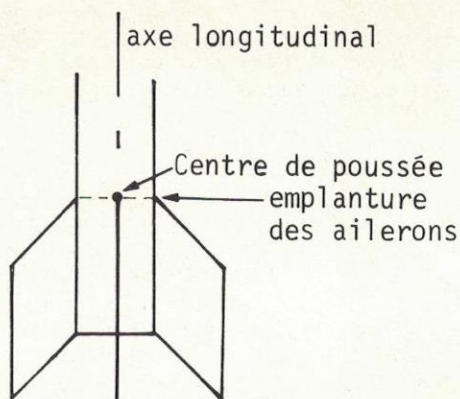


La fusée ressemble alors à une girouette dont l'axe de rotation serait placé au centre de gravité, au détail près que la girouette ne possède pas de vent propre donc que son vent relatif est le seul vent vrai.



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

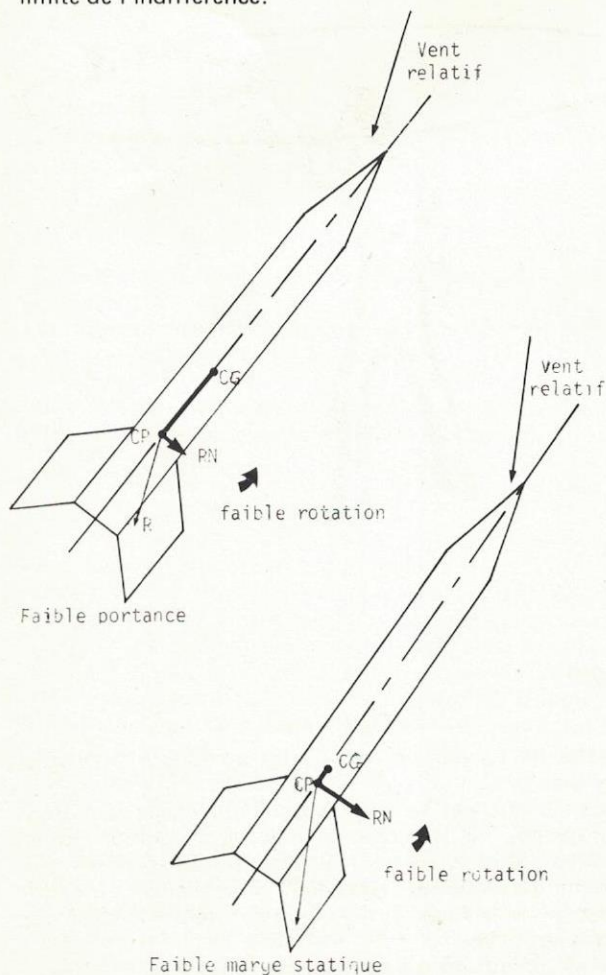
Il apparaît en résumé que deux facteurs principaux interviennent dans la stabilité.

— la valeur de la **portance** qui est en relation directe avec la surface et la **forme des ailerons**.

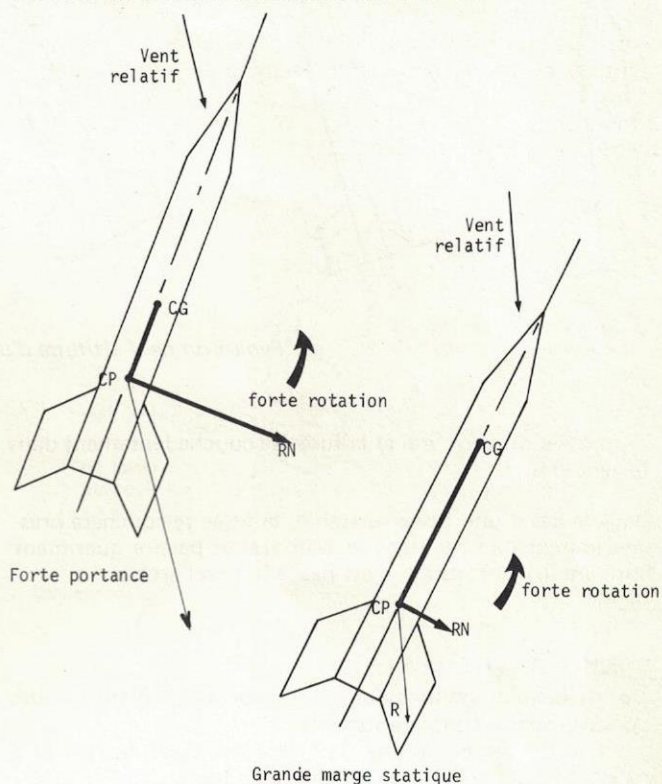
— les **positions relatives du centre de gravité et du centre de poussée**.

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

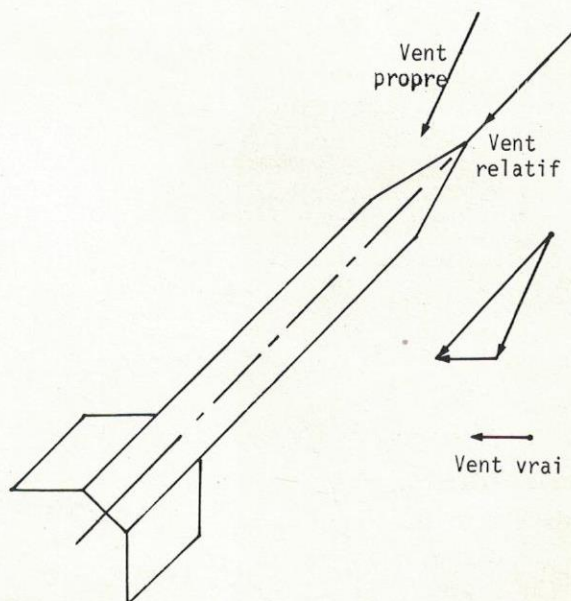
Ces deux facteurs, la **portance** et la **marge statique**, sont inclus dans des fourchettes. En effet, supposons tout d'abord que la portance ou la marge statique soient trop faibles. La rotation de rappel sera elle-même faible, à la limite de l'indifférence.



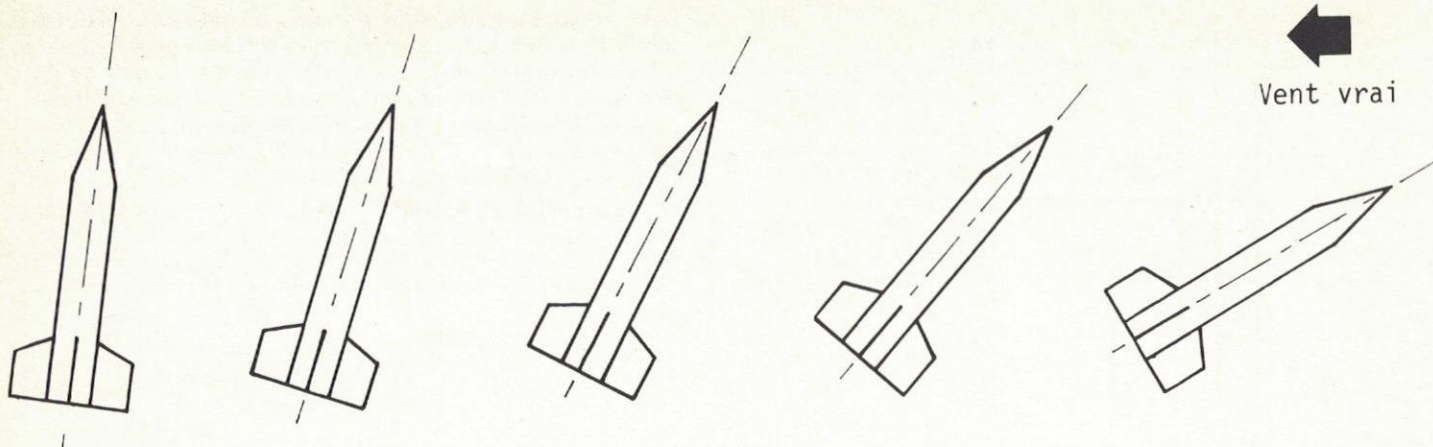
Dans le cas contraire, si la portance ou la marge statique sont très fortes, la force de rappel sera très vigoureuse, renverra la fusée de l'autre côté du vent relatif et la fusée oscillera continuellement sans jamais trouver de position d'équilibre. Cette attitude est nommée **surstabilité**.



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

rapproché 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 :

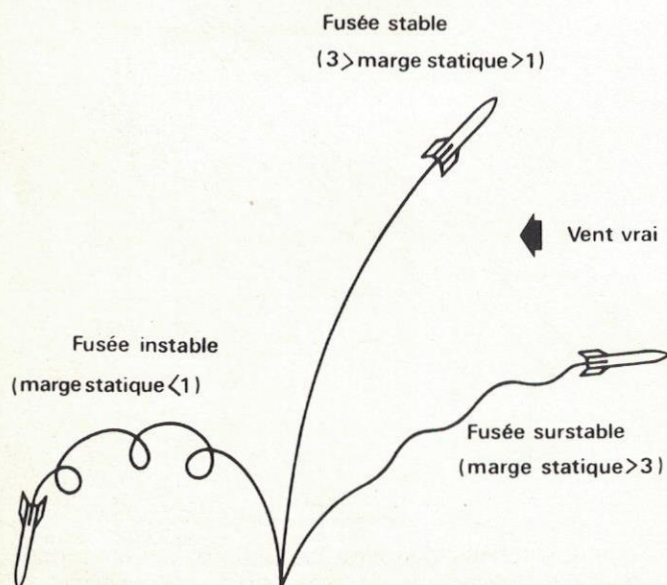
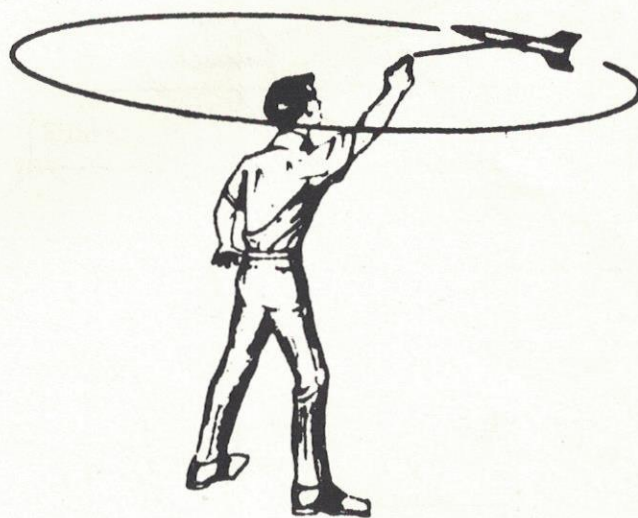
- la marge statique doit être comprise entre 1 et 3 calibres (le calibre vaut un diamètre de fusée).
- chaque aileron (parallélogramme) doit avoir une envergure comprise entre 1 et 2 calibres, une hauteur comprise entre 1 et 3 calibres, le nombre minimal d'ailerons étant de trois.

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...

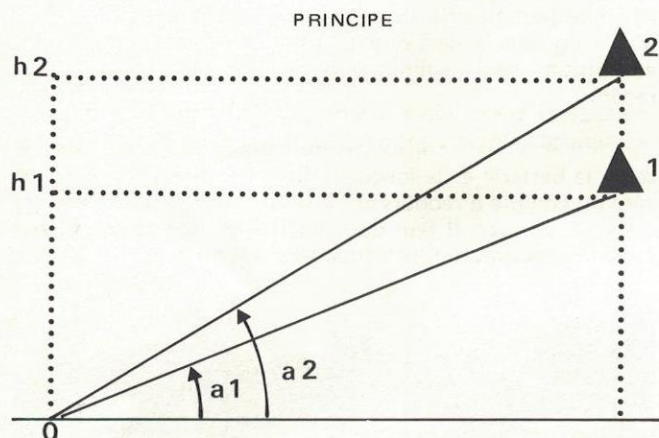
La Mesure

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.

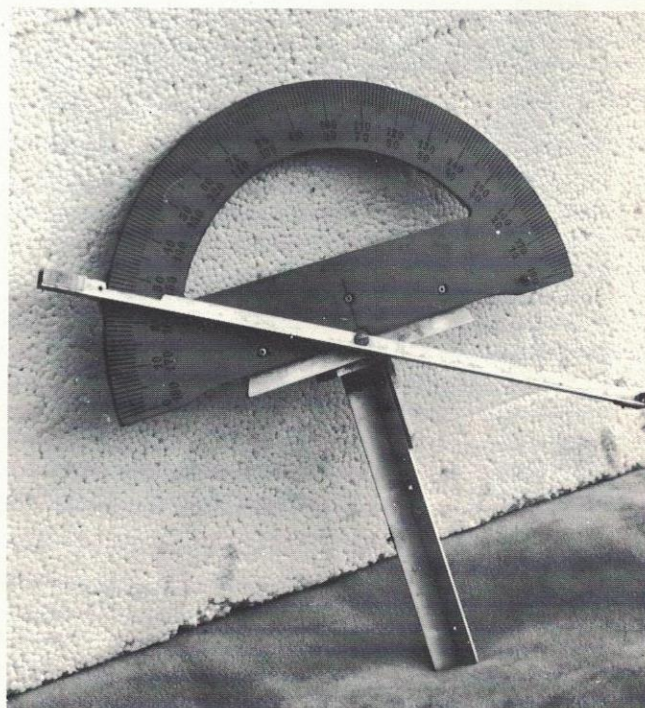
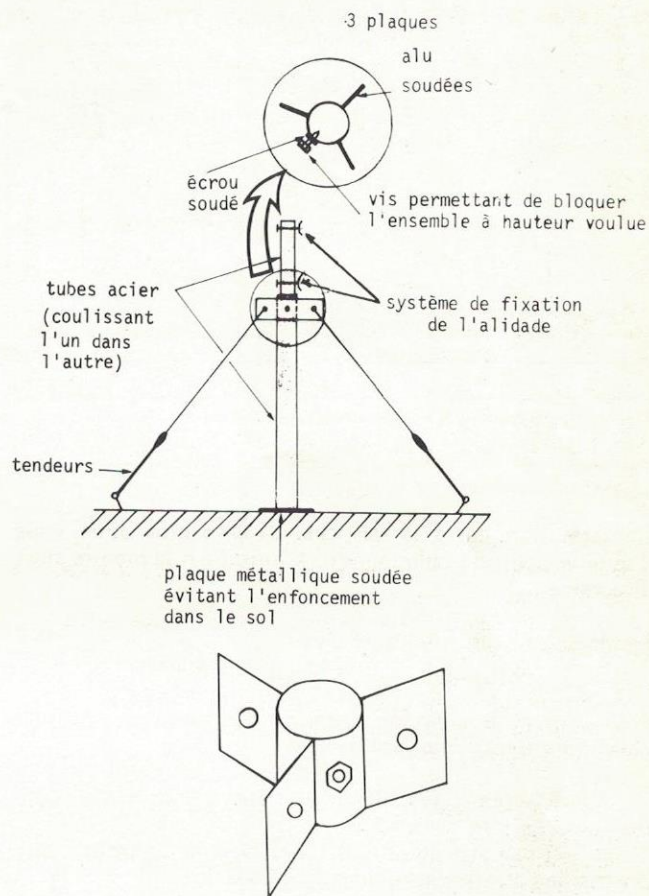
Construction d'une alidade simple :

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 œillet 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 truce 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.

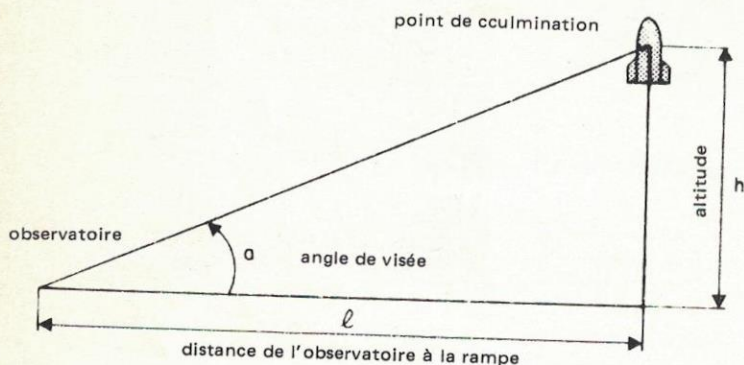


La photo ci-contre montre une autre alidade basée sur le même principe général mais réalisée à partir d'un rapporteur de mécanicien.

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 .



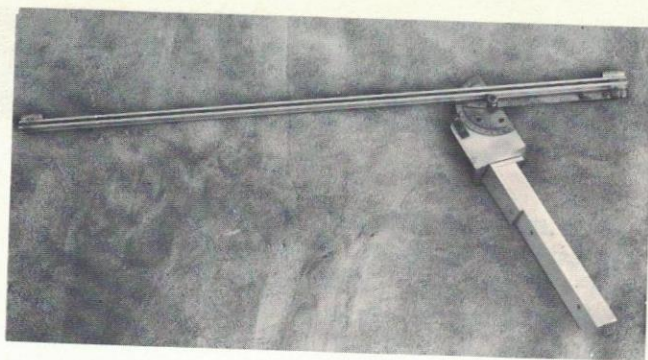
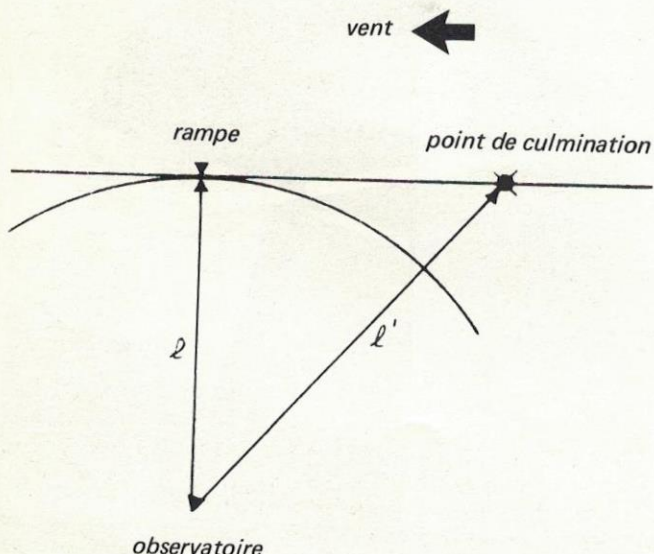
L'intersection entre la verticale de la rampe et la visée donne le point de culmination. L'altitude h se mesure alors directement.

La résolution trigonométrique est :

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

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 exploiter 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.

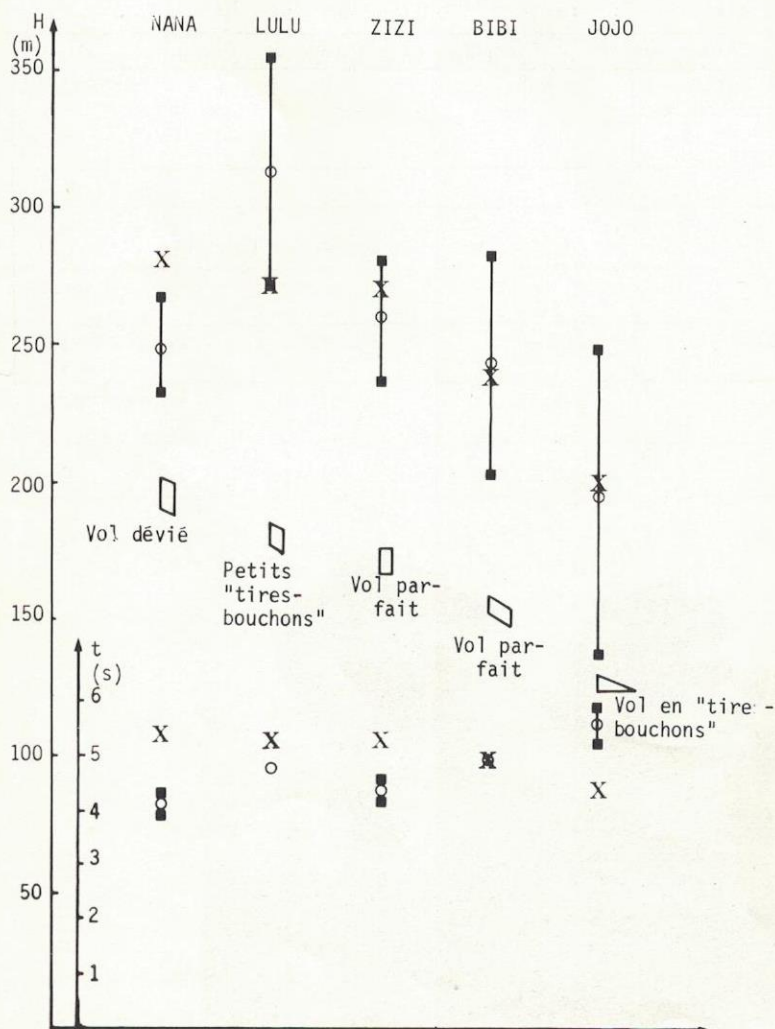
Le tableau contient toutes les informations à l'état brut, il faut donc traiter les informations avant de les utiliser.

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 déduirons des lois de variations, des ordres de grandeurs et surtout des explications sur le déroulement du vol.

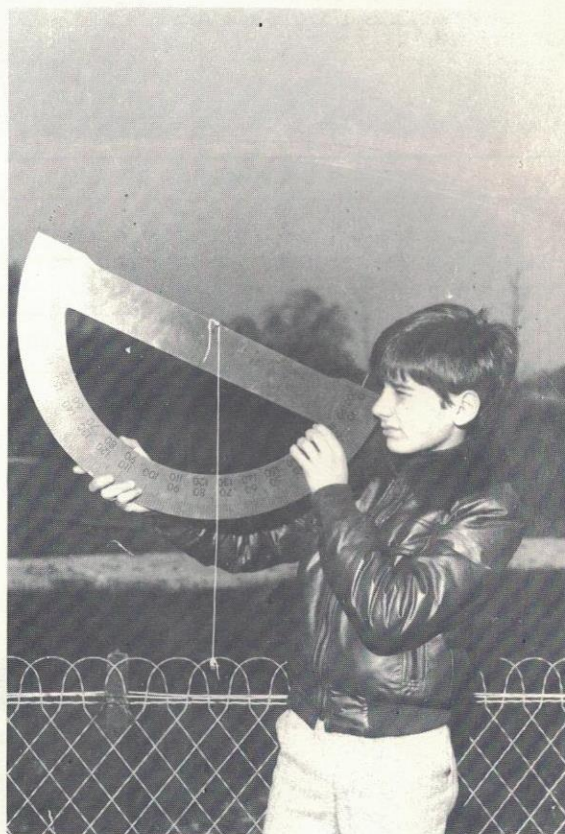
S'ils ne le sont pas (et ils ne le sont jamais tous), nous analyserons les raisons des erreurs et des échecs expérimentaux. Nous en définirons ensuite des nouvelles conditions expérimentales pour répondre aux questions auxquelles nous n'avons pu répondre.

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	LULU	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'aileron (mm)					
CA	1	1	1	1	1
Maitre-couple (mm2)	514	564	564	724	1 014
Système de récupération	Banderolle	Banderolle	Banderolle	Banderolle	Banderolle
Prévisionnel	Altitude (m)	280	270	270	240
	Temps (s)	5,4	5,3	5,3	5
Expérience	Influence des ailerons sur les performances en altitude des fusées				
Déroulement du vol	Bon. Un peu dévié.	O.K petits tirs-bouchons lors de la montée	O.K	O.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	-	196



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 compliquer 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'emporter du matériel : plusieurs parachutes, ou un accéléromètre, ou des confetti, etc... (ce ne sont pas les idées qui nous manqueront...).

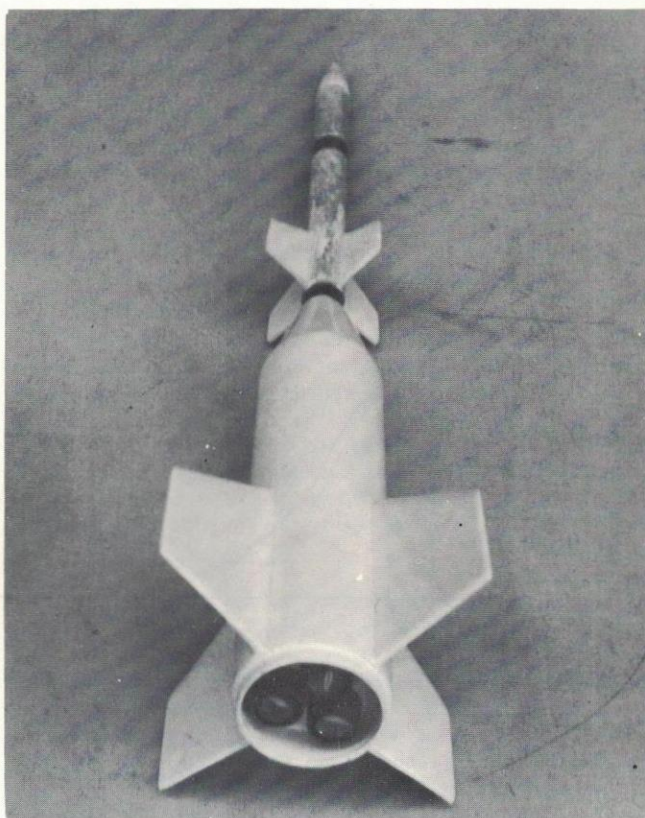
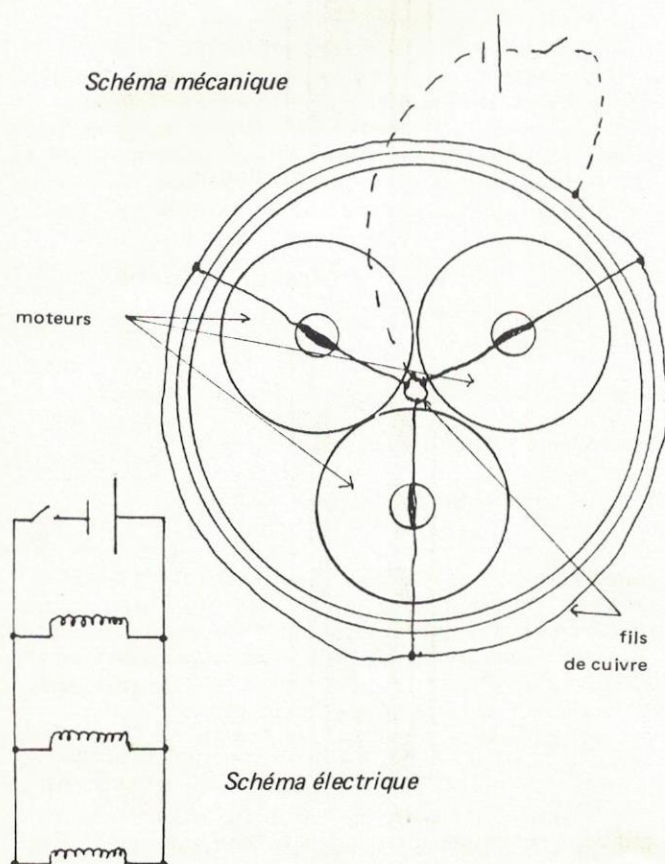
Il vous faut pour cela un moteur puissant : il suffit de grouper 2 ou 3 moteurs en parallèle.

Puisque vous êtes astucieux, la construction ne vous causera 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 **simultanée** de tous les moteurs : deux méthodes sont utilisées :

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

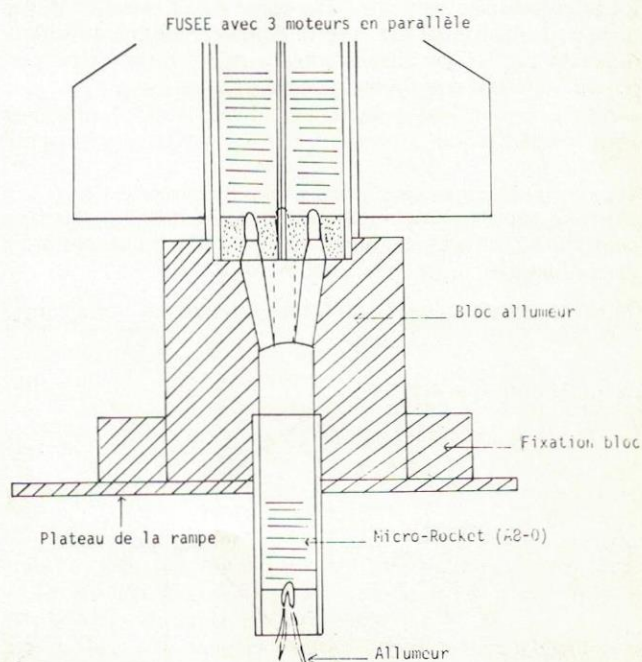
1 - ALLUMAGE PAR 3 ALLUMEURS BRANCHÉS EN PARALLELE :



2 - ALLUMAGE PAR MICRO-ROCKET :

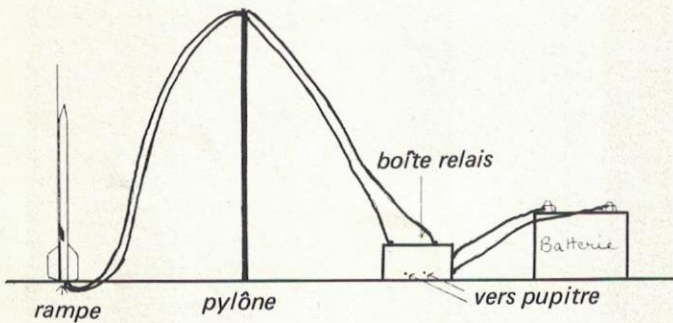
Une micro-rocket est un propulseur fixe utilisé comme allumeur d'un propulseur mobile.

Dans ce cas, nous avons utilisé un moteur d'impulseur A8-0 fixé à un bloc allumeur percé de 3 canaux aboutissant aux 3 moteurs.



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 À 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.

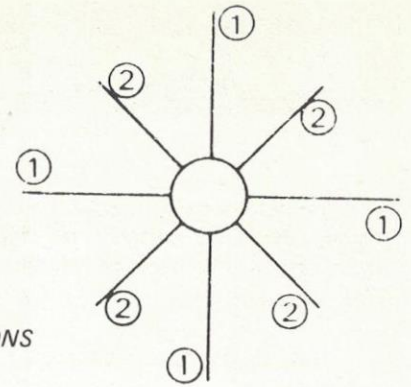
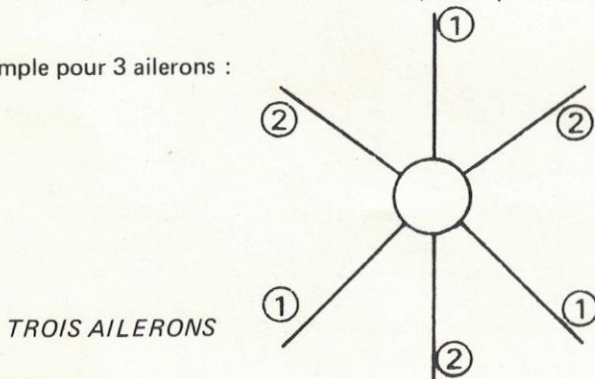
Problèmes à résoudre :

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.

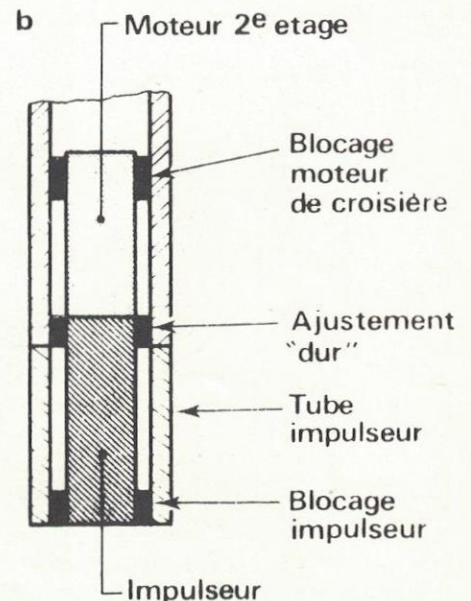
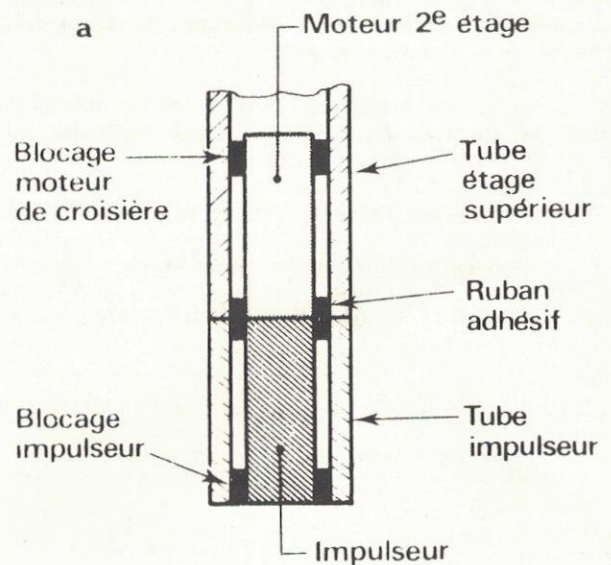
Exemple pour 3 ailerons :



QUATRE AILERONS

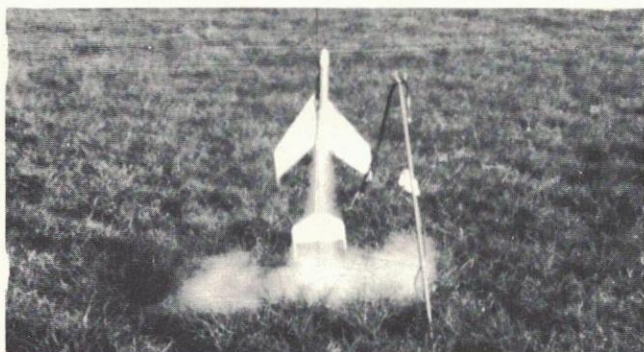
b) Liaison des 2 étages :

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.

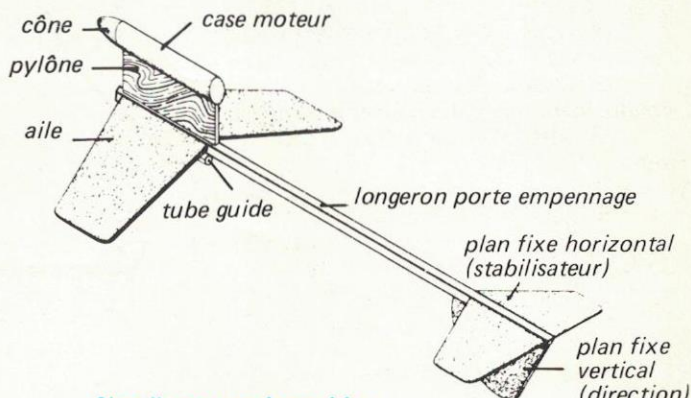


c) Attention :

- 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.

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.

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 ».

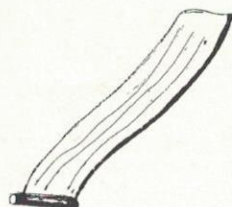
Moteur avant :

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

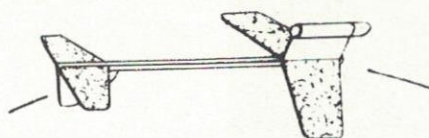
S'il existe un angle quelconque, le modèle aura tendance à effectuer un looping et s'écrasera au sol avant l'éjection.

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.

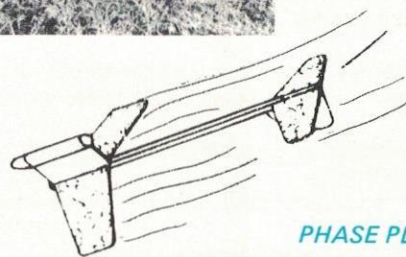
Si toutes les recommandations sont suivies, le vol du planeur sera des plus spectaculaires.



ÉJECTION DU MOTEUR



PHASE PROPULSÉE



PHASE PLANÉE

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 :

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.

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.
- diffuse :
 - 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.

CLAP - B.P. 313
75989 PARIS Cedex 20
Tél. : (1) 43 58 97 92

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.

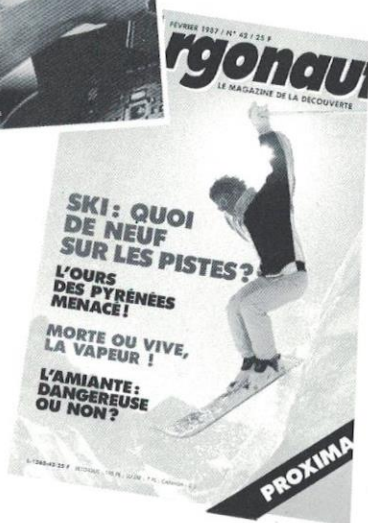
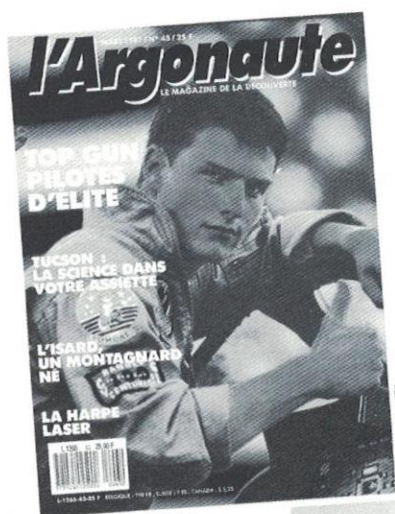
• ACTIVITÉS :

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.

ANSTJ - 17, avenue Gambetta
91130 RIS ORANGIS
Tél. : (1) 69 06 82 20



L'avenir des enfants vous concerne, donnez-leur toutes leurs chances !

Conçu par une équipe de chercheurs, de journalistes et d'enseignants, l'ARGONAUTE met la science à la portée de tous. Curieux de tout, abordant tous les sujets aussi bien l'actualité que l'histoire des sciences et des techniques, l'ARGONAUTE est un bon complément aux études.

* L'ARGONAUTE est un mensuel au prix de 25 F. Abonnement pour 1 an (11 numéros) 240 F. BON A RETOURNER A L'ARGONAUTE 3, rue Récamier 75007 Paris

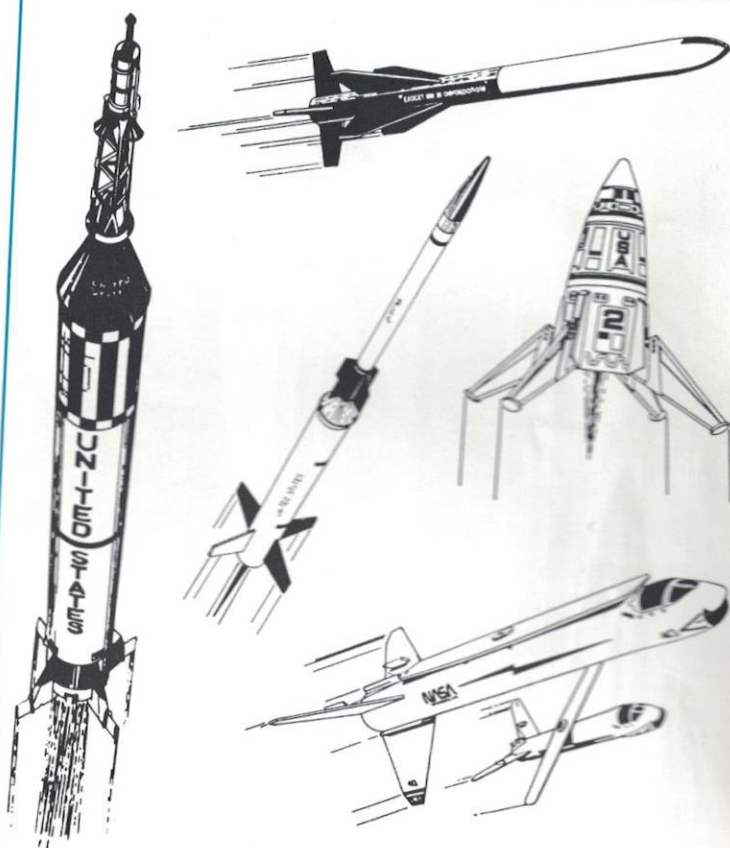
NOM
Prénom Age
Adresse
Code postal
Ville
Ci-joint mon règlement de :

Delta Astro Model

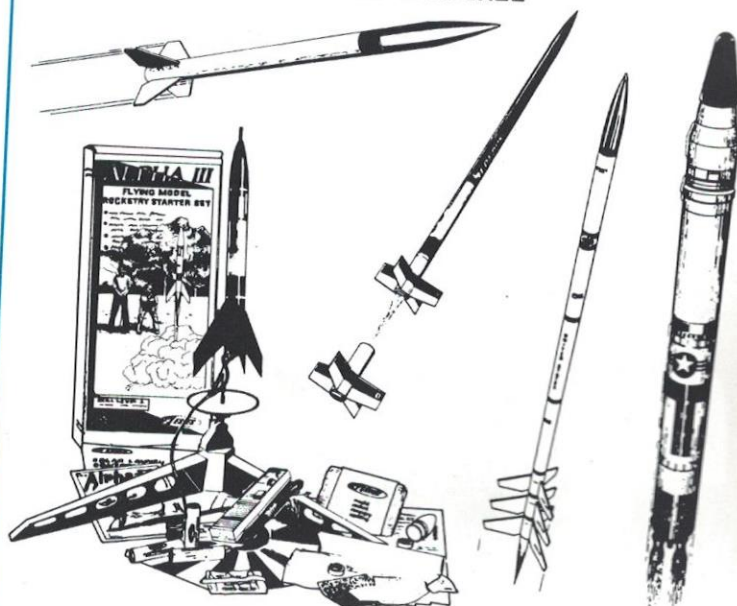
FUSEES MODELES REDUITS



FUSEES - MICRO MOTEURS - FOURNITURES
EN VENTE DANS LES MAGASINS DE MODELES REDUITS



PLUSIEURS DIZAINES DE MODELES,
DE LA V-2 A LA NAVETTE SPATIALE



DELTA ASTRO MODEL, CHACRISE 02200 SOISSONS

3.2.1.espace

revue des clubs aérospatiaux



association nationale sciences techniques jeunesse