

MICRO-FUSÉES

Numéro hors-série de Modélisme-CLAP (1981)

Documentation réalisée en équipe par
Robert MARCELLIN (CLAP National)
Guy PREAUX (Planete Sciences)
André VERRIER (CLAP 59)
Jacques WEYN (CLAP 62)
Croquis de M. Th. HOAREAU

1- Une micro-fusée

2- La propulsion

3- La construction

4- Le parachute

5- Le lancement

6- Le vol de la fusée

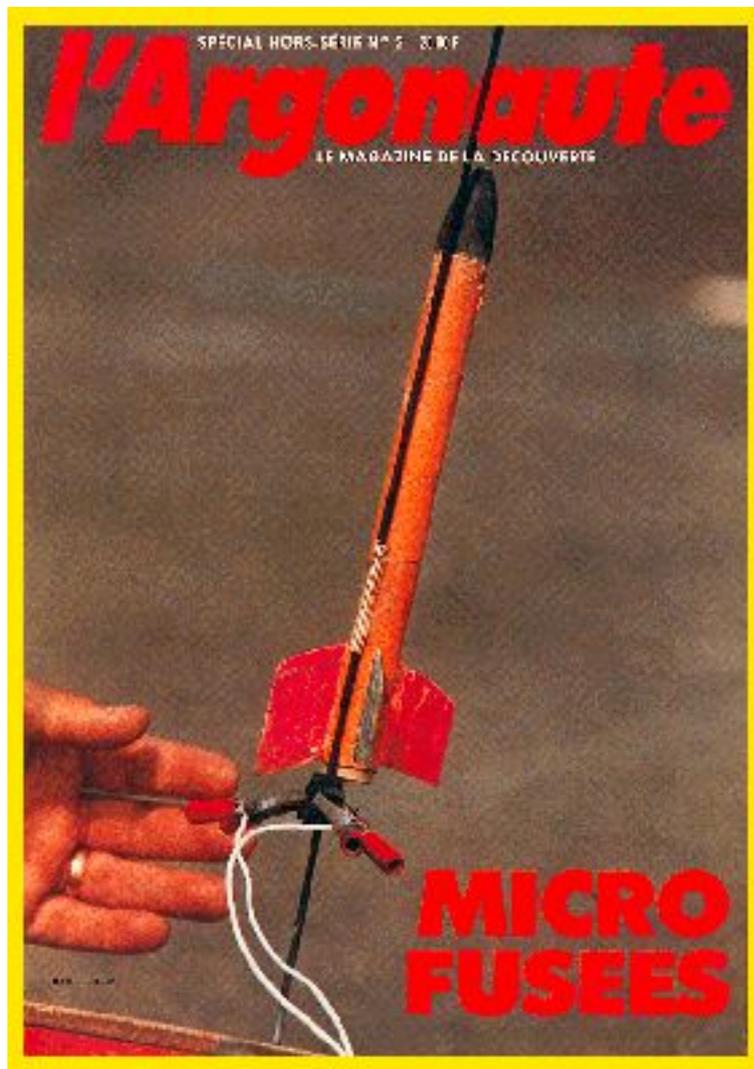
7- La mesure

8- Les techniques complémentaires

9- La sécurité

10- Ajouts 2001
dont le canon à Kinder

Ce numéro est paru à nouveau en 1987 comme spécial hors-série N° 2 de l'Argonaute.



Son contenu est identique.

[Sommaire publications](#)

Sources :

Textes, photos, croquis :

Aviation-CLAP Spécial micro-fusées - 1981

Archives CLAP 54.

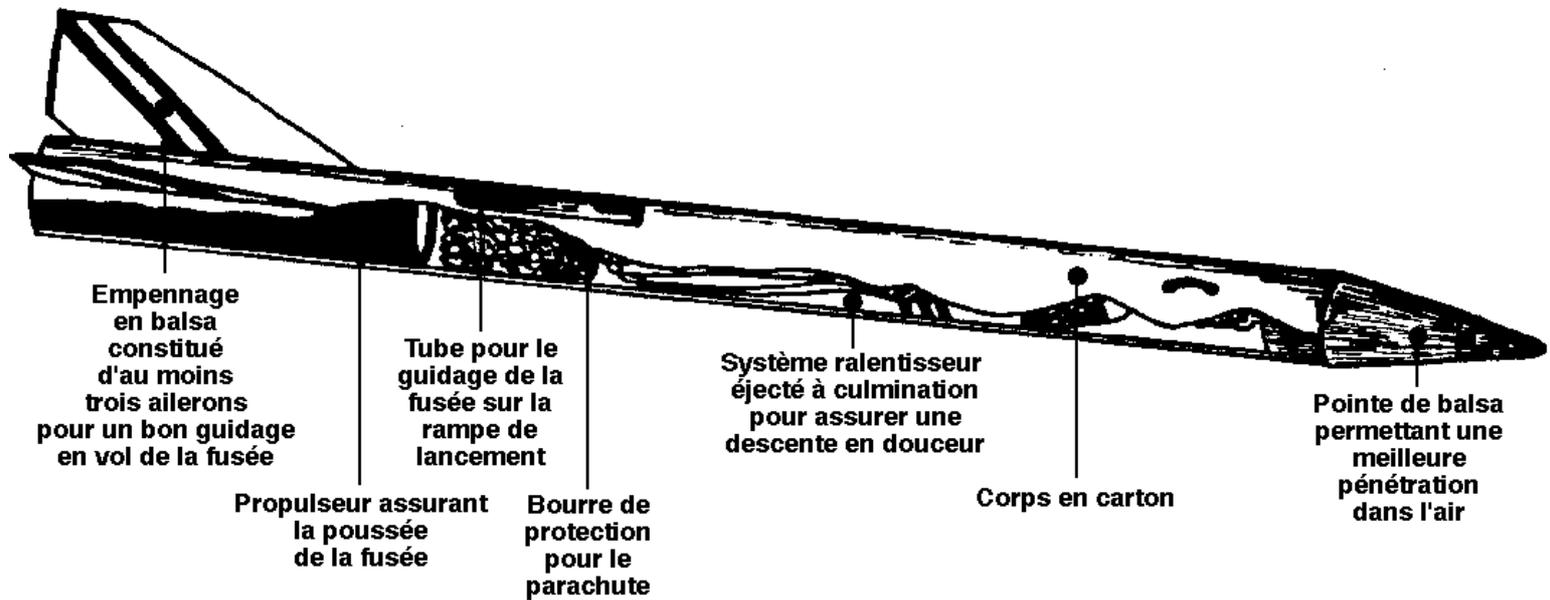
©LFEEP-CLAP 1981-2002.

L'utilisation de ce dossier est libre de droits.

Toute diffusion doit mentionner les sources du document original : LFEEP, CLAP, nom des concepteurs, ...

1- 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'AGRÉMENT MICRO-FUSÉE

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

[Page d'accueil](#) - [Plans et dossiers CLAP](#) - [Page précédente](#) - [Page suivante](#)

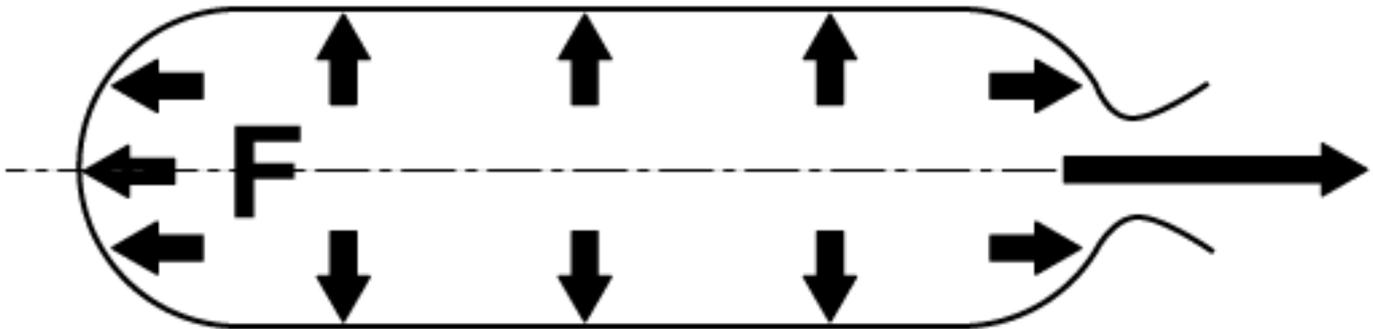
2- LA PROPULSION

LA PROPULSION À RÉACTION

Le moteur à réaction est certainement un des plus anciens moteurs connus... dans son principe (dès le milieu du XIe 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 de 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

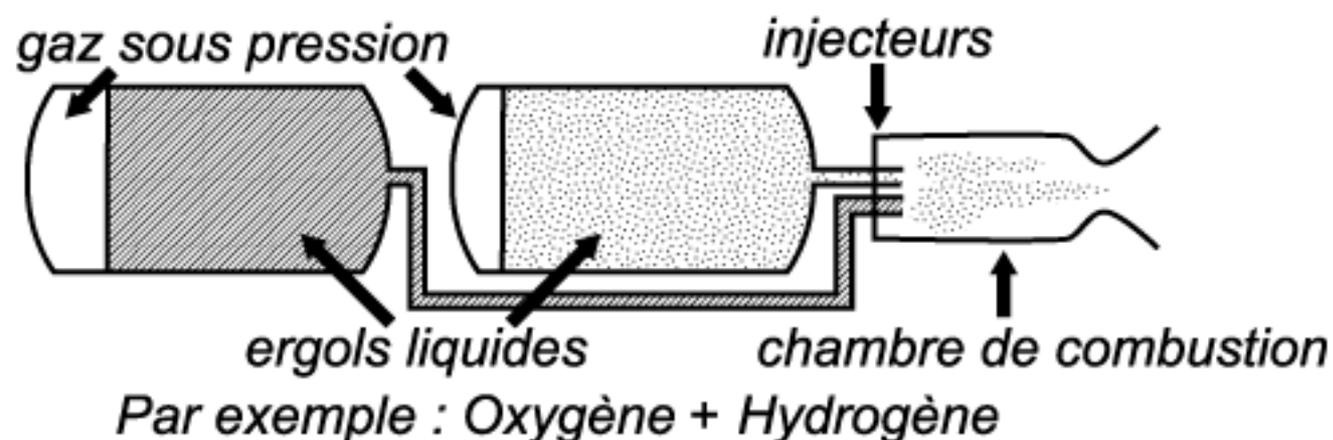
Le propulsif d'une fusée ordinaire consiste en un carburant et en un oxydant. Ce composé chimique nommé «propergol» se compose de deux ergols souvent liquides.

- 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.*



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.

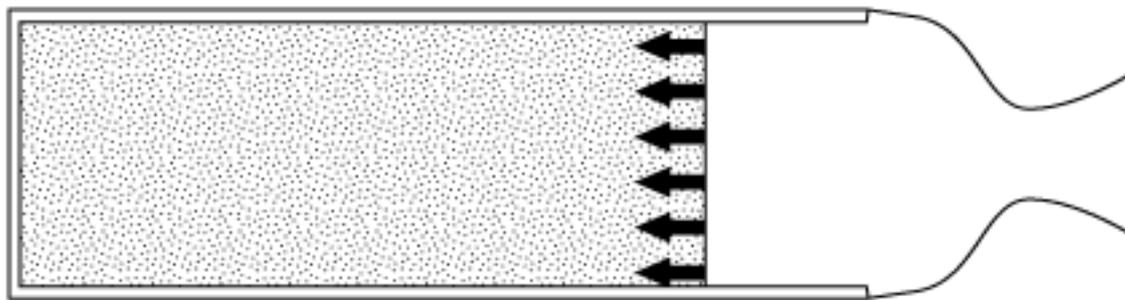
Cependant, en agissant sur les blocs de poudre, il est possible de faire varier le rendement et la performance des moteurs en fonction des besoins. D'où les formes très diverses que peuvent prendre les pains de poudre : celles-ci sont caractérisées par le coefficient de remplissage, c'est-à-dire le rapport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

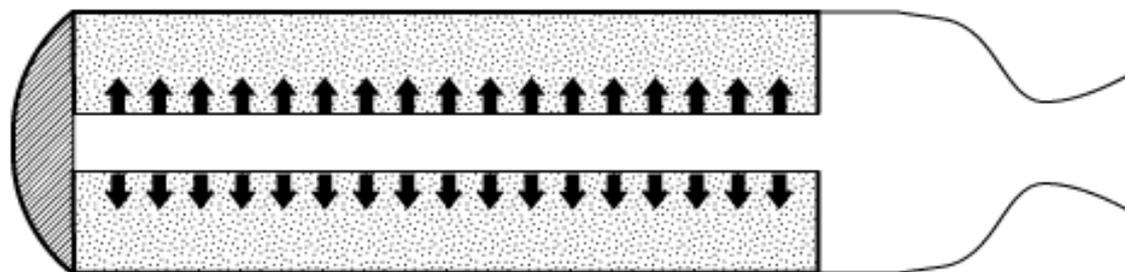
- le remplissage est maximum
- la poussée est faible
- le temps de combustion est long.

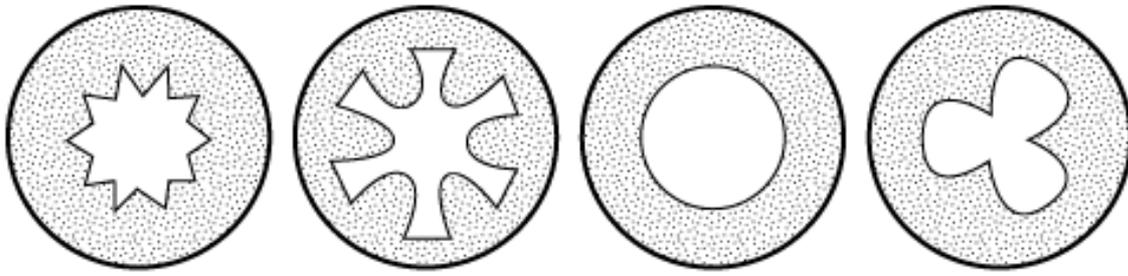


Bloc à combustion frontale

- **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 0,9.

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.

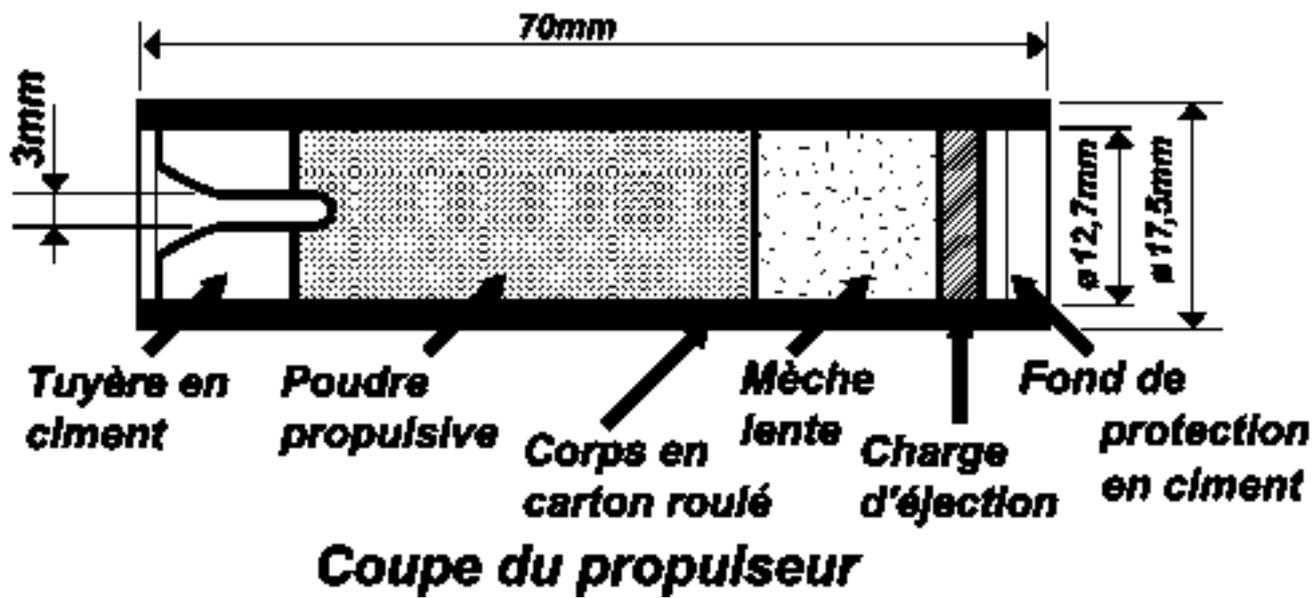
En outre, contrairement à l'obus, la fusée perd du poids au fur et à mesure que son combustible s'épuise. Sa poussée étant à peu près constante, on peut donc dire qu'elle accélère graduellement pour atteindre son maximum de vélocité juste en fin de combustion. Un propulseur est, de tous les moteurs, celui qui engendre la plus grande poussée par rapport à son poids.

LES MICRO-PROPULSEURS À RÉACTION

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

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

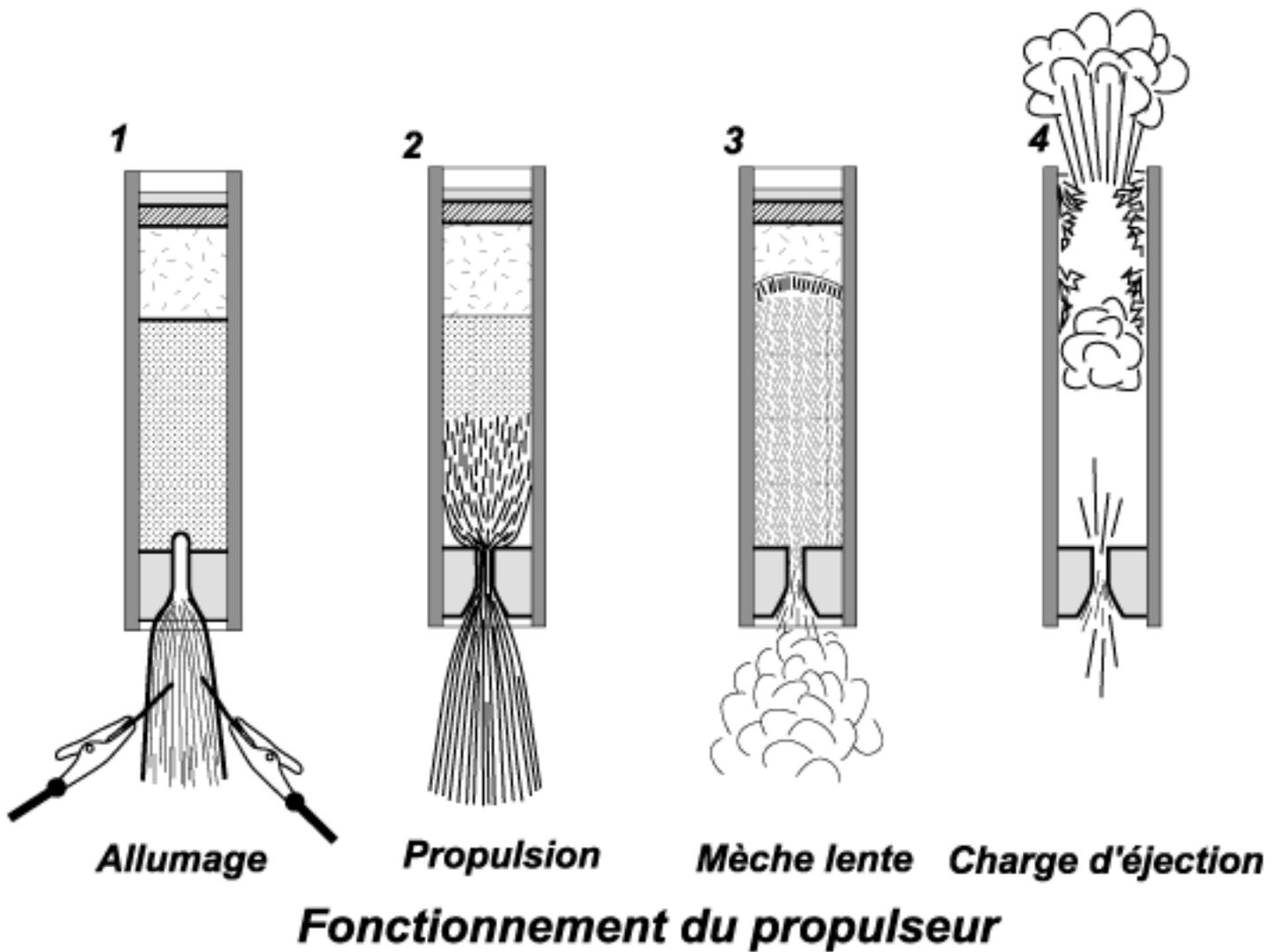
Ces micro-propulseurs se présentent sous forme d'un cylindre en carton de 70 mm de long et de 17,5 mm de diamètre. Ce sont des moteurs à poudre du type monergol donc pouvant fonctionner sans apport extérieur d'oxygène.



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 :

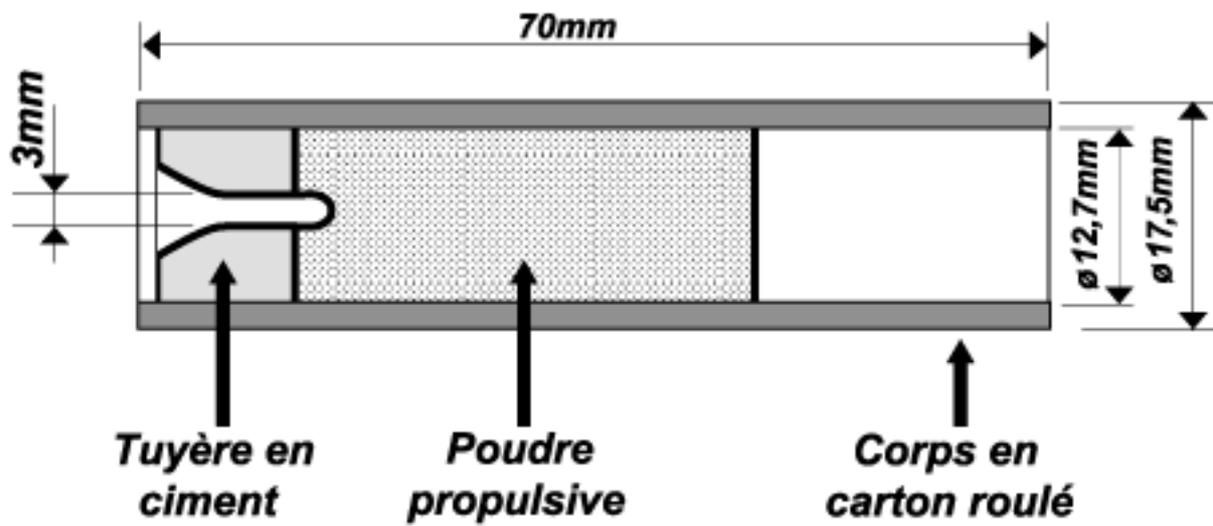
- une phase de combustion : les flammes sortent par l'arrière
- une phase d'arrêt : avec fumée cependant
- une phase d'explosion : avec sortie de flammes vers l'avant.



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 :



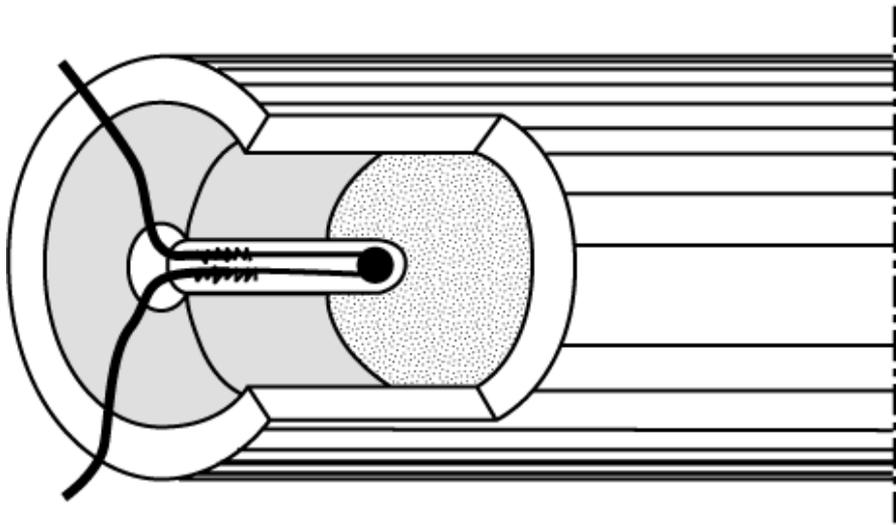
Allumage :

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

Il consiste en un fil Nickel-Chrome de 0,3 mm de diamètre, de 15 à 20 W/m, enduit ou non d'une couche superficielle de poudre. Il est introduit à l'intérieur du propulseur par la tuyère et doit être pressé contre la poudre.

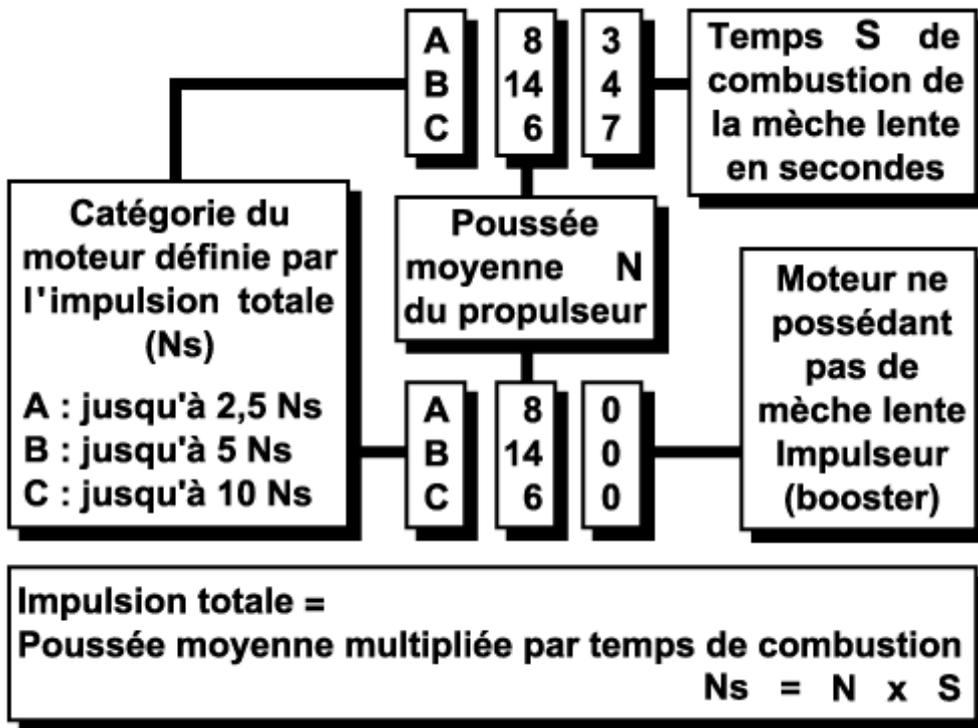
Branché aux bornes d'une batterie (12 V), l'allumeur porté au rouge enflamme la poudre.

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

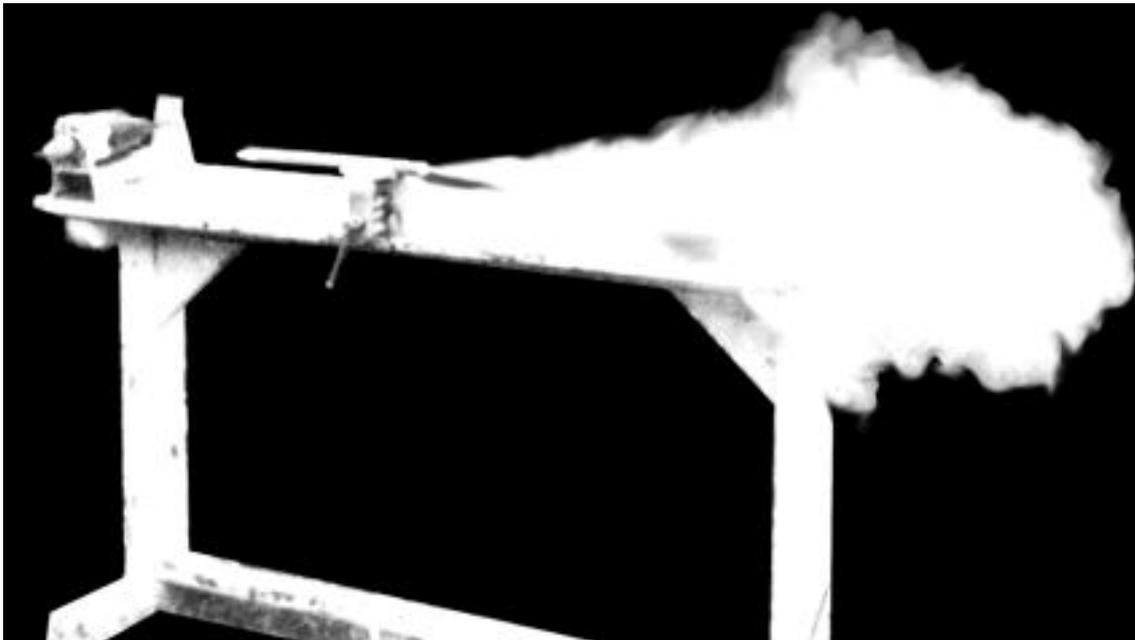


Remarque : Dans les micro-propulseurs, le type de combustion est axial (en cigarette). La poudre brûle à partir de la tuyère jusqu'au fond du propulseur. Toutefois, en introduisant une baguette de balsa par la tuyère, on constate que celle-ci s'enfonce plus ou moins suivant le type de moteur. Il est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



Essai au banc :



Sécurité :

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

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

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

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

[Page d'accueil](#) - [Page précédente](#) - [Page suivante](#)

3- LA CONSTRUCTION

Le corps

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

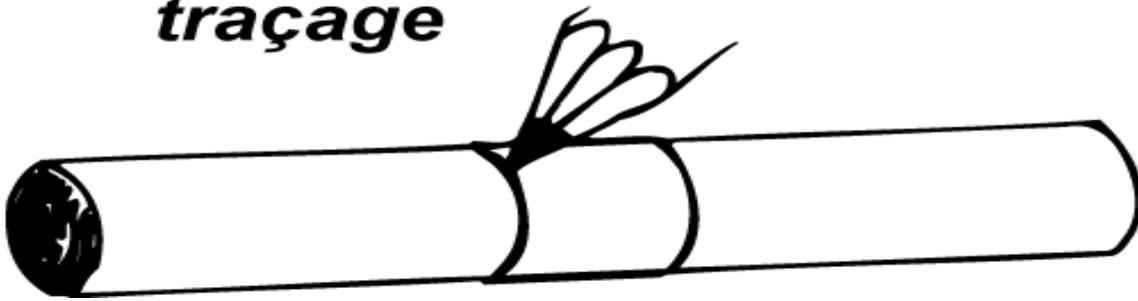
Il peut être également roulé (carton, rhodoïd...).

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

Voici comment obtenir le corps de la fusée :

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

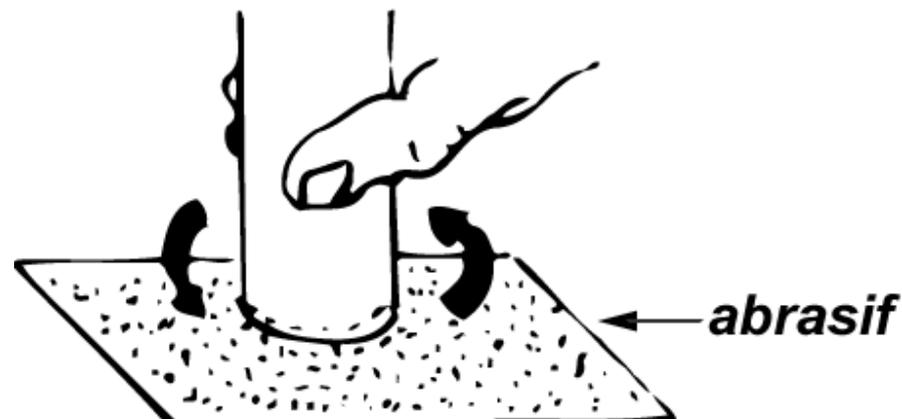
traçage



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

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

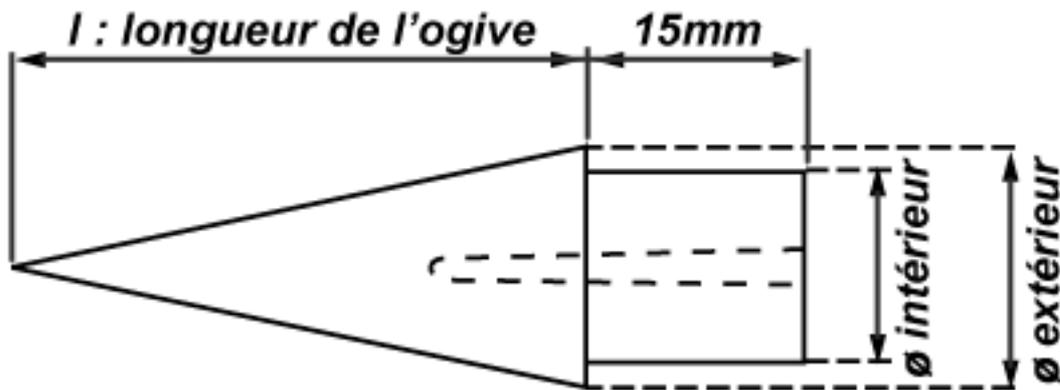
lissage du tube



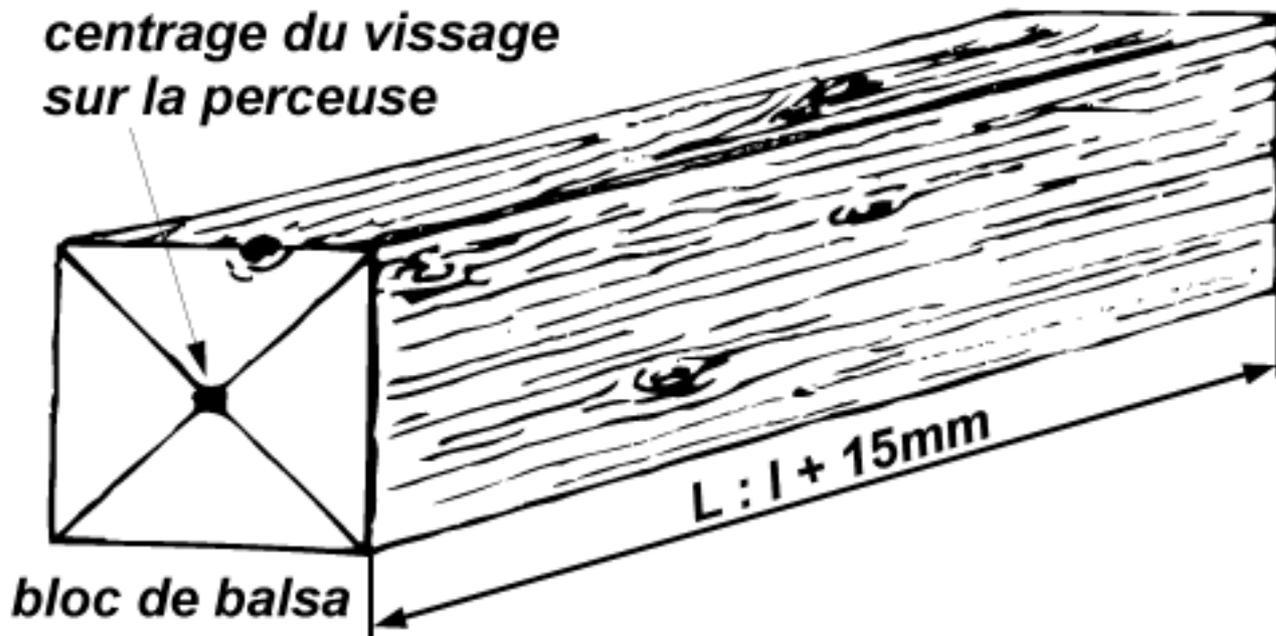
La pointe

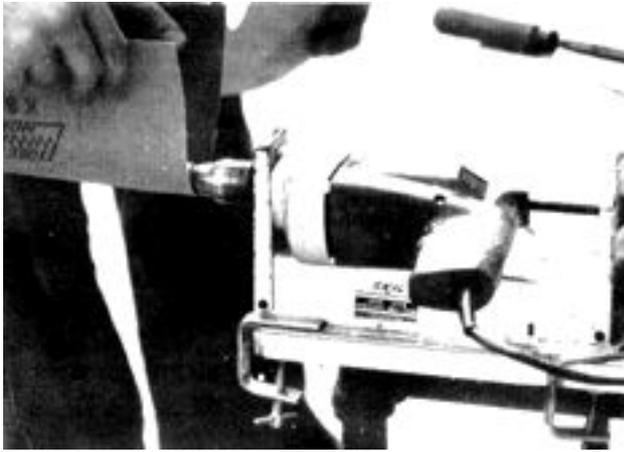
Elle doit glisser sans se coincer dans le corps de la fusée. Elle est aisément réalisée en tournant un bloc de balsa à l'aide d'une perceuse ordinaire montée sur un bâti horizontal. Une vis à bois de gros diamètre, dont la tête a été préalablement coupée, est introduite dans le mandrin. Le bloc de balsa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



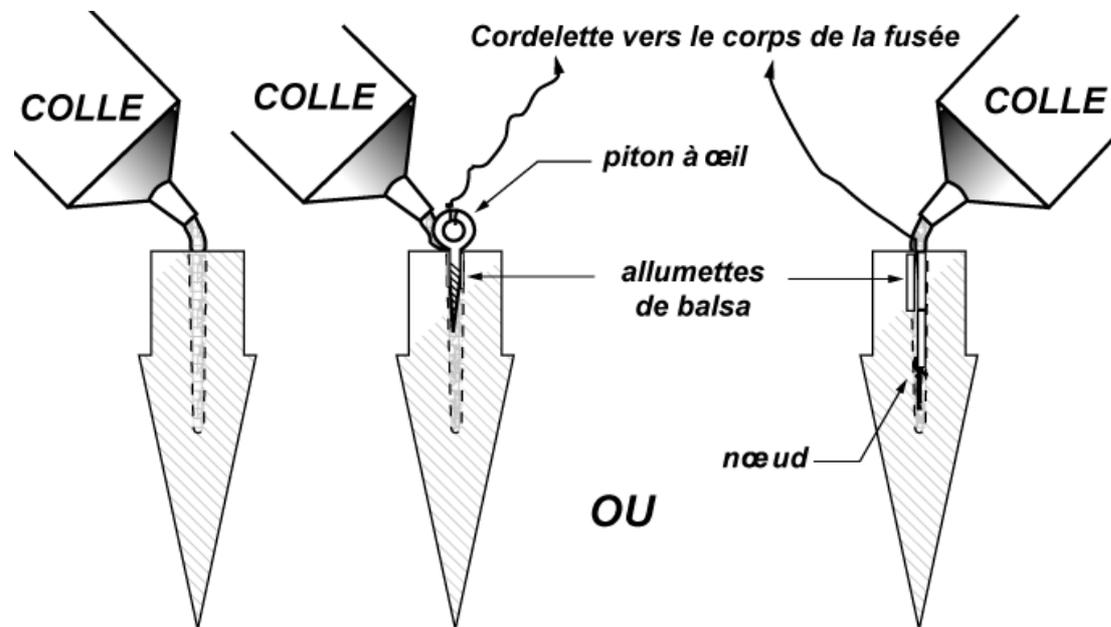
Terminer au papier verre moyen, puis fin (\varnothing externe 20 mm pour tube standard). Former le cylindre d'emboîtement à la lime plate ou à l'aide d'une bande de papier verre de largeur 15 mm.





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.

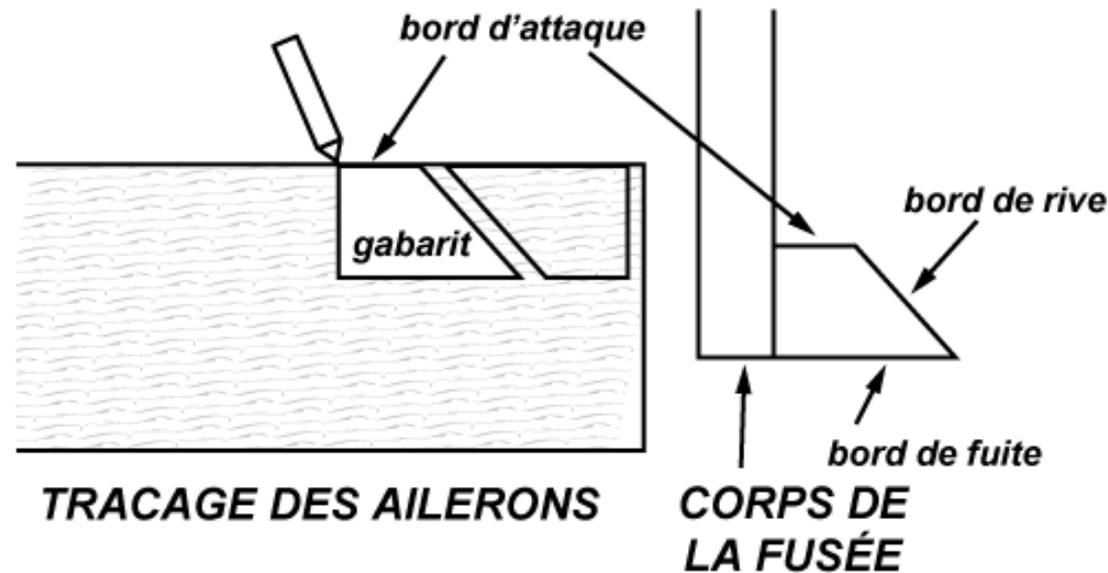
L'empennage

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

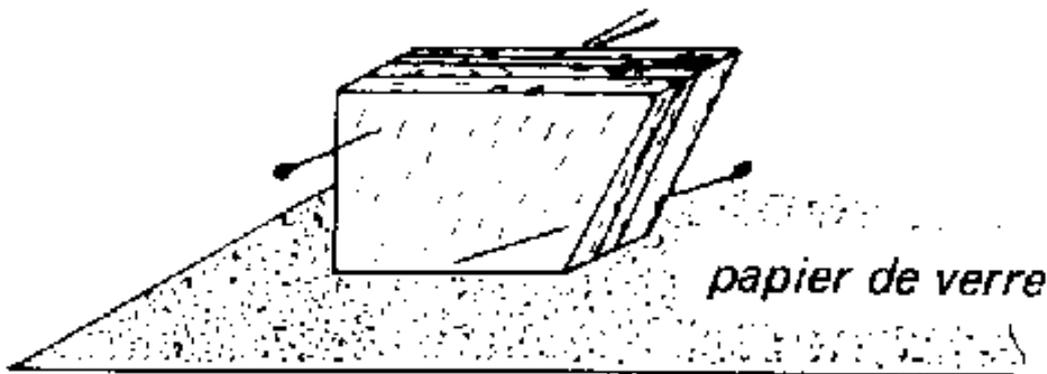
contour à l'aide d'un crayon sans appuyer.

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

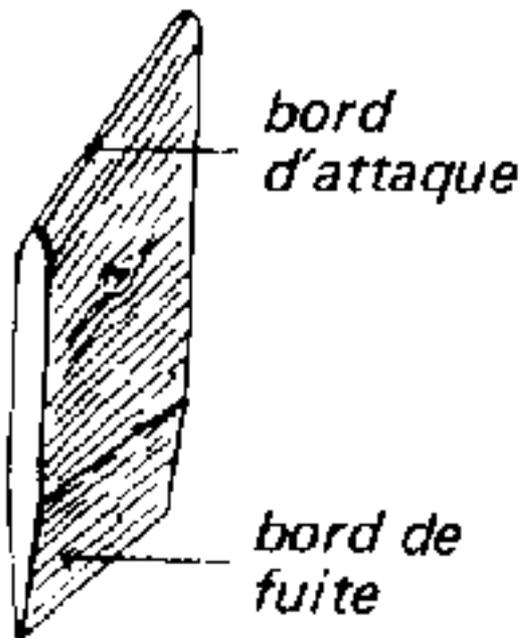


b) Découpage : se servir d'une règle pour guider le cutter. Celui-ci sera tenu bien droit, avec un angle de coupe de 45° .

c) Egalisation : 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.

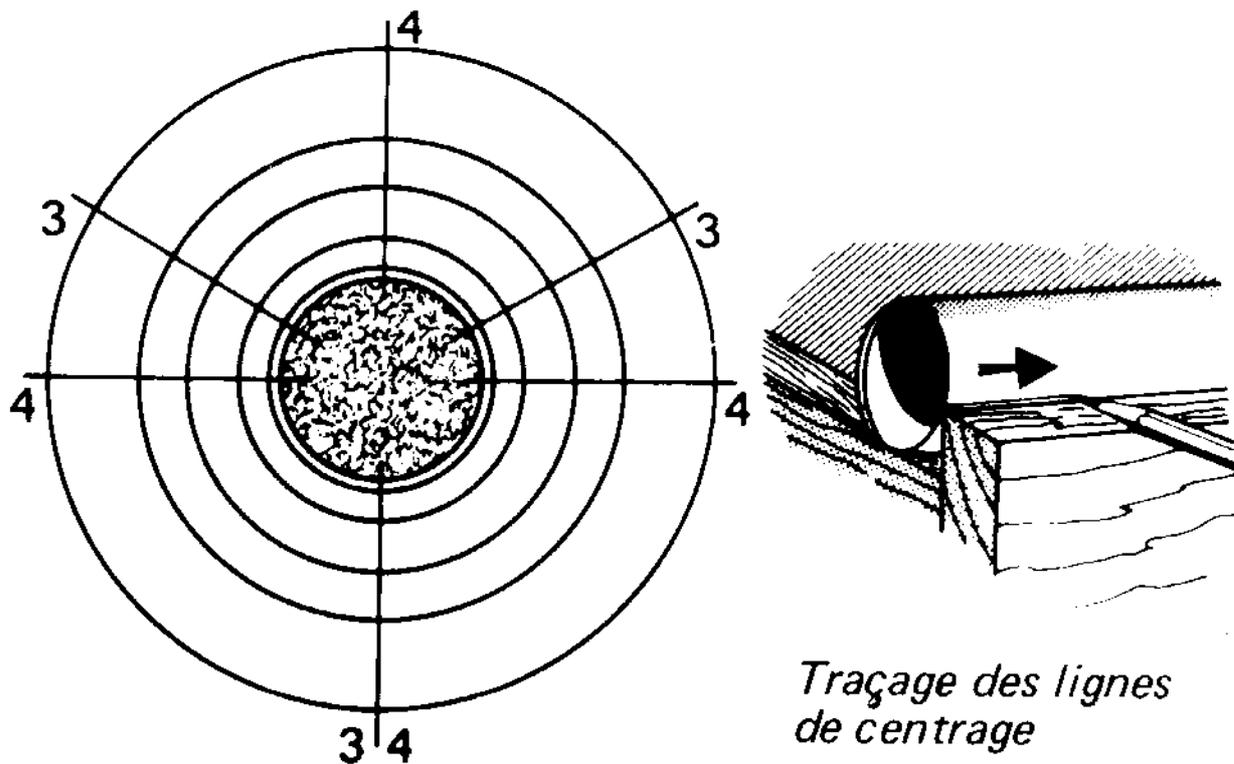


d) Profilage : La pointe de la fusée lui permet une meilleure pénétration dans l'air. On peut améliorer cette pénétration en donnant aux différents bords des ailerons un profil aiguisé.



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).

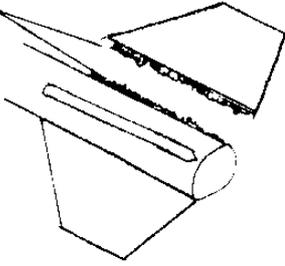
Pour tracer les lignes de centrage le long du corps, s'appuyer contre une règle carrée. L'arête de cette règle guidera le crayon.



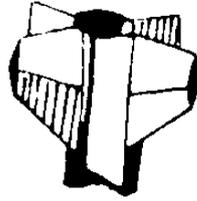
f) Collage des ailerons :

- appliquer un trait de colle au bord à coller de l'aileron et sur le corps de la fusée, en suivant les lignes du centrage.
- Laisser «prendre» la colle (préséchage) avant d'appliquer fermement l'aileron sur le corps.

Colle desséchée



Collage de l'aileron



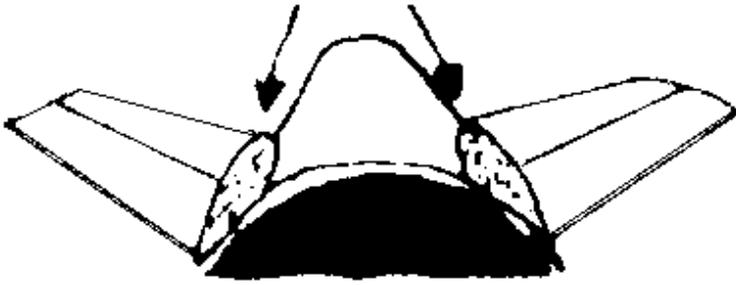
position de séchage

- Le soin apporté au collage influencera la stabilité en vol.
- Employer de préférence une colle cellulosique car elle sèche plus vite.



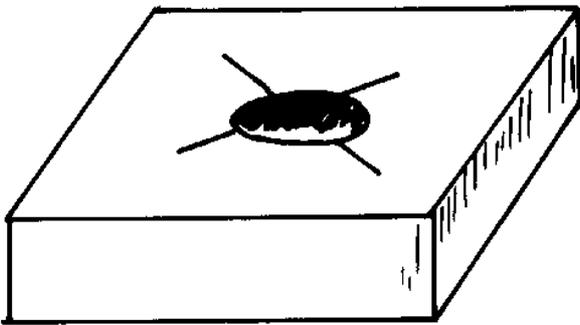
- Maintenir la fusée verticale pendant le séchage.
- Pour renforcer le collage, appliquer éventuellement un congé de colle sur deux ailerons, en laissant la fusée sécher horizontalement.

congés de colle



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

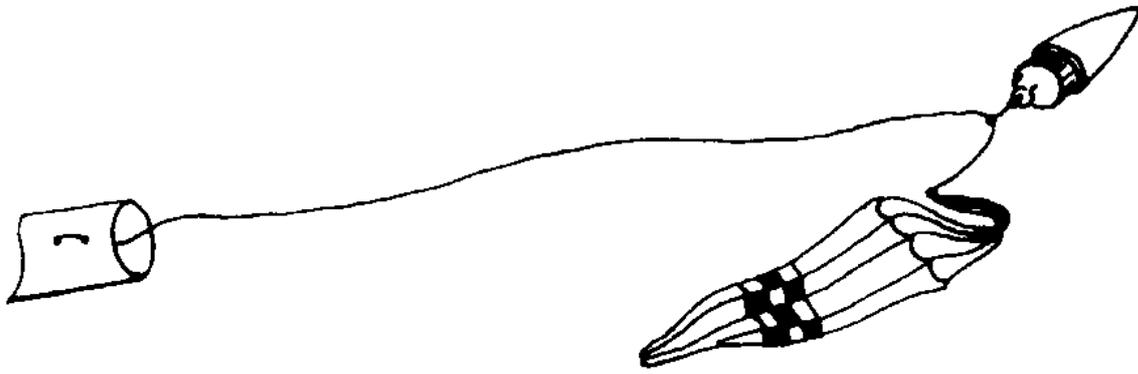
L'amortissement du choc créé principalement par l'éjection du parachute et du cône est assuré par une cordelette de longueur égale à deux fois celle du corps, soit par un caoutchouc. Ce cordon amortisseur doit être particulièrement bien fixé au corps.

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.

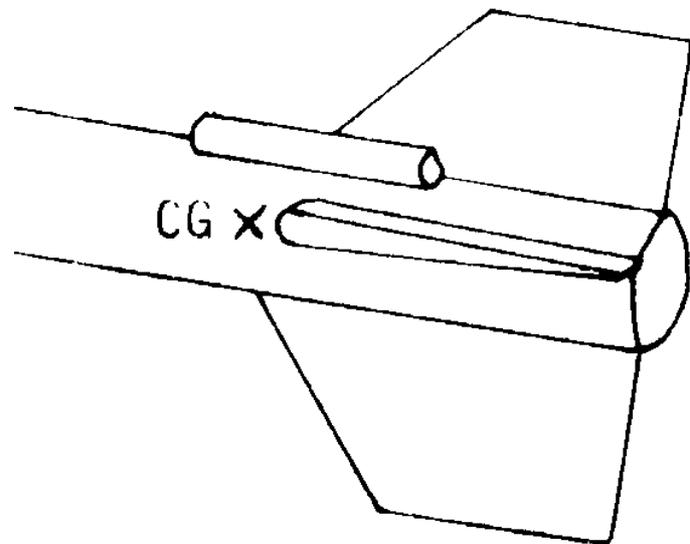
- Recouvrir éventuellement ce nœud et les trous avec de l'adhésif pour éviter une brûlure provoquant une rupture du cordon.



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 chalumeau (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.

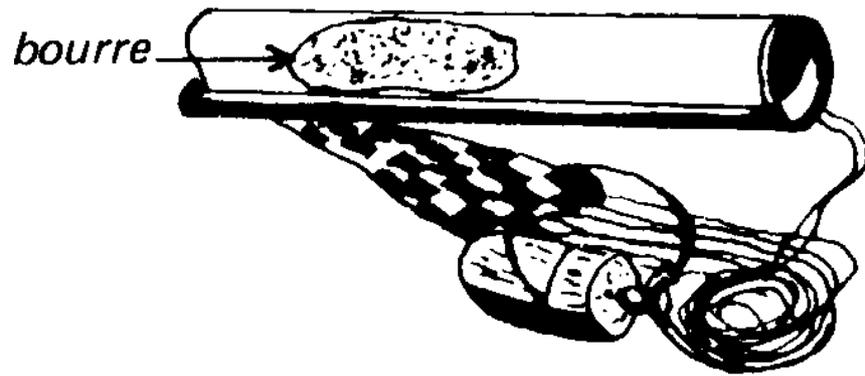
Pour cela, on peut appliquer une couche d'apprêt ou de vernis qui bouchera tous les pores du balsa. Une fois poncée au papier de verre fin, la fusée doit posséder un bon état de surface, sinon l'opération doit être répétée jusqu'à obtenir le «fini» désiré.

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.

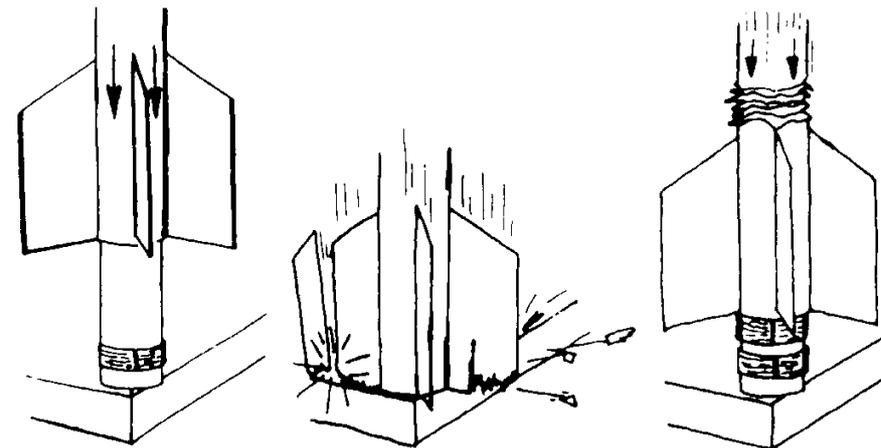
MONTAGE DE LA BOURRE ET DU MOTEUR

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 ! Passée 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

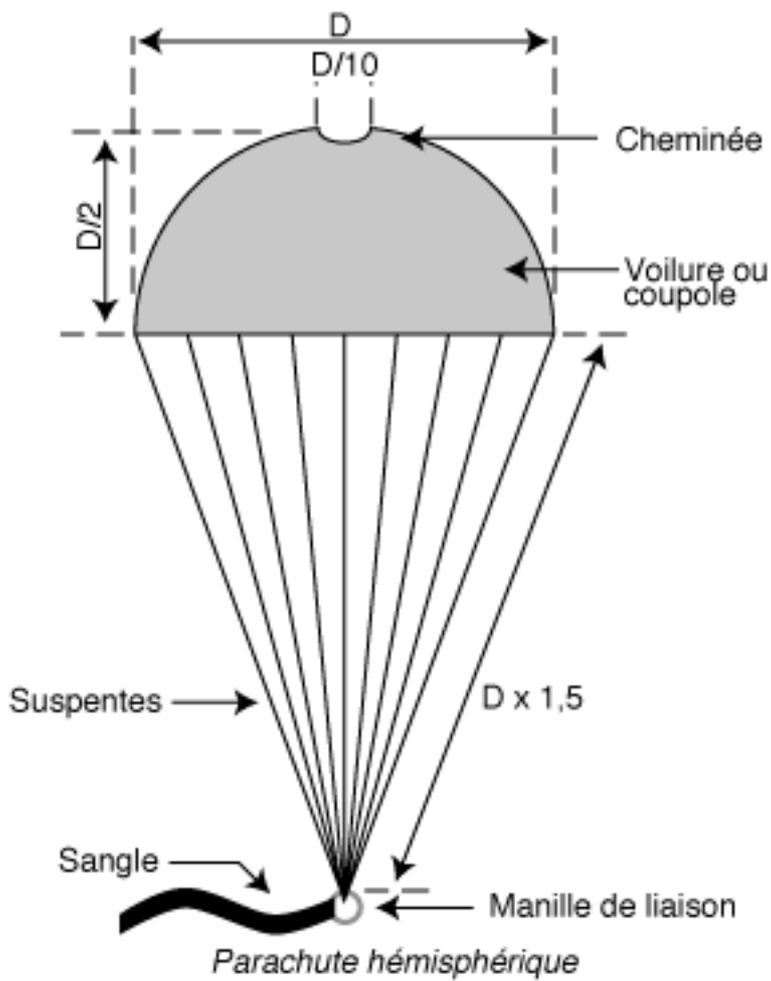
Longtemps utilisé par les parachutistes, il est très efficace (vitesse de descente très faible). Pour éviter des chocs importants lors de son ouverture, susceptible de détruire les matériaux, il doit être ouvert à de faibles vitesses.

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

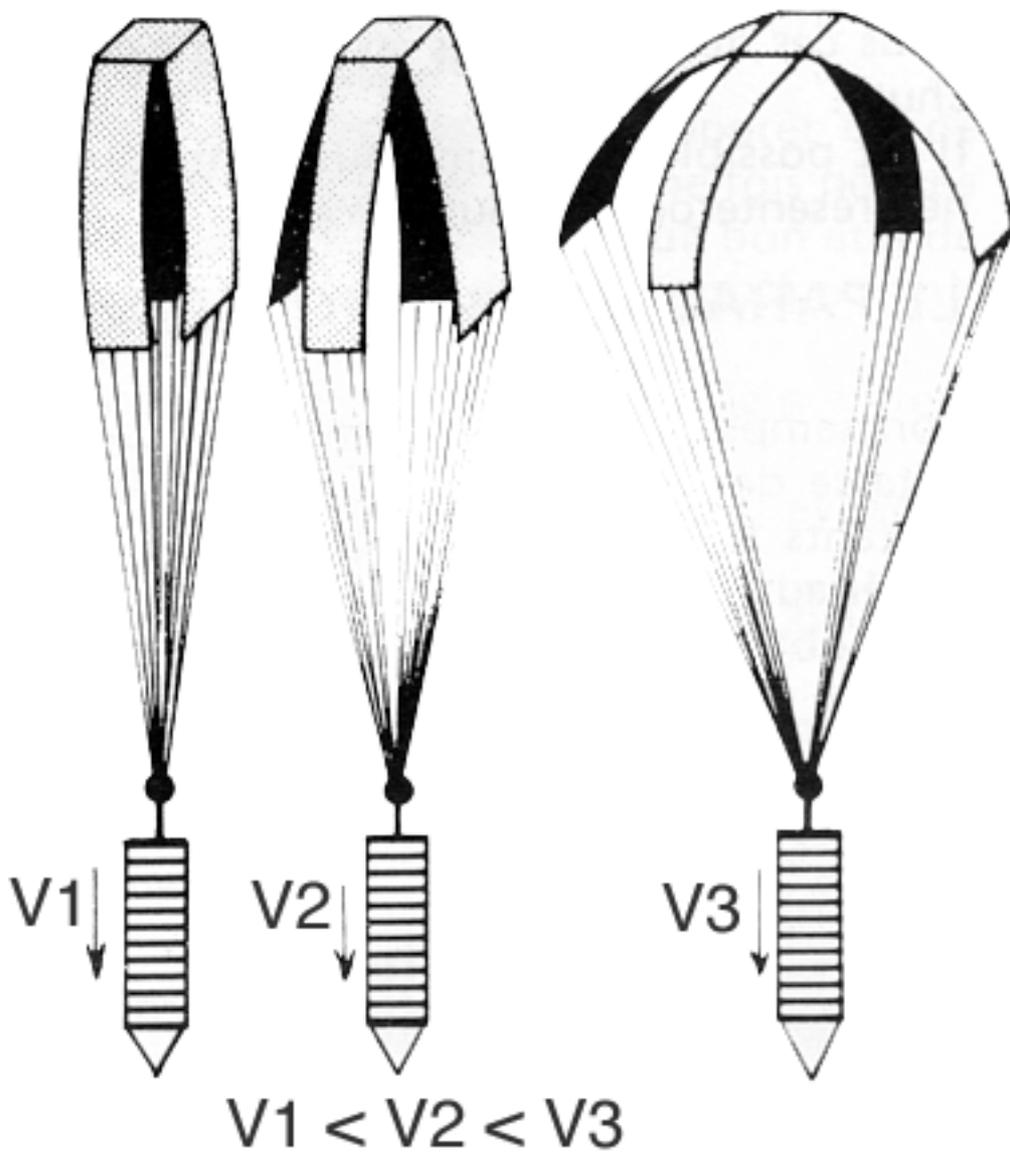
- Réalisé dans un matériau souple, feuille fine de matière plastique ou de tissu.
- La demi-sphère n'étant pas développable, le parachute sera réalisé à partir de bandes ou de fuseaux. Sa fabrication à partir d'un cercle est possible et plus pratique mais, même gonflé par l'air, il fera des plis que l'on peut réduire en augmentant le nombre de suspentes.
- **Les suspentes** : elles doivent être :
 - exactement de la même longueur (une fois et demie le diamètre).
 - fixées symétriquement sur le parachute.
 - leur nombre est égal ou supérieur à 6 et elles sont positionnées régulièrement autour du parachute.
 - 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 :



LA BANDEROLE

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

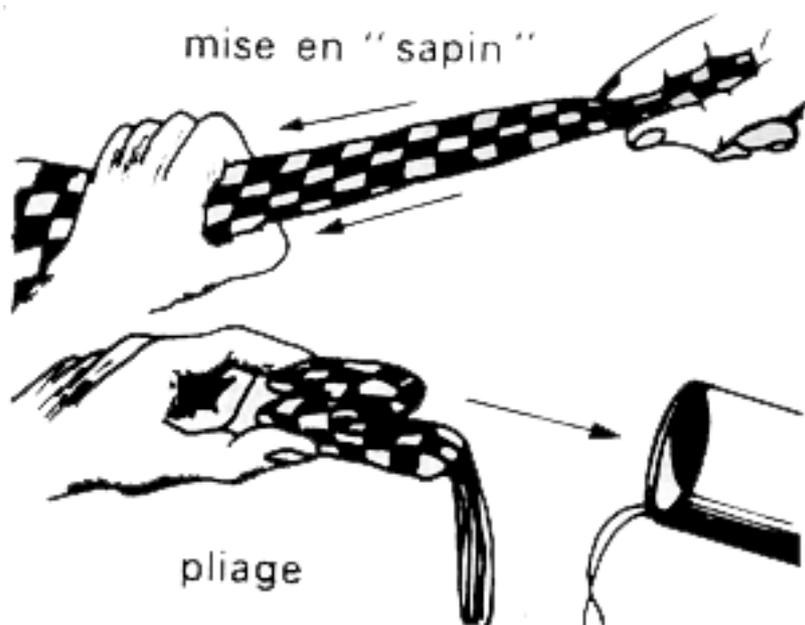
Une simple bande de toile découpée dans une feuille fine de matière plastique ou de tissu.

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

PLIAGE DU PARACHUTE OU DE LA BANDEROLE

- Démêler les suspentes.
- Plier le parachute «en sapin», en deux, plusieurs fois de suite puis le rouler de manière compacte.
- Cette opération doit s'effectuer en prenant soin :
 - de toujours laisser la pointe du parachute ou l'extrémité de la banderole à l'extérieur du pliage.

- de ne jamais enrouler les suspentes autour du parachute.
- Introduire le parachute dans le corps de la fusée.
- Mettre en dernier lieu les suspentes et les sangles.
- Le parachute ne doit être introduit que quelque temps avant le lancement pour éviter qu'il prenne des plis empêchant son ouverture.



LES ESSAIS

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

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

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

CONSEIL AU LANCEMENT

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

5- 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.

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 :

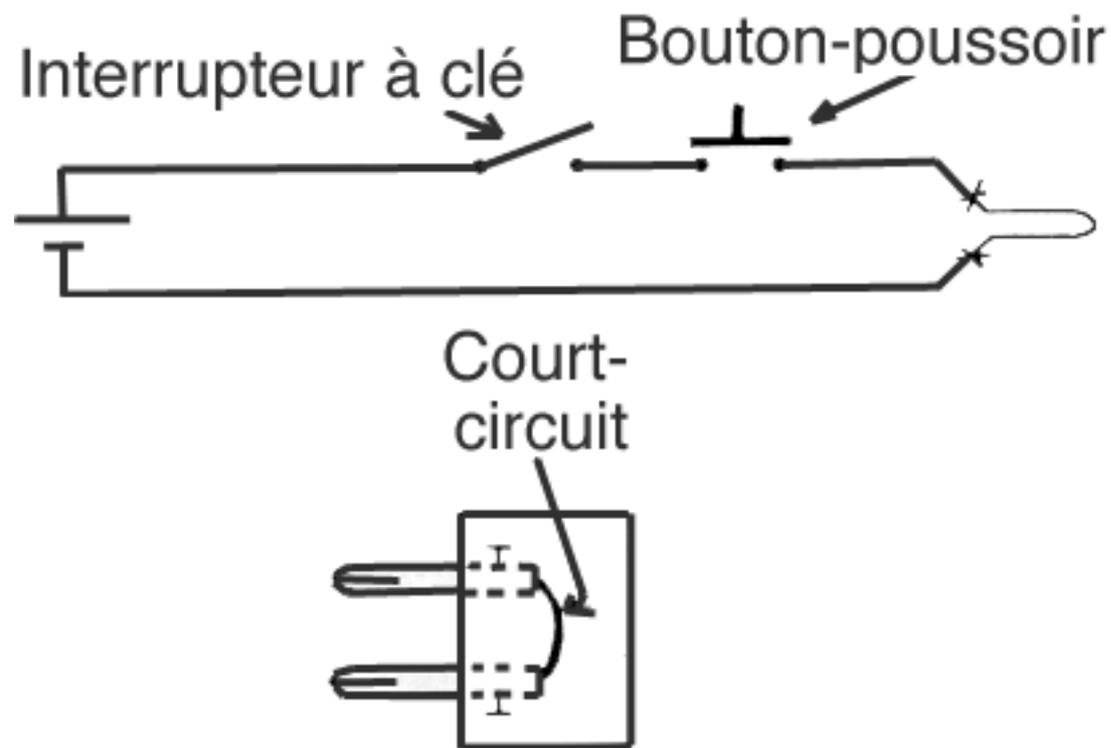
Une pile plate de 4,5 volts **neuve** peut assurer la mise à feu de quelques moteurs, mais il faut lui préférer une batterie de moto ou d'auto de 6 volts ou 12 volts. Les batteries Cadmium-Nickel 7,2 volts utilisées en radiocommande conviennent aussi. Le voltage importe peu ; c'est le nombre d'ampères débités qui est important. (Résistance de l'allumeur 1,25 ohm, 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 faut obligatoirement ajouter 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).

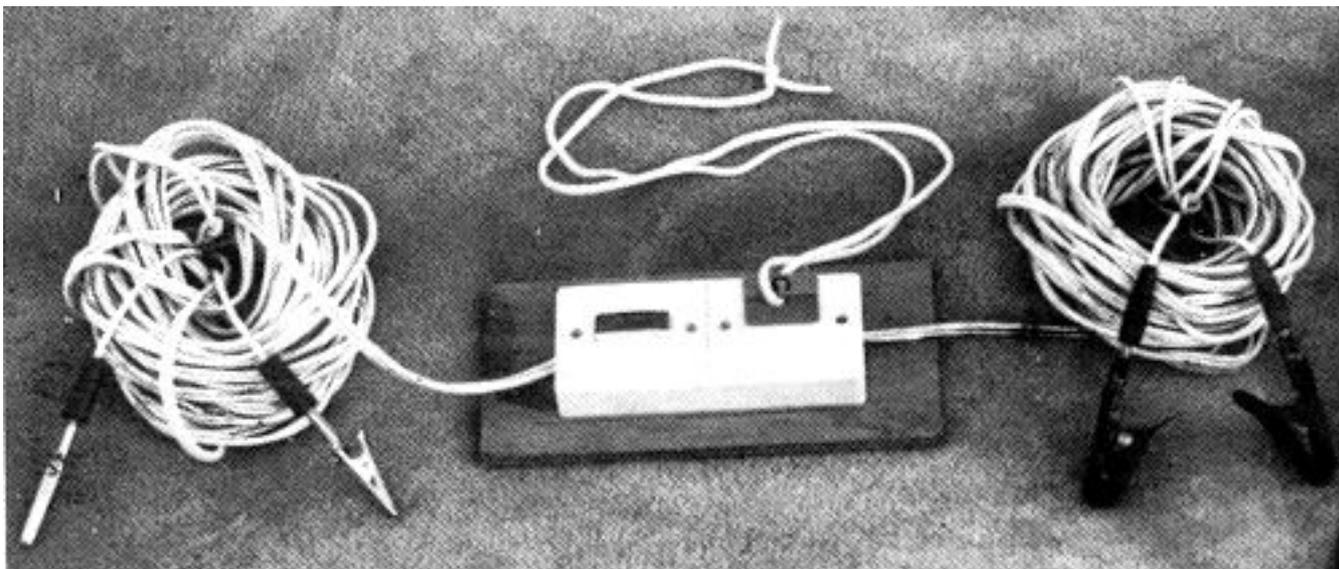
Cet interrupteur de sécurité peut être constitué par un contact à clé récupéré sur une automobile ou un téléviseur, par un interrupteur spécial acheté dans le commerce, ou, modèle économique, par une prise de courant et sa fiche dont les bornes ont été reliées par un conducteur électrique (court-circuit).



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).

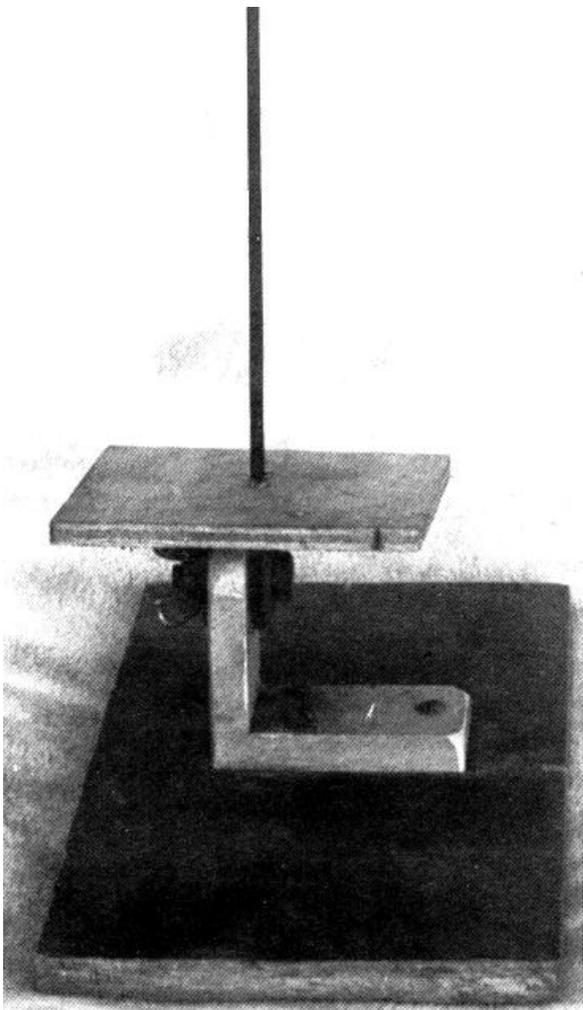
Prévoir une arrivée et un départ du courant utilisant des fils allongés ce qui vous permettra d'utiliser vos câbles déjà fabriqués (ou de vous dépanner rapidement en cas d'ennuis) .

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

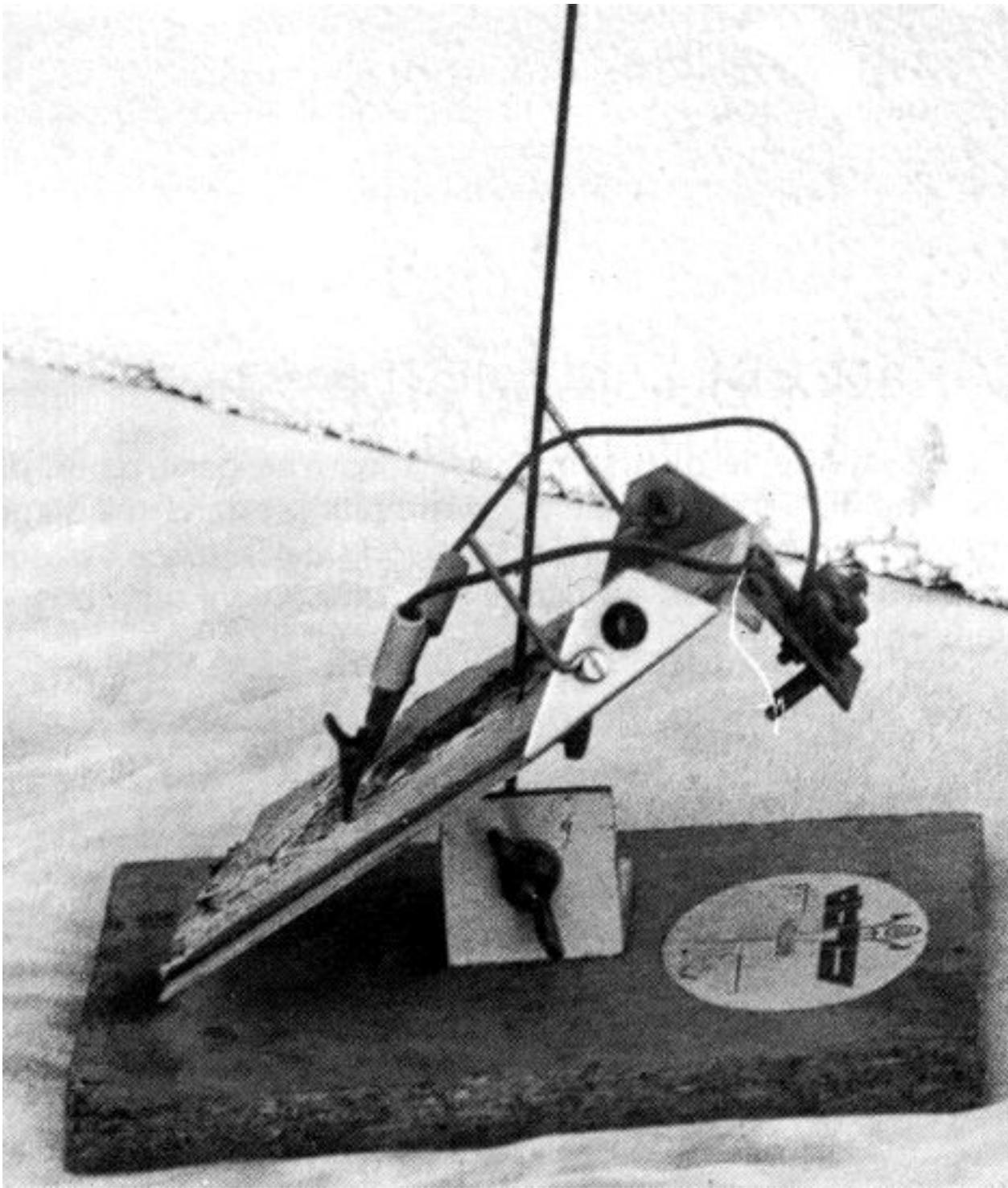
Le système le plus simple est constitué par une corde à piano de 30/10 de mm de diamètre plantée dans une planche support. Le tube-guide placé le long de la fusée est enfilé sur cette tige rigide et droite qui doit avoir une longueur d'environ 75 cm.



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° .

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 fiches mâle et femelle.

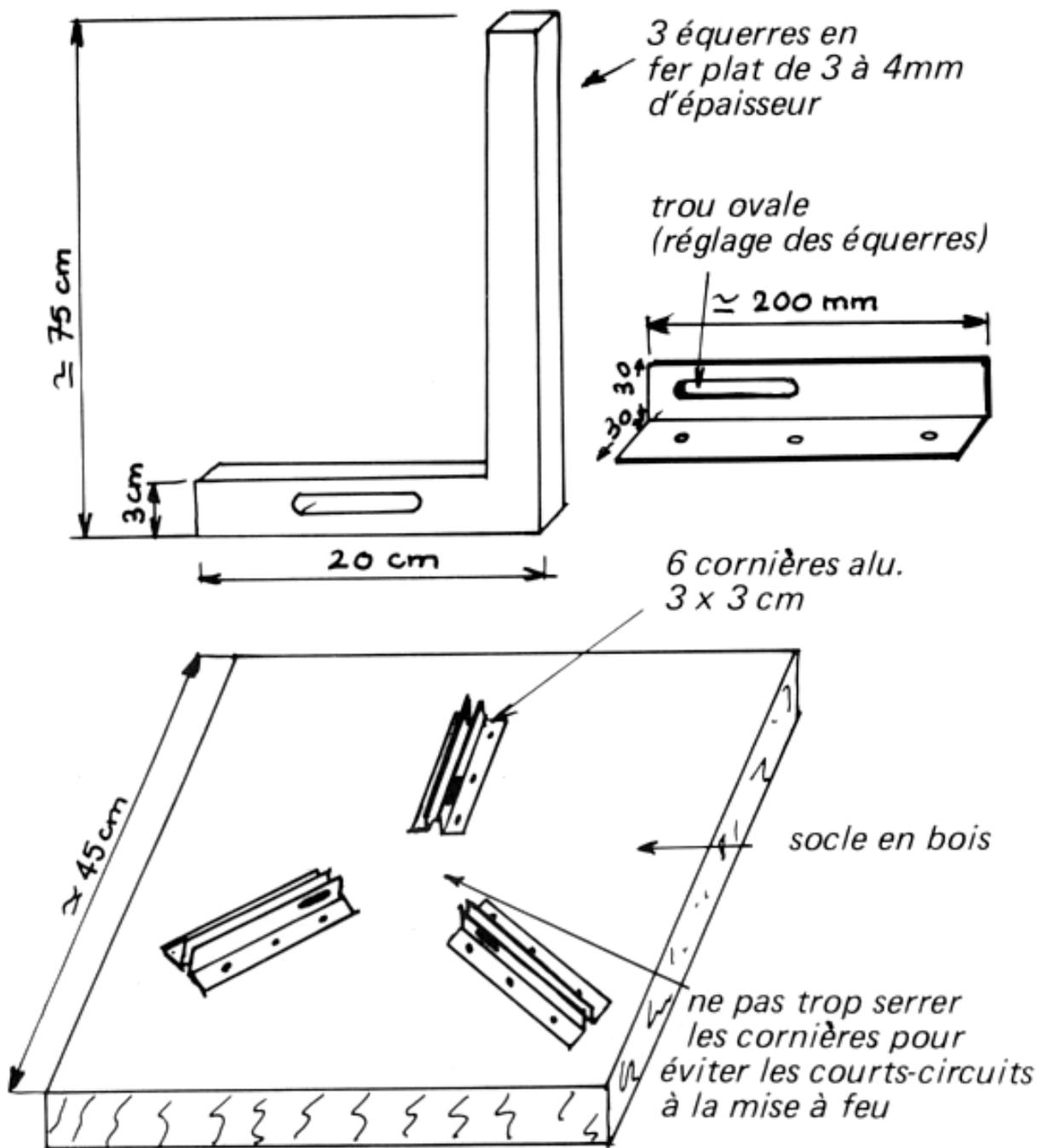


Ces rampes de lancement présentent un inconvénient : elles obligent à munir les fusées d'un tube-guide, avec les conséquences suivantes :

- augmentation du maître couple
- création d'une traînée parasite dissymétrique
- création de frottements au départ.

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

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

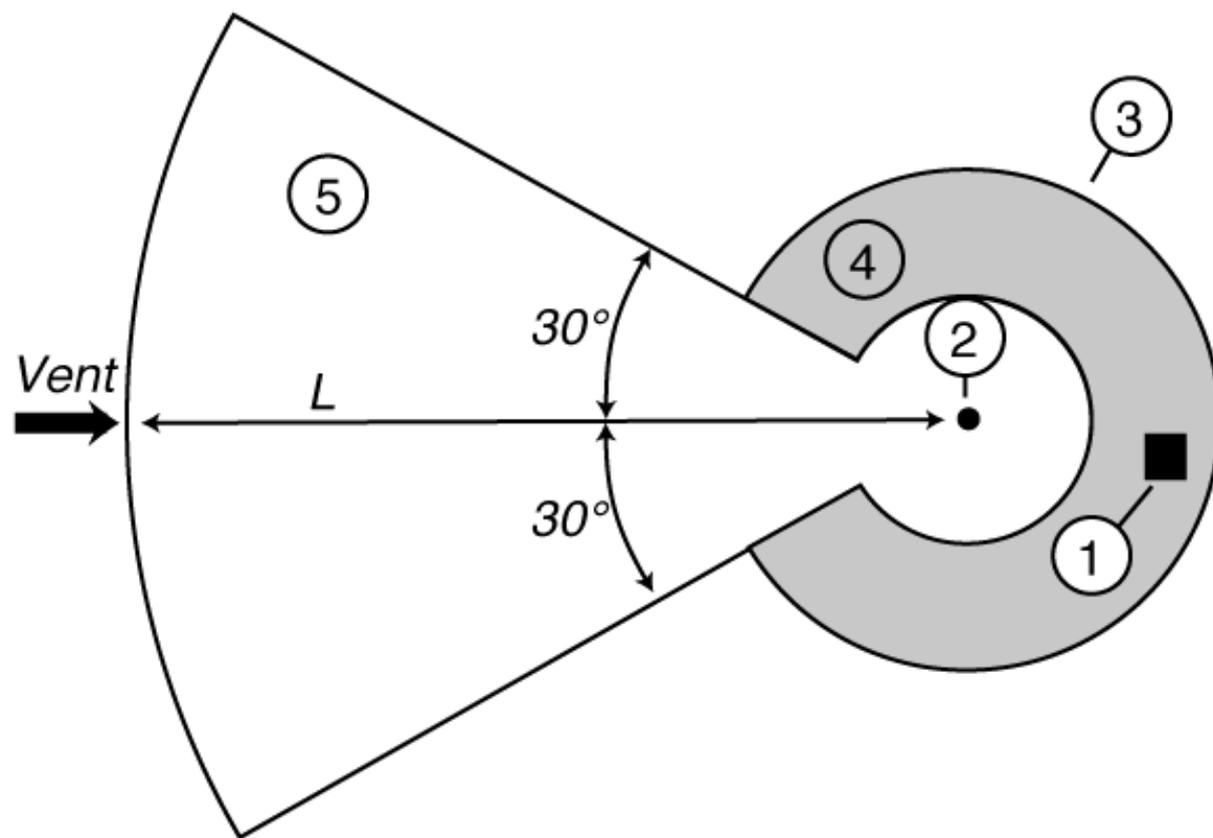


AIRE DE LANCEMENT, ZONE DE SAUVEGARDE

L'aire de lancement doit être une surface plane et dégagée d'au moins 50 m de côté (terrain de football). Le gabarit de lancement est établi le plus possible dans le vent, en fonction des impératifs de sauvegarde en cas de retombée en chute libre de la pointe ou du moteur. Le secteur interdit 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.



- 1- Pupitre de mise à feu
- 2- Rampe de lancement
- 3- Cercle de protection des spectateurs. $R = 10 \text{ m}$
- 4- Cercle de sécurité. $R = 5 \text{ m}$
- 5- Secteur de protection des spectateurs



COMPTE A REBOURS

Un compte à rebours minimal de 10 secondes 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.

[Page d'accueil](#) - [Plans et dossiers CLAP](#) - [Page précédente](#) - [Page suivante](#)

6- LE VOL DE LA FUSÉE

3 ... 2 ... 1 ... ZÉRO

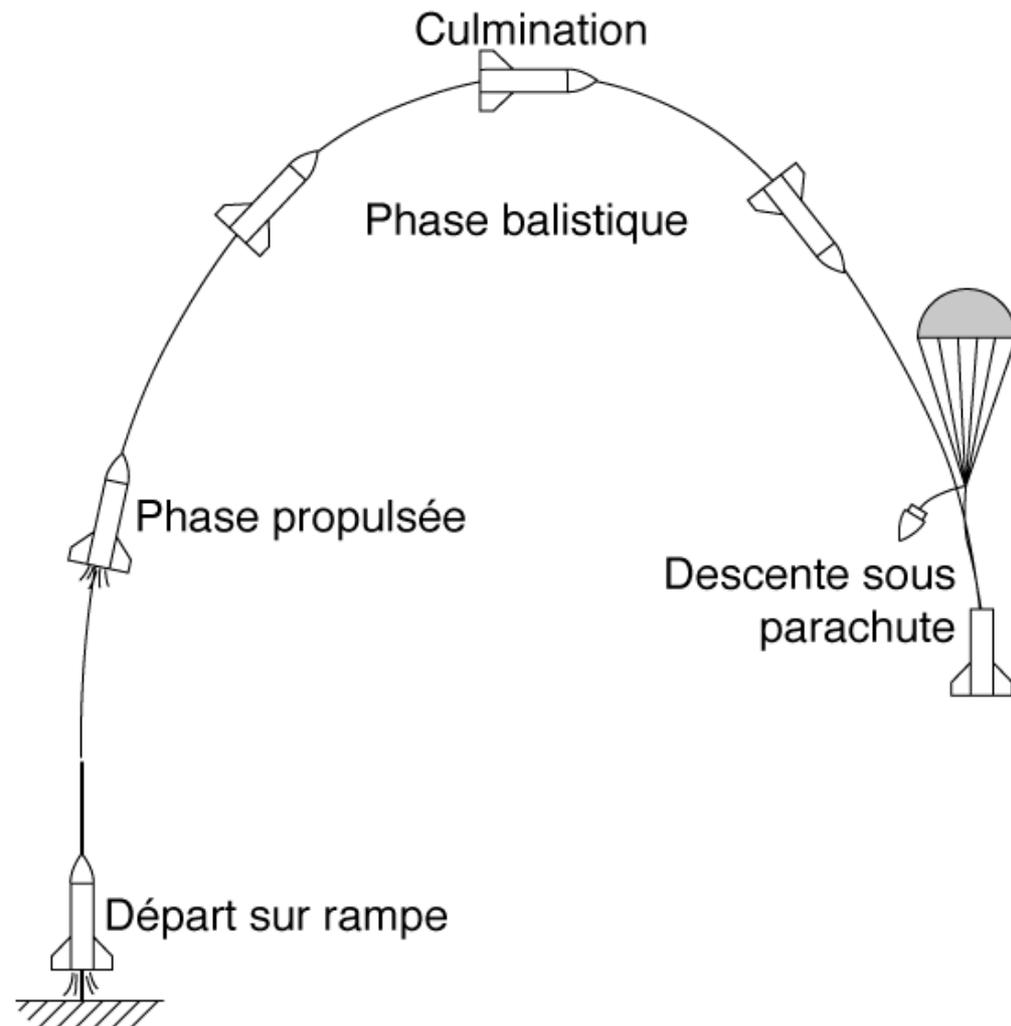
Et la fusée s'élève majestueusement dans le ciel... Une fusée vole, c'est incontestable, mais comment ? Comme tout véhicule, elle possède un moteur qui la propulse. Mais, pour la micro-fusée, il n'est pas question de chauffeur qui la dirige. Elle doit se guider seule, ou presque, tout au moins sans intervention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

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

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

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

LES PHASES DE VOL

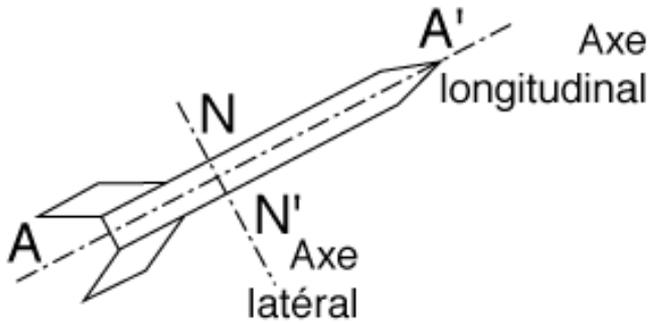


LES FORCES EN PRÉSENCE

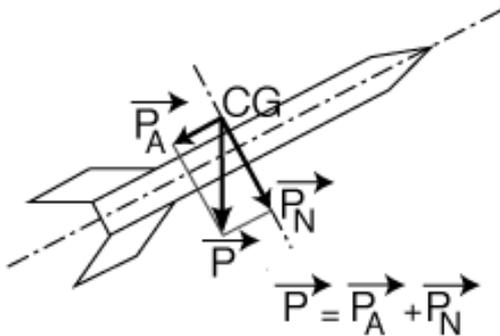
Trois forces contribuent au déplacement de la fusée :

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

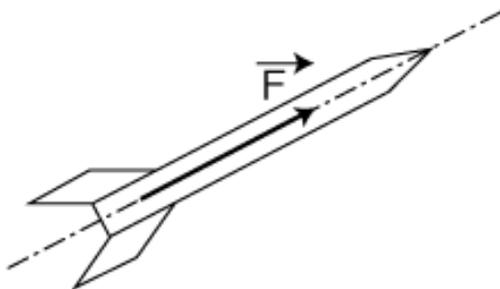
Ces forces peuvent se décomposer suivant les axes longitudinal et latéral de la fusée :



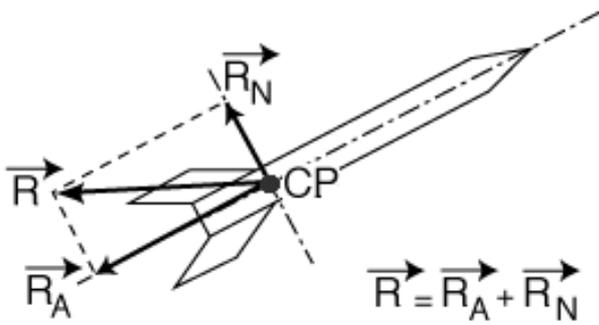
Le poids s'applique au centre de gravité (C.G.) et est dirigé verticalement :



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



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



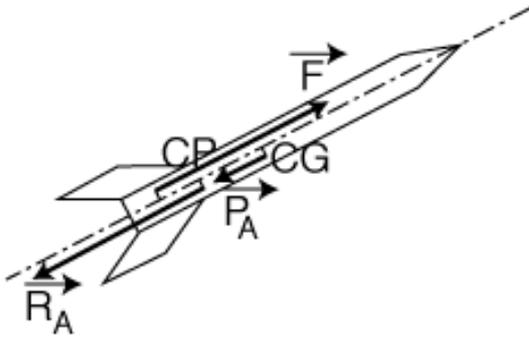
COMPOSITION DES FORCES

Suivant l'axe longitudinal : les performances.

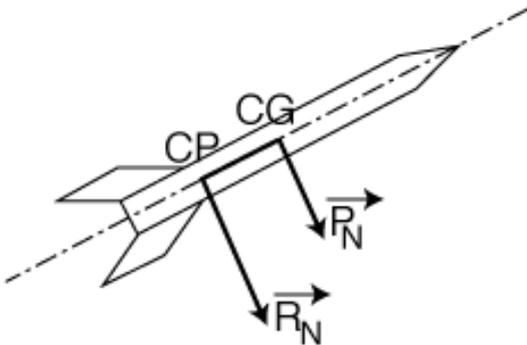
Les trois forces F , P_A et R_A sont colinéaires et peuvent s'ajouter :

$$F + P_A + R_A = T_A$$

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 P_N et 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.

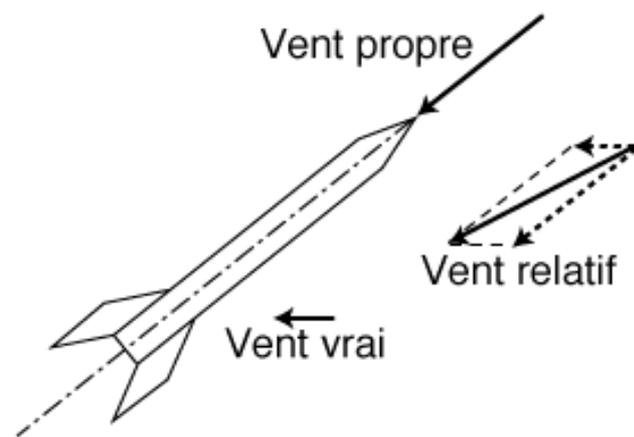
- **Le poids** : défini avant le lancement, il ne varie durant le vol que de la masse de poudre brûlée et éjectée pendant la propulsion .
- **La résistance de l'air** : c'est surtout grâce à elle que nous allons pouvoir améliorer performances et stabilité de la fusée.

LA RÉSISTANCE DE L'AIR

Elle provient de l'action combinée :

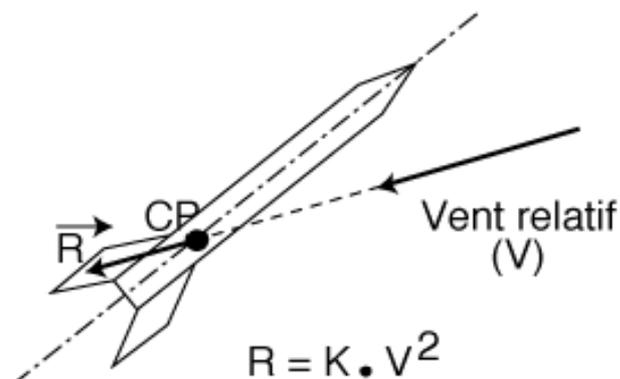
- de l'air fixe par rapport à la fusée en déplacement : le **vent propre**. La vitesse de ce vent est égale à la vitesse de déplacement de la fusée.
- de l'air en déplacement pour des raisons météorologiques : le **vent vrai**.

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

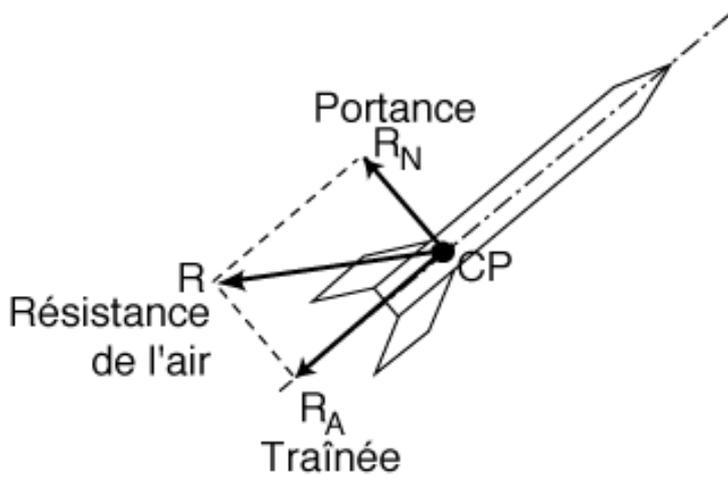


ACTION DU VENT RELATIF

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.



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



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

LA TRAÎNÉE

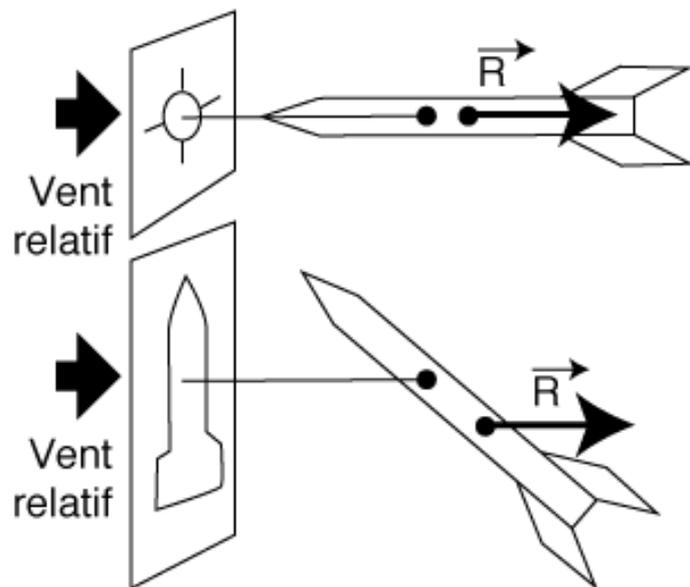
Elle dépend principalement de 3 facteurs :

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

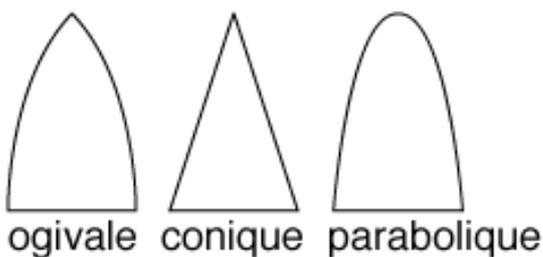
La taille de la fusée, et plus précisément la surface «vue» par l'air en mouvement : le maître-couple.

Le maître-couple est l'aire de la projection de la fusée sur un plan perpendiculaire à l'axe du vent relatif.

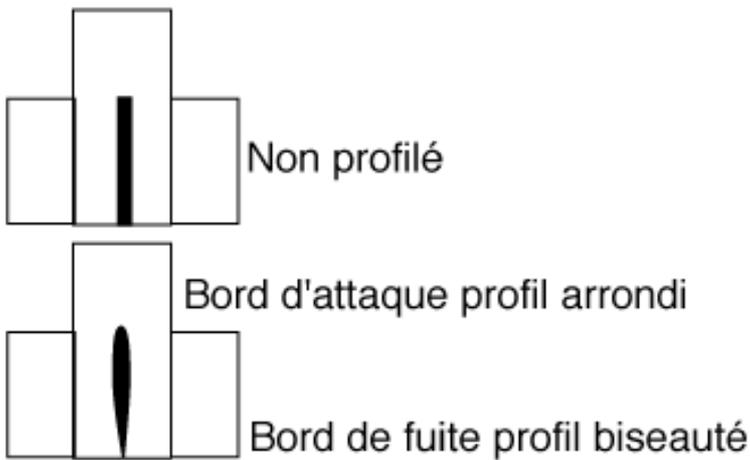
Dans de bonnes conditions de stabilité, la surface sera prise sur un plan normal à l'axe longitudinal de la fusée.



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



Profils d'ailerons



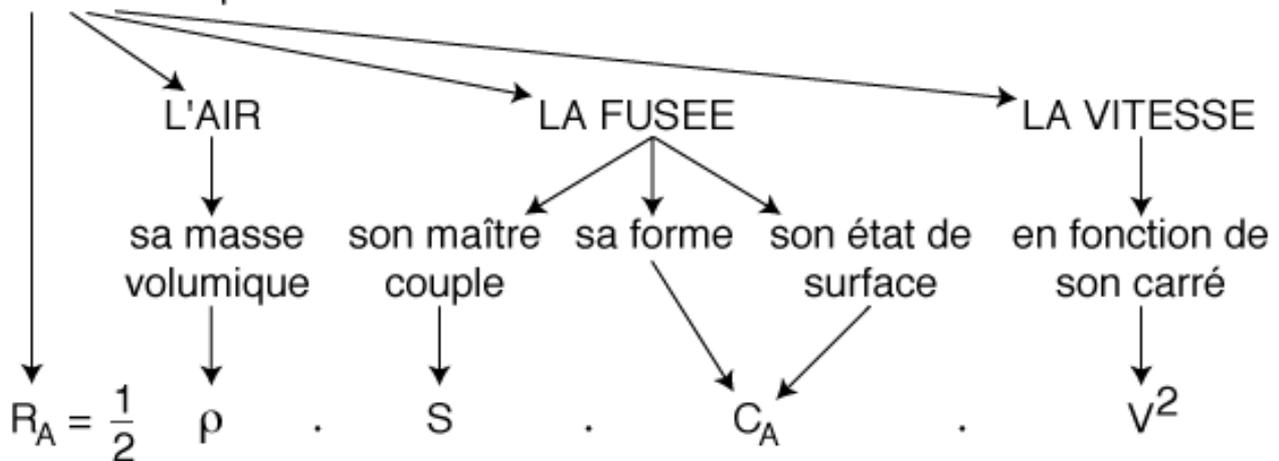
L'état de surface : un revêtement de papier abrasif sera moins performant qu'un vernis poncé finement.

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

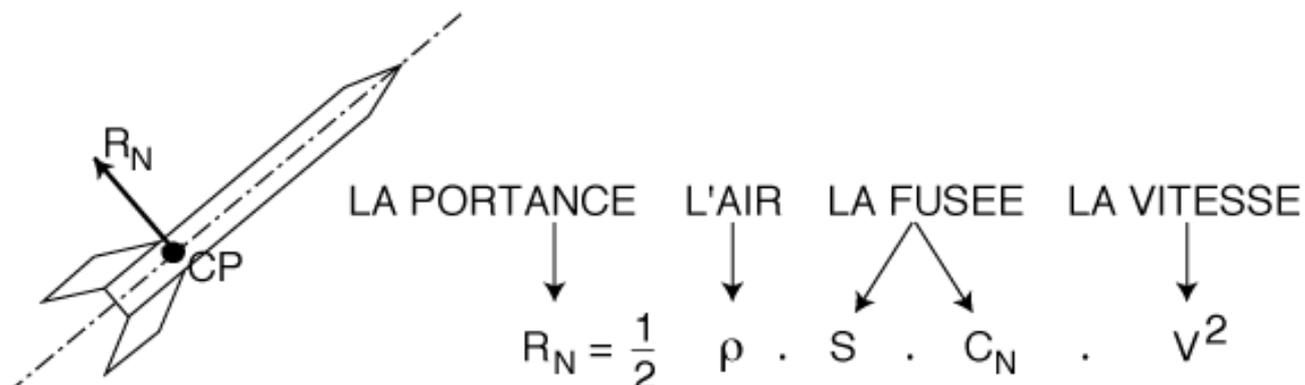
Le maître-couple S (en mètres carrés) et le coefficient C (sans dimension), donnent le paramètre S.CA qui représente l'influence de **la construction de la fusée** sur la traînée aérodynamique.

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.

La TRAINEE dépend 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 TRAÎNÉE ?

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

- La **portance (RN)** pour la stabilité de la fusée
- La **traînée (RA)** pour ses performances.

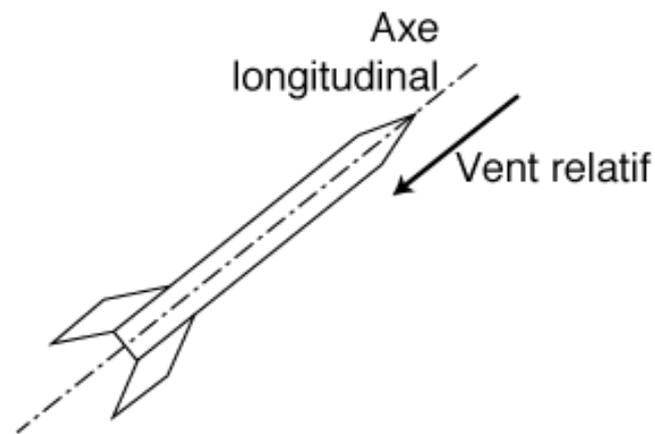
Nous ne présenterons pas ici les valeurs numériques correspondantes et nous conseillons de se reporter aux notes techniques correspondantes.

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

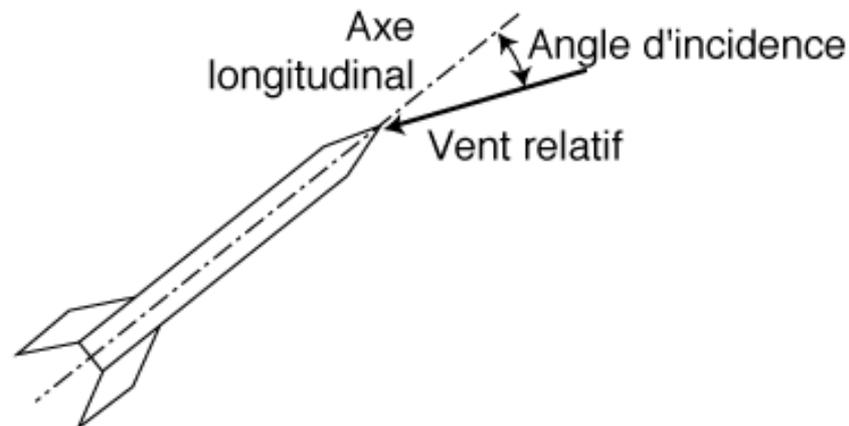
Pour la stabilité, il n'en est pas de même d'autant que la valeur de la portance RN n'est pas seule à intervenir.

LA STABILITÉ DE LA FUSÉE

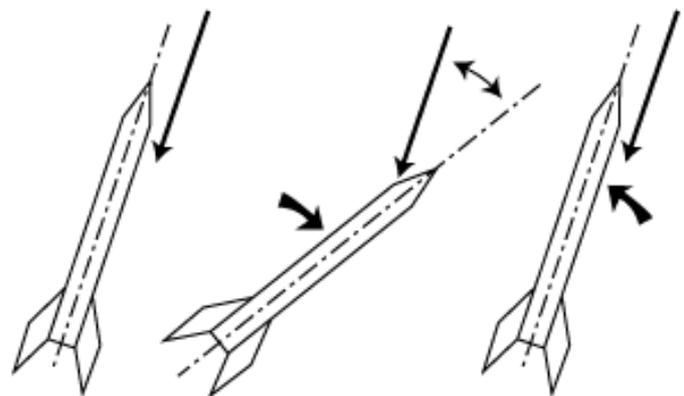
Pour être stable, la fusée doit conserver la même attitude durant son vol. Pour la micro-fusée, **conserver son attitude** consistera à maintenir son **axe longitudinal aligné avec le vent relatif**.



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**.



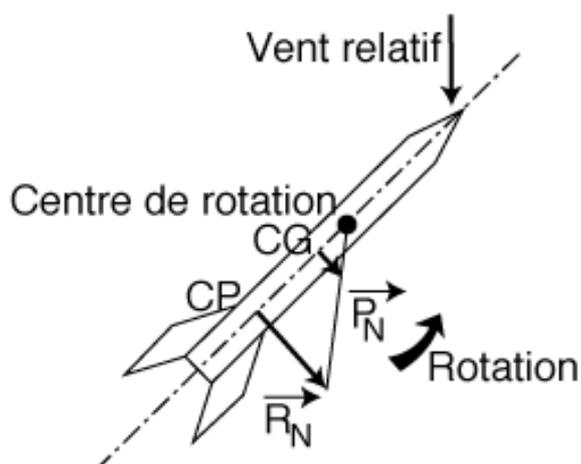
En d'autres termes, si, pour une quelconque cause, la fusée se met **en incidence**, elle retrouvera sa position initiale (axe longitudinal aligné avec le vent relatif) si elle est **stable**.



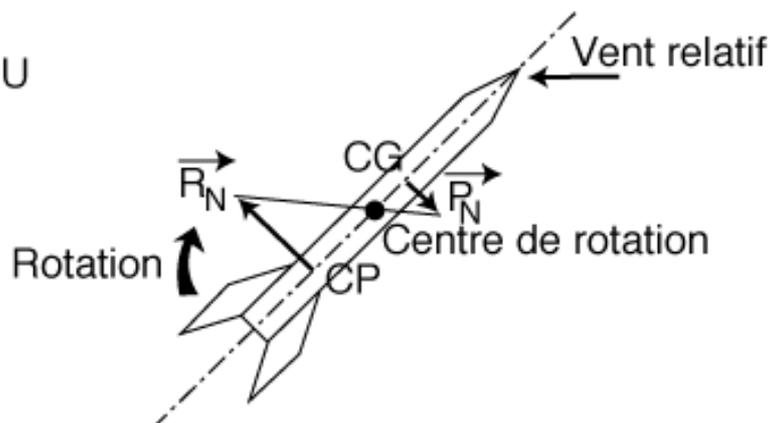
RÉPARTITION DES FORCES NORMALES :

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

Ces deux forces normales entraînent la rotation de la fusée.



OU



Dans les deux cas, la portance (R) étant très supérieure à la composante normale du poids (PN), 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 (RN).

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

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

LA STABILITÉ

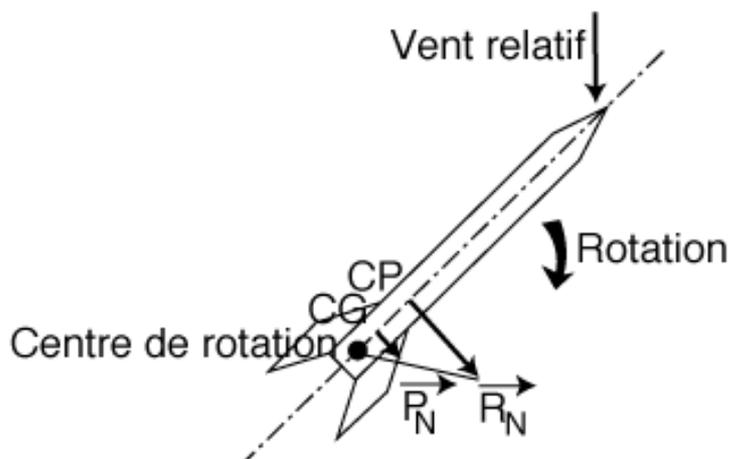
Supposons notre micro-fusée se mettant fortuitement en incidence. Si le centre de poussée (C.P.) est placé en arrière du centre de gravité par rapport à la pointe, la force de portance entraîne la fusée qui revient vers sa position initiale. Une fois la fusée dans cette position, la force de portance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

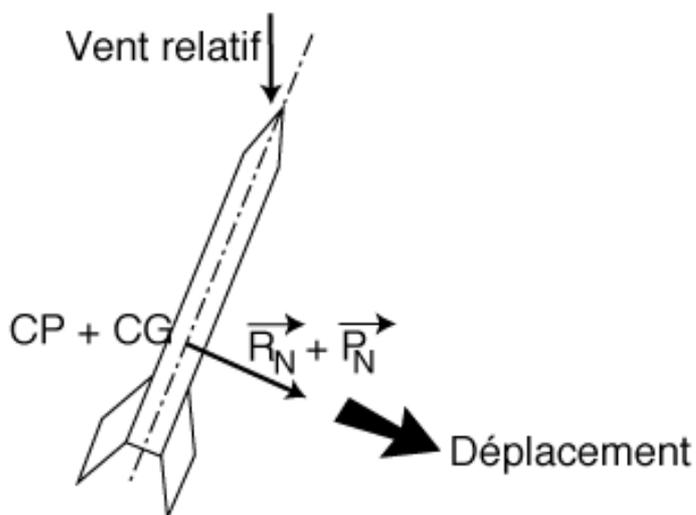
cas, la force de portance va entraîner la fusée qui va se retourner par rapport au vent relatif, la pointe en arrière. Or, le moteur propulse la fusée et le vent relatif est la somme du vent propre de la fusée (dû à son déplacement) et du vent vrai. La fusée se retournant, l'axe de propulsion fera de même et le vent propre également. Le vent relatif aura donc tendance à suivre l'axe longitudinal de 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

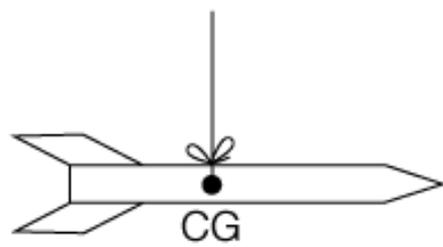
Reste le cas où le centre de gravité et le centre de poussée sont confondus. Les deux forces (PN) et (RN) sont alignées et la fusée n'est pas soumise à rotation. Elle va errer en une quelconque position. En fait, en cours de vol, centres de gravité et de poussée ne sont pas fixes (déplacement du centre 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

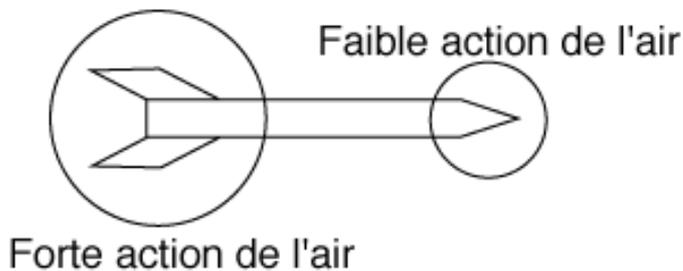
Par définition, il est situé sur l'axe longitudinal au niveau de la position d'équilibre au repos de la fusée à l'horizontale.



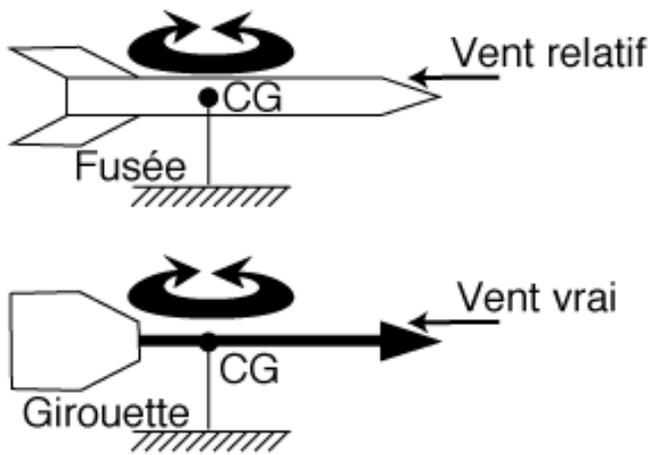
• LE CENTRE DE POUSSEÉ

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.

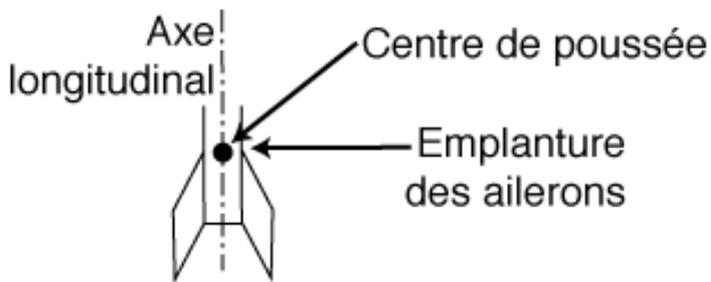


La fusée ressemble alors à une girouette dont l'axe de rotation serait placé au centre de gravité, au détail près que la girouette ne possède pas de vent propre donc que son vent relatif est le seul vent vrai.



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.**



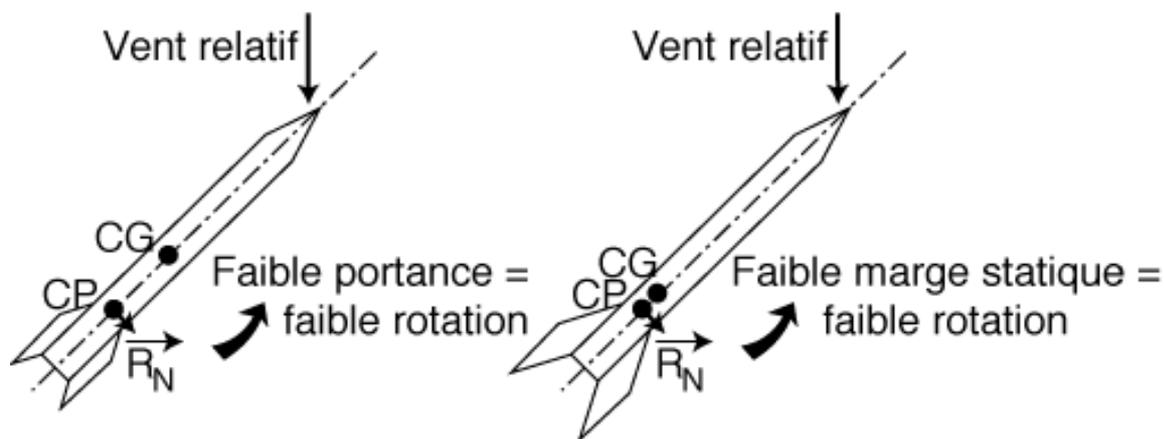
TROP DE STABILITÉ NUI

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

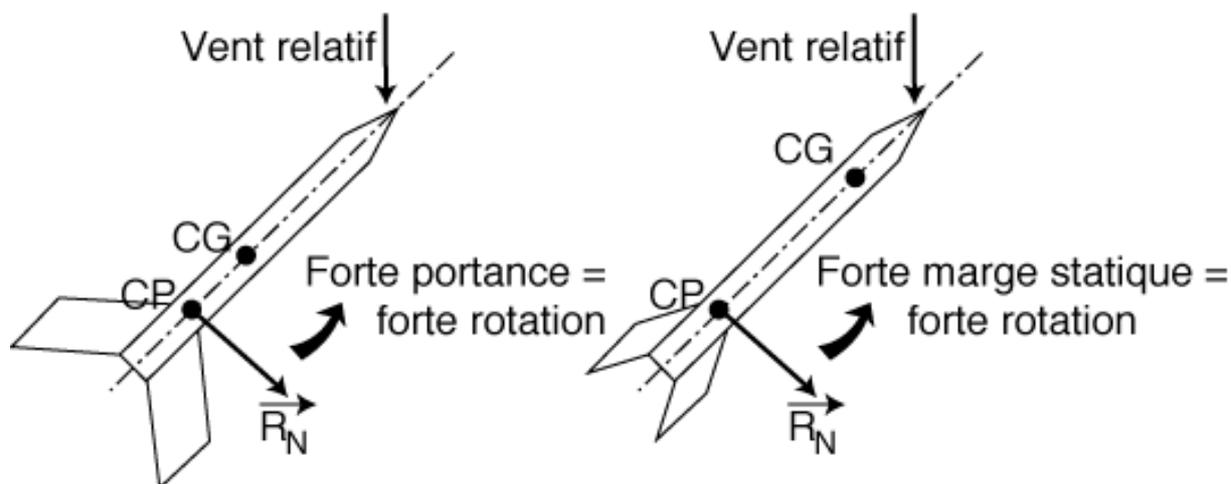
- la valeur de la **portance** qui est en relation directe avec la **surface** et la **forme** des **ailerons**.
- les positions **relatives** du centre de **gravité** et du centre de **poussée**.

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

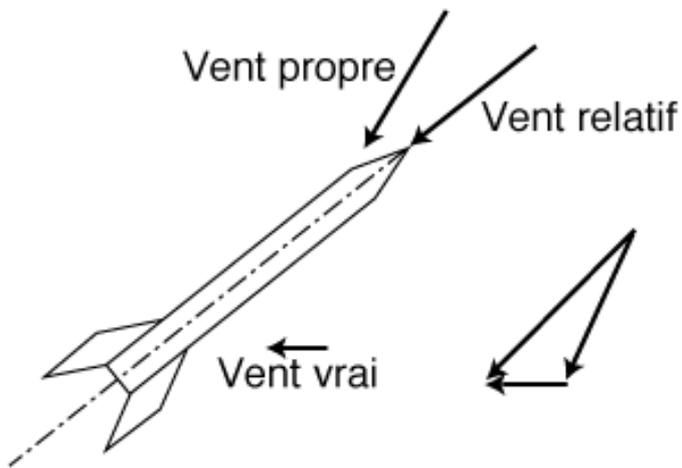
Ces deux facteurs, la **portance** et la **marge statique**, sont inclus dans des fourchettes. En effet, supposons tout d'abord que la portance ou la marge statique soient trop faibles. La rotation de rappel sera elle-même faible, à la limite de l'indifférence.



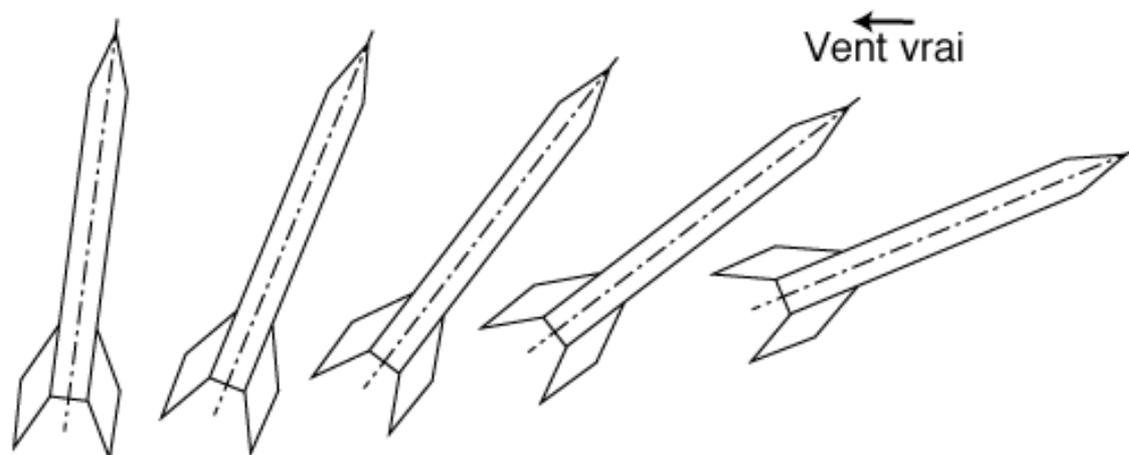
Dans le cas contraire, si la portance ou la marge statique sont très fortes, la force de rappel sera très vigoureuse, renverra la fusée de l'autre côté du vent relatif et la fusée oscillera continuellement sans jamais trouver de position d'équilibre. Cette attitude est nommée **surstabilité**.



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



Evolution de l'attitude d'une fusée stable pendant la montée

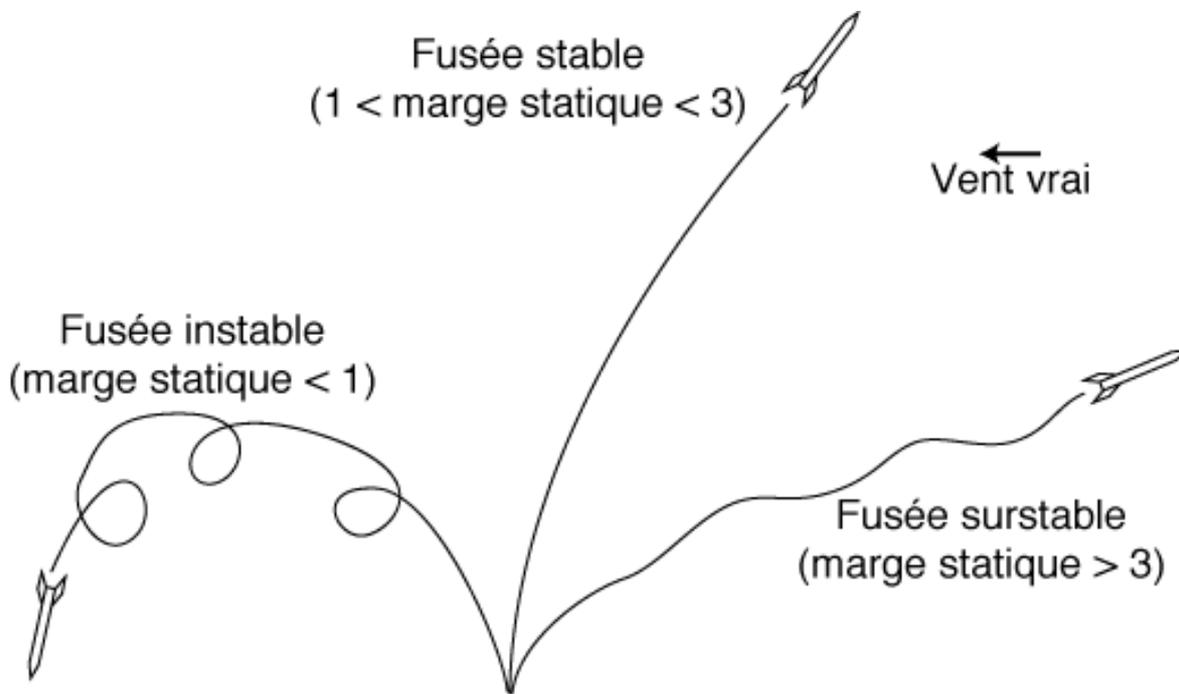
Dans le cas d'une fusée surstable, la fusée se couchera presque immédiatement dans le vent vrai et partira quasiment horizontalement, ce qui n'est pas le but recherché.

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.

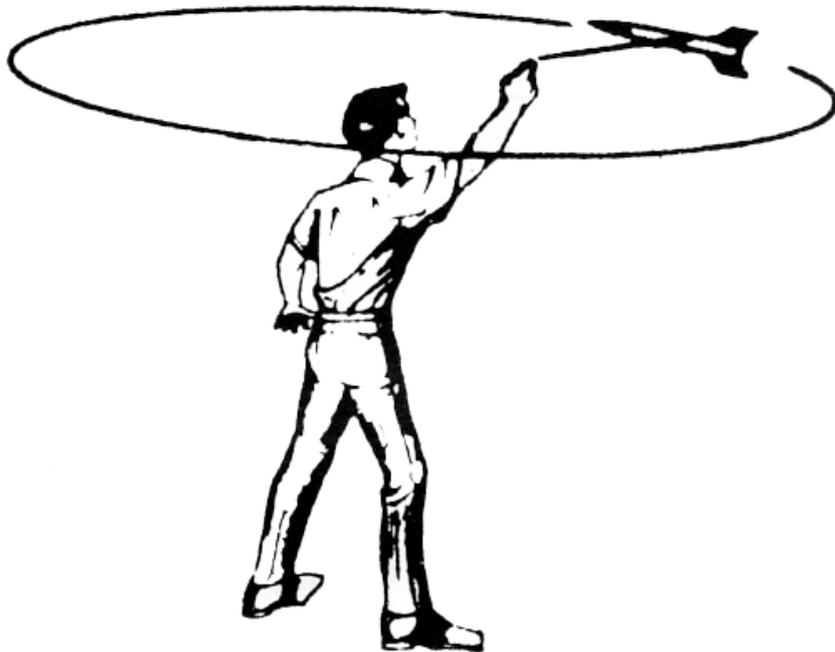
Attention, ces valeurs ne sont nullement limitatives car les fusées peuvent voler et très bien voler hors de ces limites. Mais, ces valeurs donnent un ordre de grandeur de ce qui est couramment utilisé.



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 sous 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...

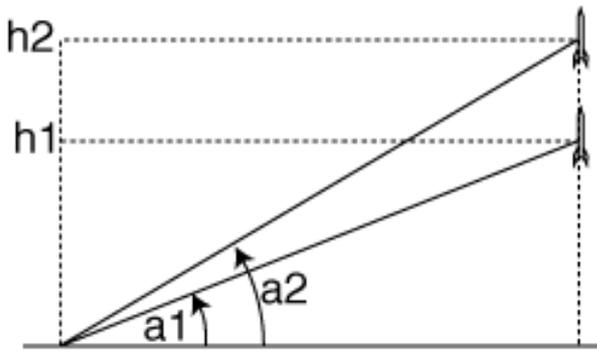
7- LA MESURE

Lancer sa micro-fusée, la voir évoluer, ca 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 .

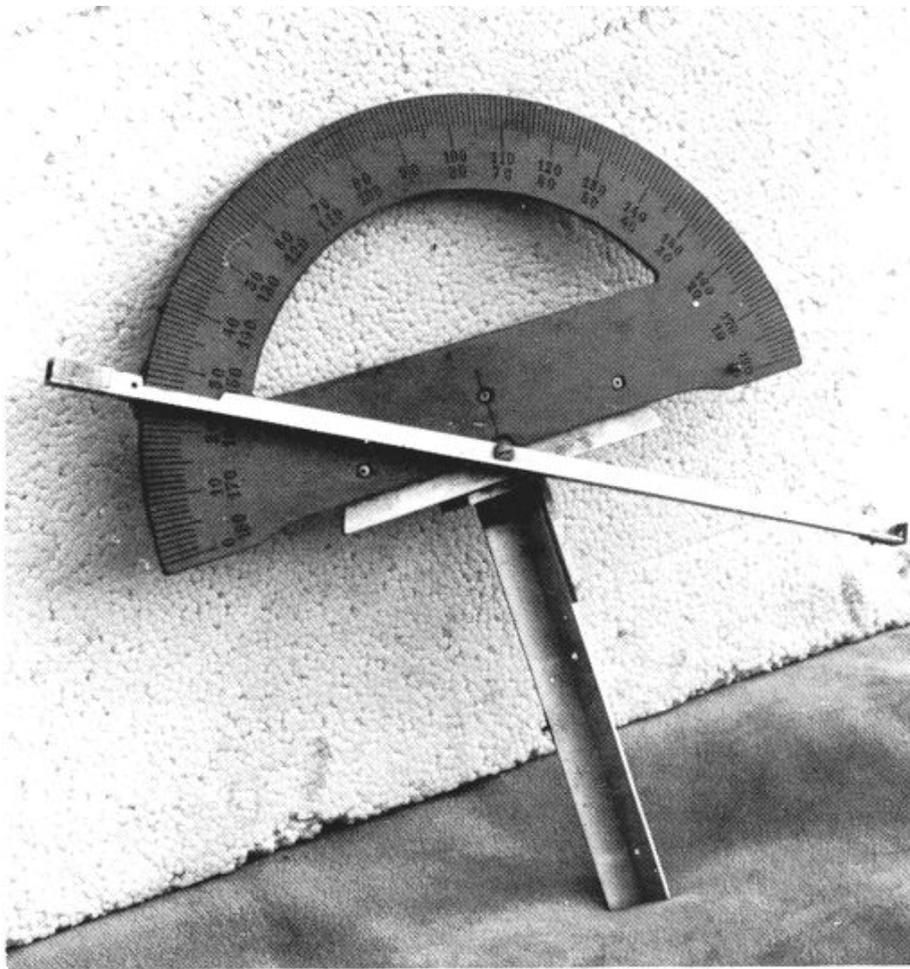
La fusée n° 2 ayant atteint une altitude $h_2 > h_1$ fait avec le sol un angle $a_2 > a_1$.

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 :

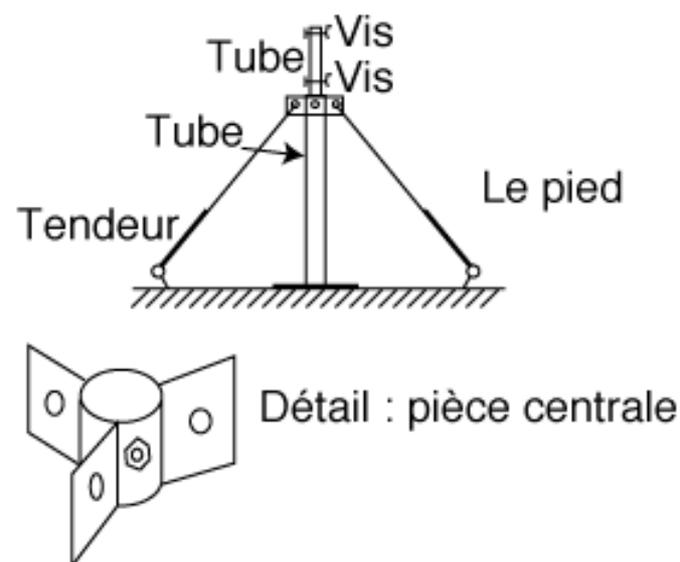
A l'aide d'un rapporteur type «école».

La photo ci-dessous 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 œillette de visée pivote à frottement doux exactement au centre du rapporteur. Il faut pouvoir suivre la fusée sans fournir d'effort trop important, mais il faut aussi que le viseur garde la position correspondant à la culmination (un petit truc : la rondelle en nylon).

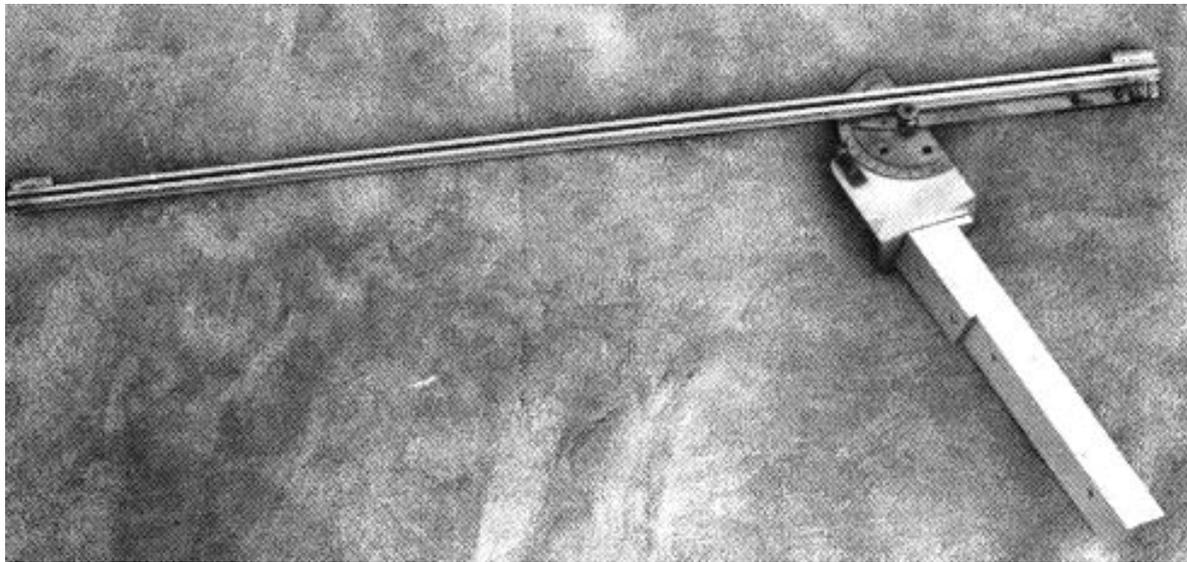


Cet ensemble rapporteur-cornière- viseur doit pouvoir pivoter en douceur sur une embase qui sera rendue solidaire d'un pied. Ici, toutes les astuces sont permises et diffèrent selon le modèle de pied que vous avez en votre possession. Un bon pied photo fera l'affaire. Mais tout le monde n'a pas ce genre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

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



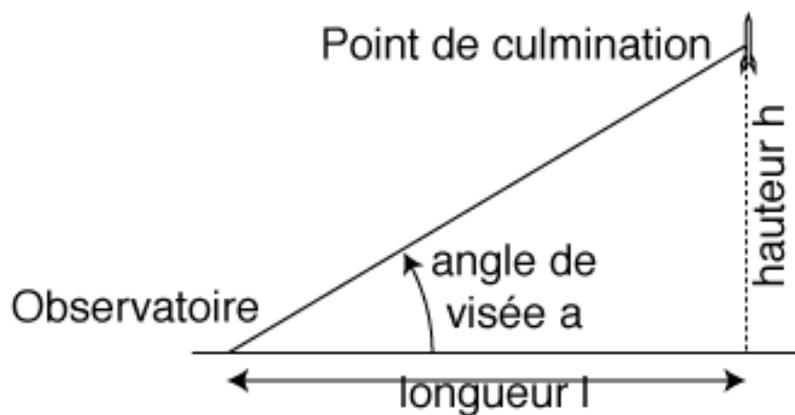
La photo ci-dessous montre une autre alidade basée sur le même principe général, mais réalisée à partir d'un rapporteur de mécanicien.



Le traitement de la mesure d'altitude :

Lorsque l'angle a 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 a .

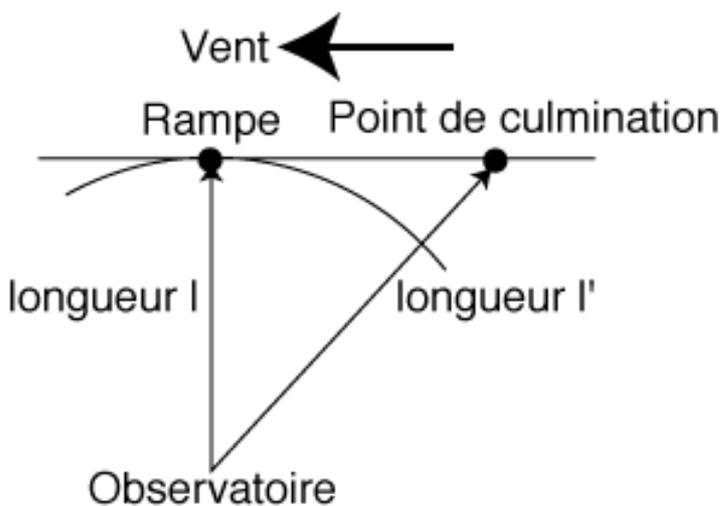


L'intersection entre la verticale de la rampe et la visée donne le point de culmination. L'altitude h se mesure alors directement.

La résolution trigonométrique est : $h = l \cdot \text{tg}(a)$ avec h et l en mètres. (tg = tangente)

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 :

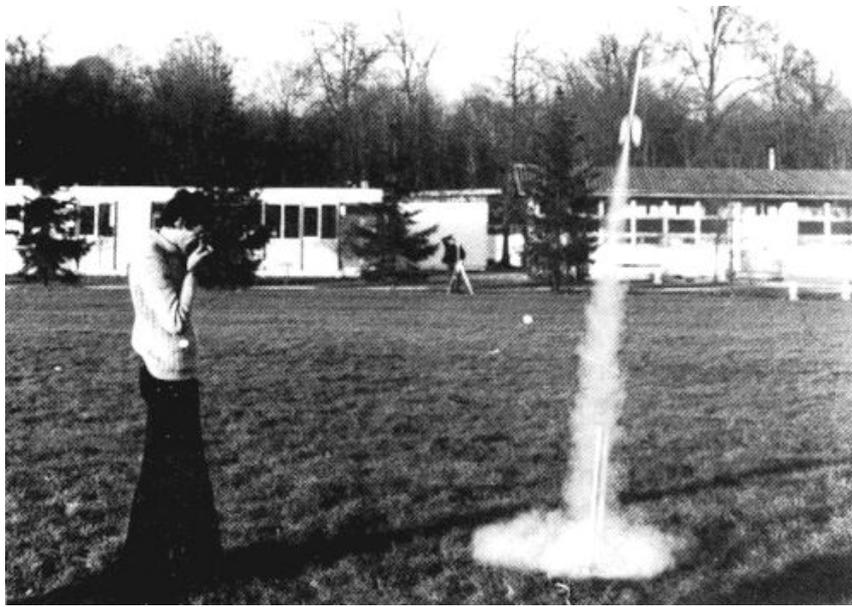
- le temps de la montée
- puis le temps de descente,

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

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

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 culmenation ne sont pas toujours bien repérés.

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



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



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

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

LE TRAITEMENT ET L'EXPLOITATION DES RÉSULTATS

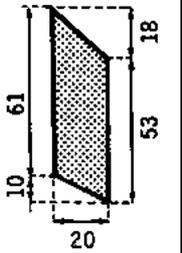
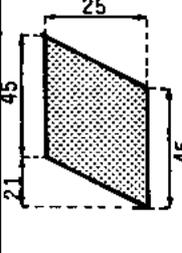
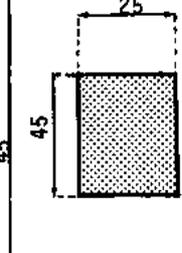
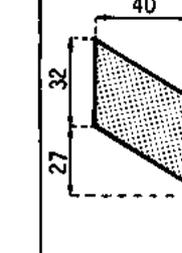
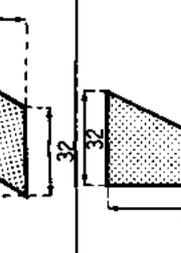
De retour de la campagne de lancement, nous nous trouvons face à de nombreuses observations et mesures qui serviront à expliquer le vol et les performances des fusées lancées.

PREMIÈRE PHASE : LE TABLEAU RÉCAPITULATIF

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 tiret 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.

FUSÉE	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 (mm ²)	514	564	564	724	1 014	
Système de récupération	Banderolle	Banderolle	Banderolle	Banderolle	Banderolle	
Prévisionnel	Altitude (m)	280	270	270	240	200
	Temps (s)	5,4	5,3	5,3	5	4,4
Expérience	Influence des ailerons sur les performances en altitude des fusées					
Déroulement du vol	Bon. Un peu dévié.	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

3

-

-

267

-

198

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.

DEUXIÈME 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.

Le graphique illustre les performances de cinq modèles de fusées (NANA, LULU, ZIZI, BIBI, JOJO) en fonction du temps de vol (t) et de la hauteur atteinte (H). Les données sont présentées sous forme de points et de lignes verticales, avec des annotations sur le type de vol.

Légende :

- X : Calcul prévisionnel
- : Mesures
- : Moyenne des mesures

Annotations de vol :

- Vol dévié (NANA)
- Petits "tires-bouchons" (LULU)
- Vol parfait (ZIZI)
- Vol parfait (BIBI)
- Vol en "tires-bouchons" (JOJO)

Modèle	Temps (s)	Hauteur (m)	Type de donnée	Remarque
NANA	4	~235	Mesure	
	4	~250	Moyenne	
	4	~265	Mesure	
	4	~280	Calcul prévisionnel	
LULU	4	~270	Mesure	
	4	~310	Moyenne	
	4	~350	Mesure	
	5	~100	Moyenne	
ZIZI	4	~85	Mesure	
	4	~90	Moyenne	
	4	~235	Mesure	
	4	~270	Calcul prévisionnel	
BIBI	4	~95	Mesure	
	4	~205	Mesure	
	4	~240	Moyenne	
	4	~280	Mesure	
JOJO	4	~105	Mesure	
	4	~135	Mesure	
	4	~195	Moyenne	
	4	~245	Mesure	

TROISIÈME 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.

QUATRIÈME 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 !

[Page d'accueil](#) - [Plans et dossiers CLAP](#) - [Page précédente](#) - [Page suivante](#)

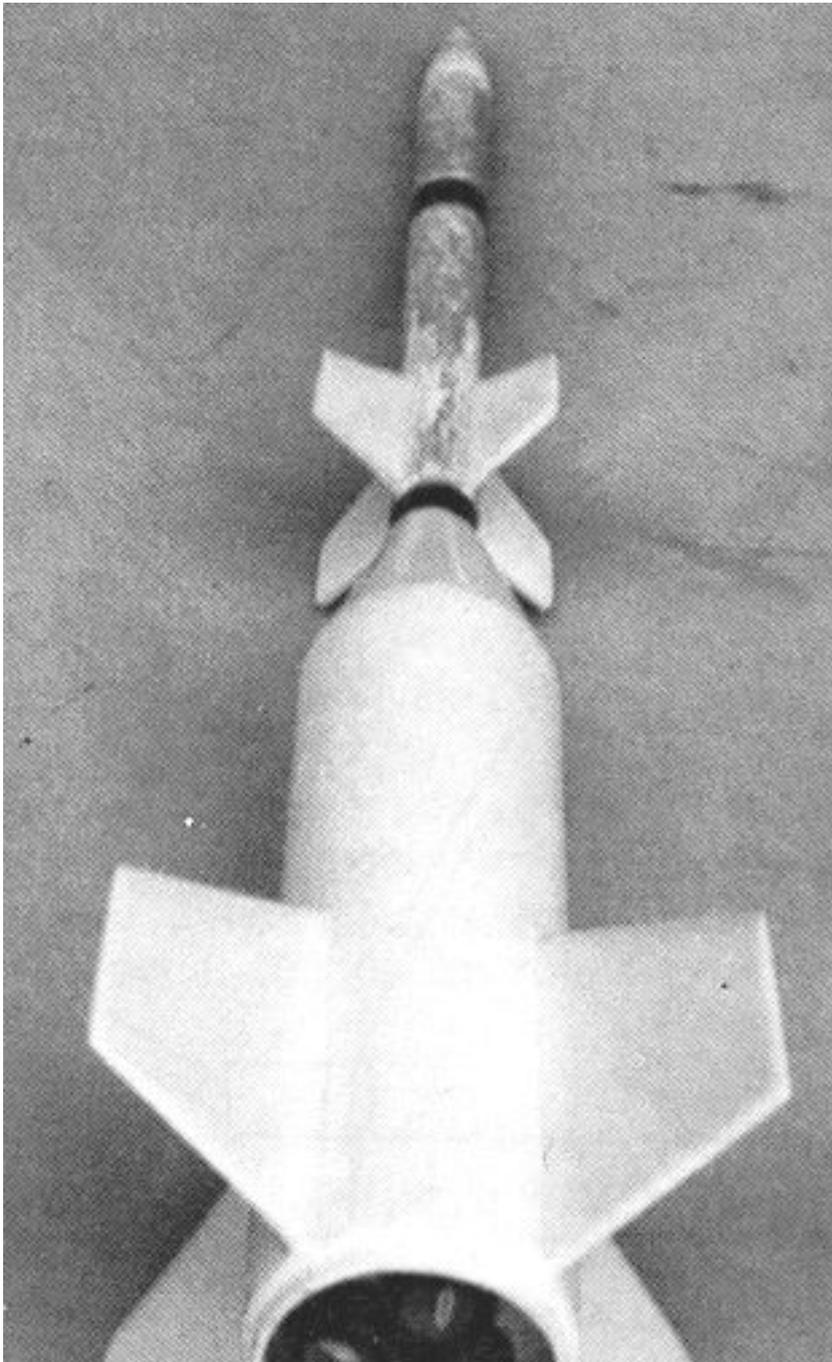
8- LES TECHNIQUES COMPLEMENTAIRES

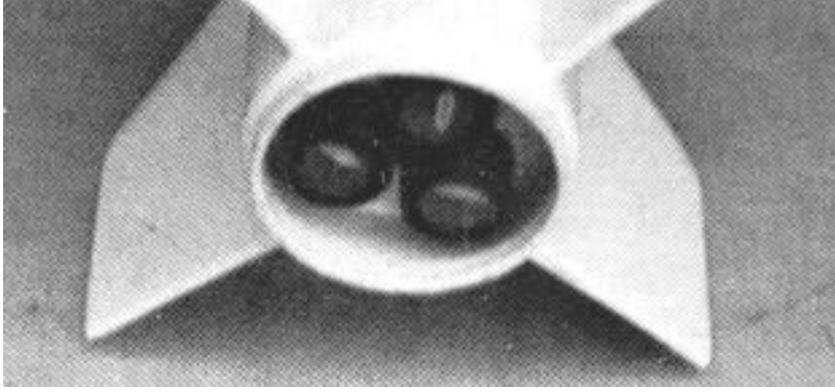
Lorsque vous aurez expérimenté la micro-fusée telle qu'elle vient de vous être décrite, si vous avez l'esprit un tant soit peu curieux et scientifique, vous aurez envie de compliquer un peu vos montages.

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 vous manqueront...).

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

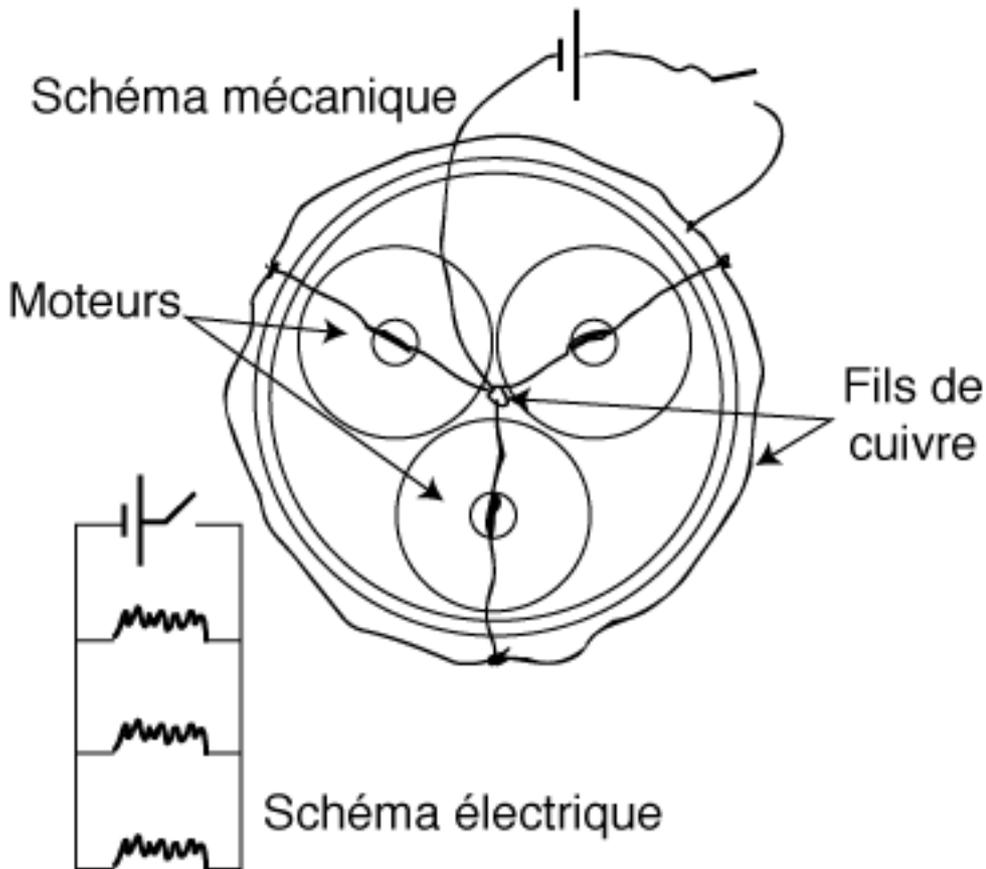




Puisque vous êtes astucieux, la construction ne vous causera pas trop de problèmes : veillez à la bonne étanchéité du compartiment qui devra éjecter le système de récupération et à la position du centre de gravité.

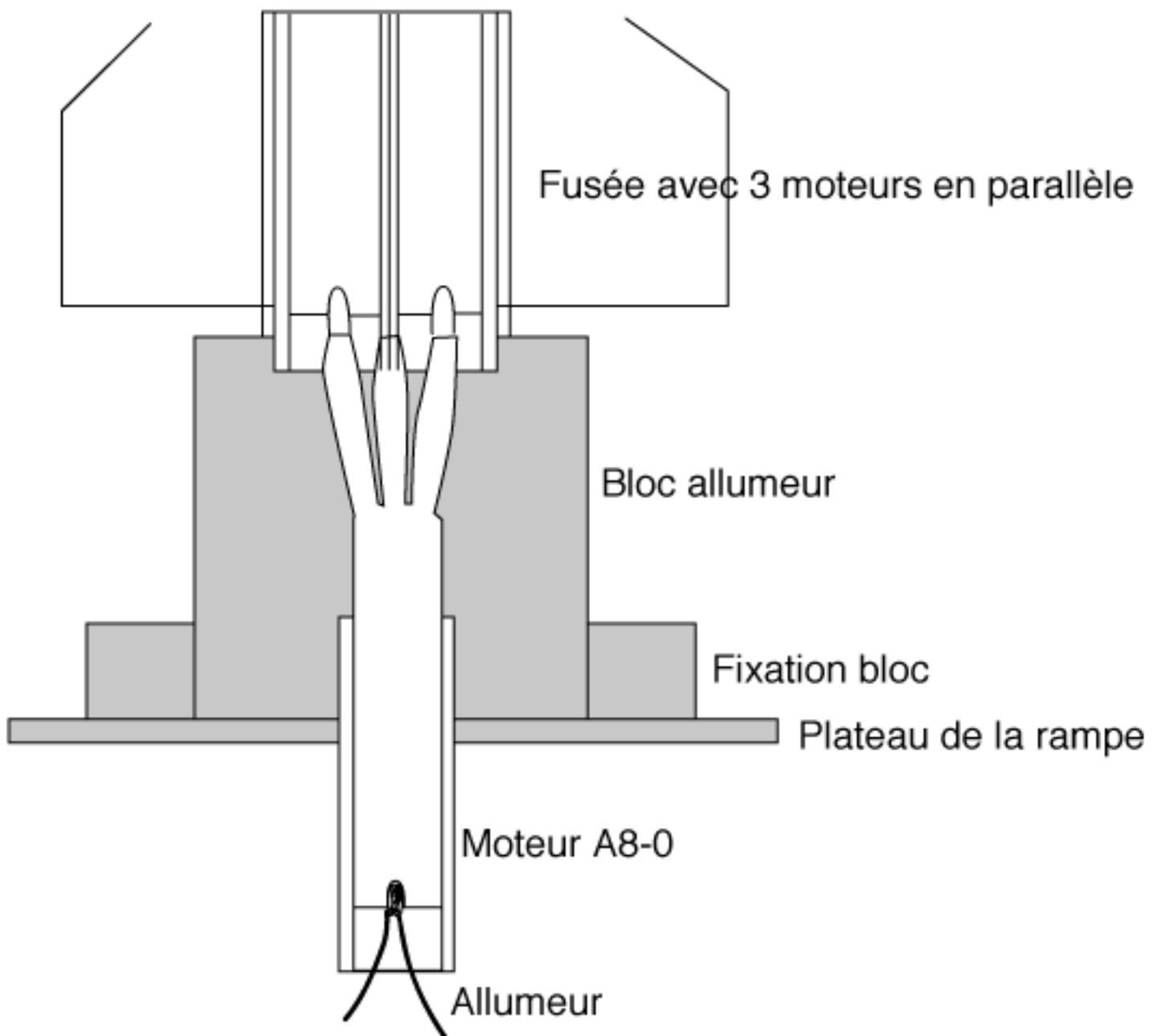
Le seul point sur lequel vous buterez sera la mise à feu simultanée de tous les moteurs : deux méthodes sont utilisées :

1 - ALLUMAGE PAR 3 ALLUMEURS BRANCHÉS EN PARALLÈLE :



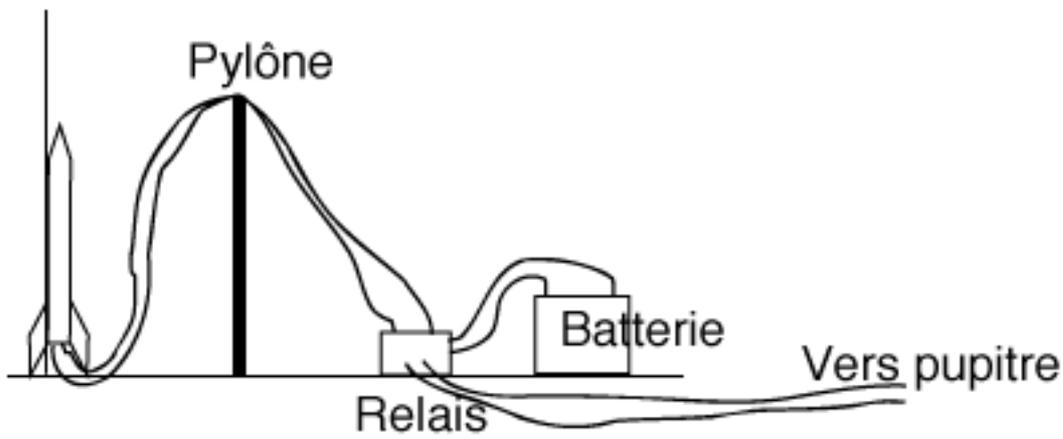
2 - ALLUMAGE PAR MICRO-MOTEUR :

Un micro-moteur 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, d'où le rôle du pylône.
- 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 A8-0, B14-0, C6-0, ... le dernier chiffre étant toujours zéro.

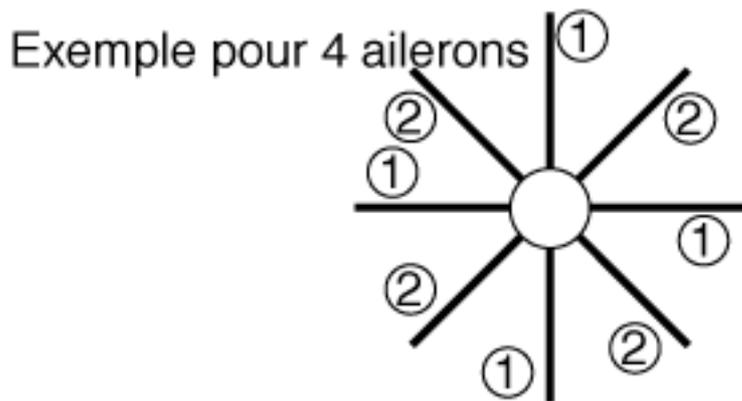
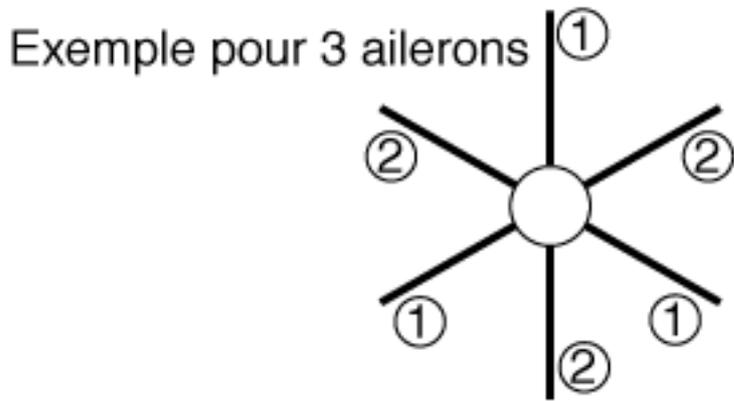
Le premier étage sera mis à feu comme habituellement, par dispositif électrique. Le second étage est allumé **automatiquement** par les gaz chauds entraînant des restes de propergol du premier étage à la fin de la combustion.

Problèmes à résoudre :

a) Position des empennages du premier étage :

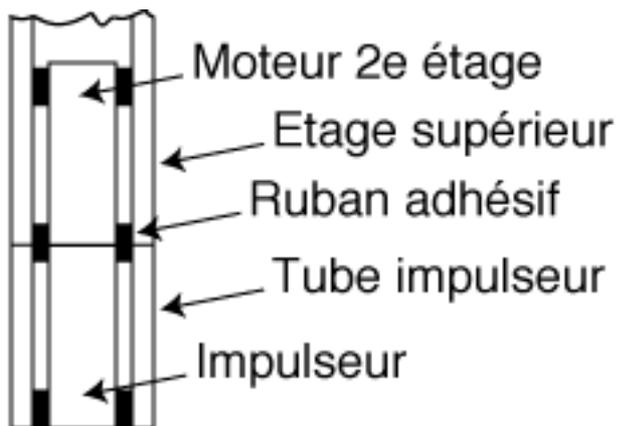
Ils seront positionnés soit dans le prolongement de ceux du deuxième, sans espace intermédiaire, afin de ne pas créer de turbulences, ou encore en quinconce.

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



b) Liaison des 2 étages :

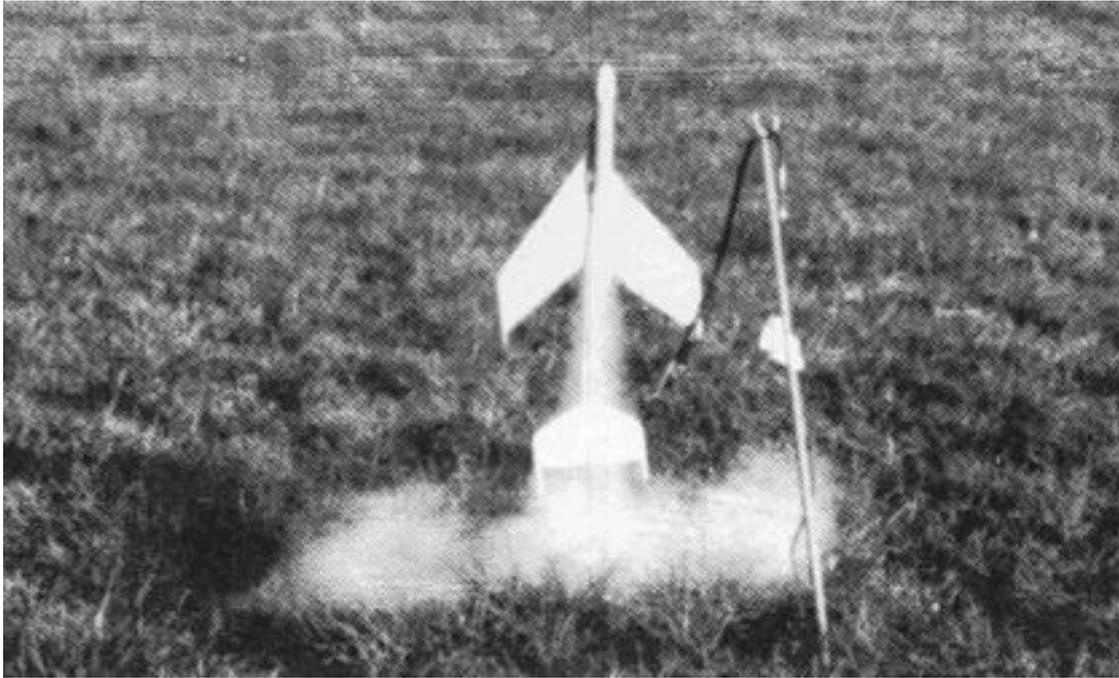
Elle se fera à **frottement dur**, sinon le premier étage n'allumera pas le second. Une méthode simple : laisser dépasser le moteur du deuxième étage de 6 à 8 mm. C'est sur cet espace que vient s'enfiler le premier étage. Quelques tours de ruban adhésif sur cette partie du moteur régleront la force de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

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 largable,
- 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 ascensionnelle 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».

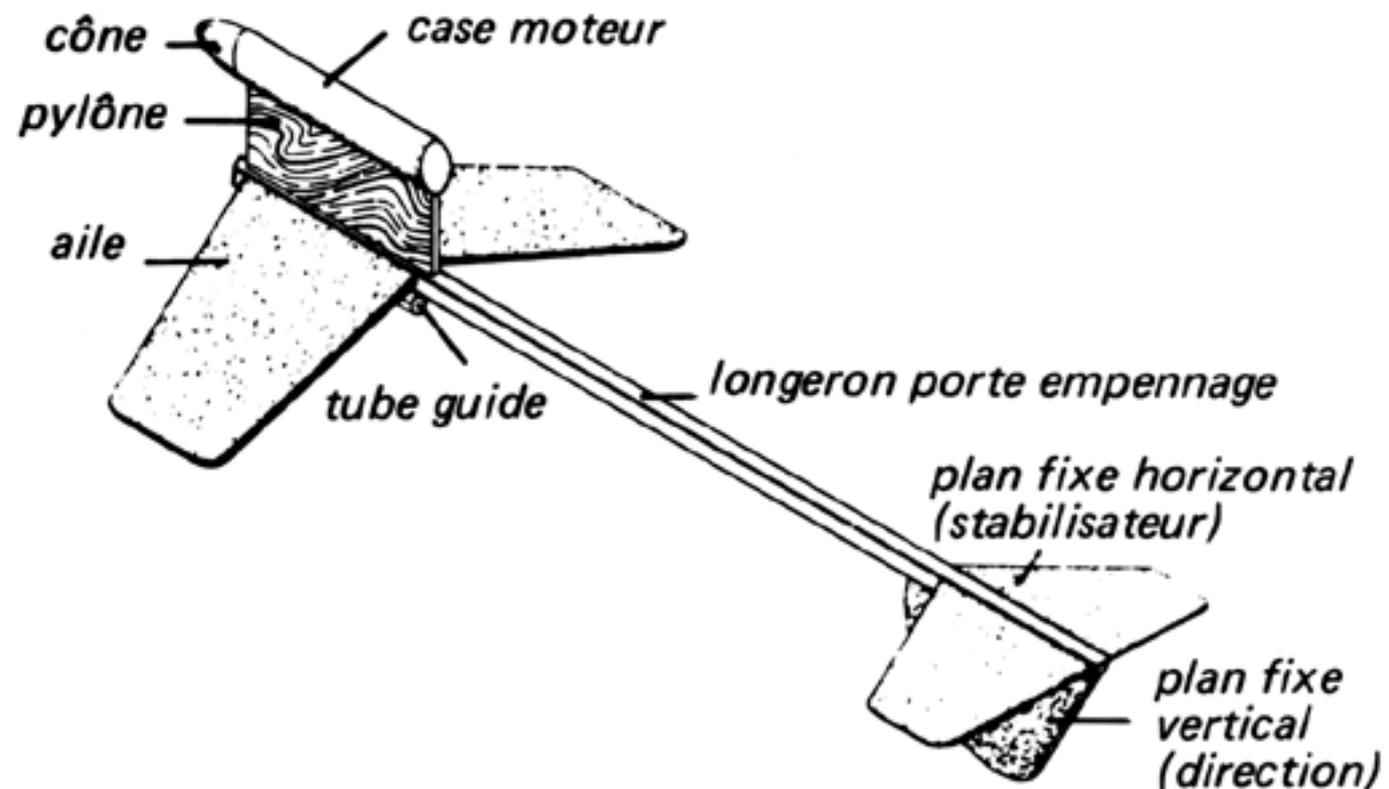
Moteur avant :

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



Nacelle moteur larguable :

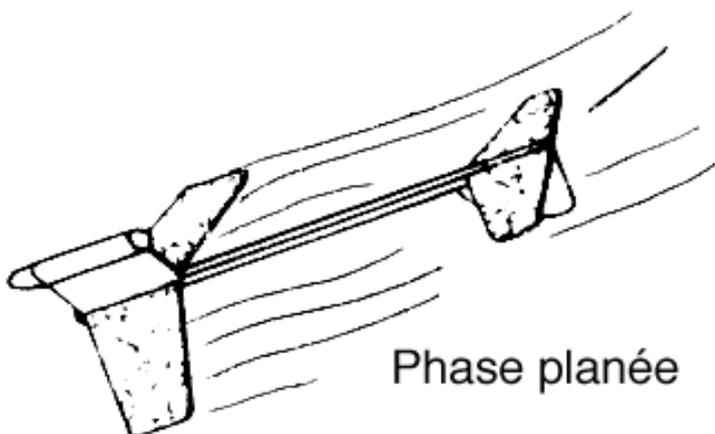
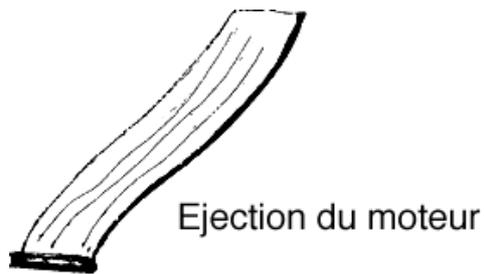
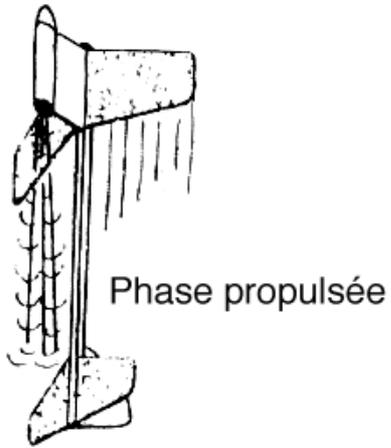
Un planeur sera d'autant plus performant que son poids et sa résistance au vent seront réduits. Le système de la nacelle larguable se révèle très intéressant.

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 celui-ci vers l'avant et le dégage de la broche. Si la broche coince légèrement, la traînée du parachute est, en général, suffisante pour arracher la nacelle.

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

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



Gigogne :

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

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

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

Essai plané :

La navette doit être soigneusement réglée avant le lancement .

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

Les autres sont réglées par lestage du nez.

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

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

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

ET APRÈS !

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 météologie 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.



[Page d'accueil](#) - [Plans et dossiers CLAP](#) - [Page précédente](#) - [Page suivante](#)

LA SÉCURITÉ

La plupart des consignes qui suivent (obligatoires et réglementaires) ont déjà été citées dans les pages précédentes, mais mieux vaut répéter...

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 proéminentes.
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.

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 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.

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.

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.

COMPTE À 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.

[Page d'accueil](#) - [Plans et dossiers CLAP](#) - [Page précédente](#) - [Page suivante](#)

10- AJOUTS 2001

Quelques observations concernant les pages précédentes, quelques idées nouvelles, et quelques photos ...

1- Une micro-fusée

Après de nombreuses expérimentations, quelques modèles de début se détachent du lot : Mirak, fusée CLAP.

Simple et de toute sécurité, ils sont les modèles de début des enfants et des ados. Leur plan, leur construction sont dans l'Air et le Vent.

2- Propulsion

Depuis quelques années fleurissent les fusées à air comprimé, injustement appelées fusées à eau par beaucoup.

Pour un coût ridicule, on peut atteindre plus de 100 mètres avec une bouteille de boisson gazeuse.

Alors, pourquoi ne pas essayer ?

Détails dans l'Air et le Vent, bien sûr.

Expérimenter la troisième loi de NEWTON : facile avec le [canon à Kinder. Plan et explications en cliquant ici.](#)

3- Construction

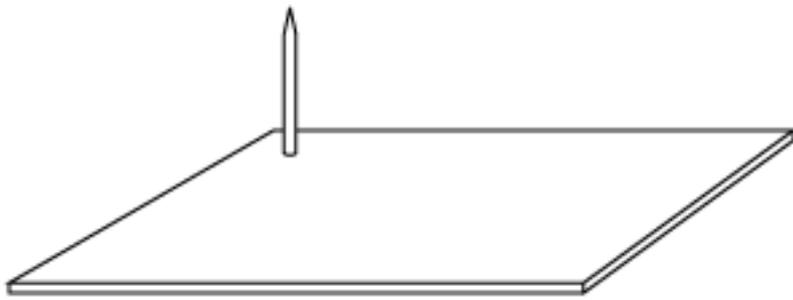
Un bon tube, léger et pas cher : le tube de cotillon (celui qui lance des boules de papier dans les soirées jet-set).

Un nez en bristol convient parfaitement à la Mirak. Voir l'Air et ... je l'ai déjà dit ...

Finition des ailettes : ponçage fin, une couche d'encre Fluidine, séchage, deuxième ponçage fin.

Un truc (gratuit) que j'utilise pour le collage des ailettes au sein d'un groupe :

- la planchette de travail de chacun est percée, bien avant, d'un trou de 4 mm,
- par en-dessous, on y passe un gros clou, comme sur le croquis ci-dessous,
- on colle une ailette (colle UHU balsa = solidité + séchage rapide),
- on glisse le tube autour du clou, l'ailette en haut,
- on attend quelques minutes et on recommence avec la deuxième ailette ...



[Photo de fusées Mirak.](#)

[Nez sur le tour](#)

4- Parachute

Dans nos régions venteuses, il est souvent inutile de faire un super-parachute, sinon adieu, ma fusée ! On peut même ne pas mettre de parachute du tout dans une fusée de moins de 20 grammes, si le sol est herbeux.

Matos pour un petit parachute ultra-léger : les sacs du rayon fruits et légumes des supermarchés, coton à broder, ruban adhésif.

Mais aussi, banderole en papier crépon, par exemple 50x5 cm.

Le papier crépon, par sa texture, est un très bon ralentisseur.

La banderole se plie en accordéon, juste avant rangement dans la fusée.

[Parachute un peu avant l'atterrissage](#)

5- Lancement

L'allumeur peut être calé avec un petit clou en dépron (longueur 10 mm), qui referme bien la chambre : allumage assuré à 99%.

Pour le bouton de mise à feu, utilisez un bouton de sonnette.

La rampe de lancement minimum est une simple tige d'acier de 3 mm de diamètre plantée dans le sol.

[La super-rampe de Patrice](#)

[Un décollage en 4 photos](#)

6- Vol de la fusée

On peut trouver des logiciels qui simulent le vol sur un bête PC, après saisie des paramètres de l'engin.

Allez faire un tour sur le site de l'Planete Sciences :

<http://www.planete-sciences.org/espace/index.html>

Si votre ordinateur est top, ça va marcher et vous pourrez cliquer sur [Micro fu](#), puis sur Publications [microfusées](#).

Cherchez CARINA201, c'est assez bon (normal, c'est une amélioration du logiciel que j'avais écrit, il y a longtemps, pour Thomson TO7 !).

7- La mesure

Une alidade est en vente chez Delta Astro Model.

8- Les techniques complémentaires

Place à l'imagination et à la technique.

Groupement de moteurs : peut-on faire plus ?

[La photo de Fabien ...](#)

Fusées à étages :

On peut aussi **coller les étages ensemble** : le deuxième étage poussera à travers le premier ! Bizarre peut-être, mais ça marche, et le second étage s'allume sans problème.

Navettes

[Le canard](#)

[La navette spatiale](#)

[Une navette anonyme](#)

[La Manta](#)

Dans l'Air et le Vent, vous trouverez aussi la fusée Montgeon, qui lance 3 Mirage 2000.

Modèles originaux

[La fusée de Tintin](#)

[L'Espadon de Blake et Mortimer](#)

[Les boules d'Alain](#)

[Le TGV](#)

[La soucoupe](#)

9- Sécurité

Ajoutez : aucun spectateur n'est ASSIS, afin de pouvoir réagir plus vite.

[Page d'accueil](#) - [Plans et dossiers CLAP](#) - [Page précédente](#)

CANON À KINDER

Comme indiqué dans le chapitre 2 (propulsion), le recul d'une arme est une application de la troisième loi de Newton (action et réaction ...) que les artilleurs connaissent bien. D'où l'idée de ce canon bien innocent qui tire des œufs jaunes de Monsieur Kinder.

1- Comment ça marche ?

Le canon lance des œufs, plus ou moins lourds.

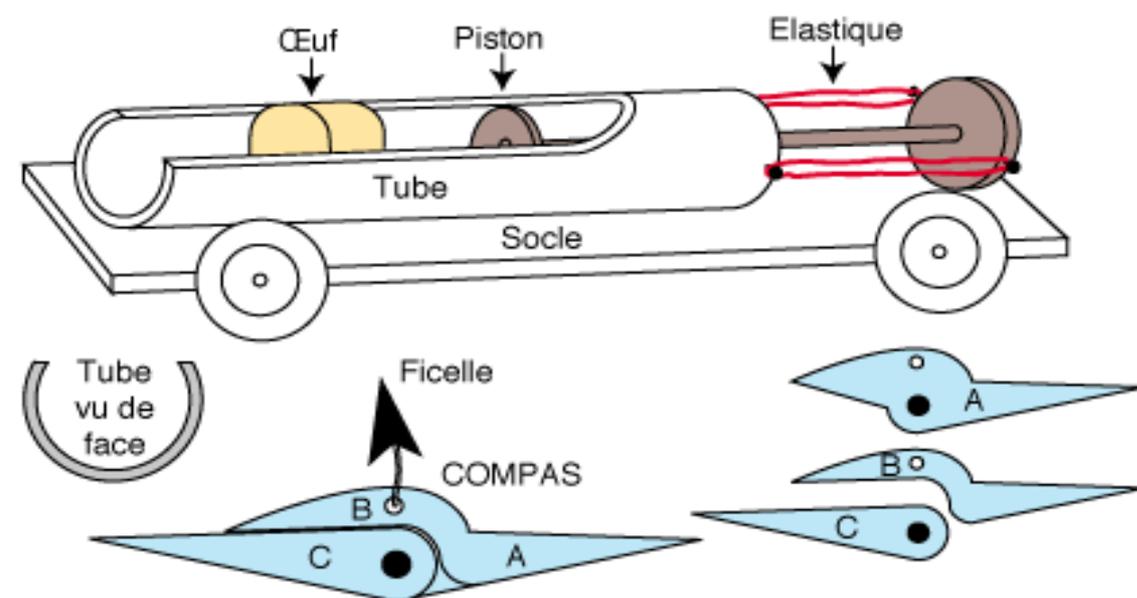
Pour que les mesures ne soient pas perturbées par l'action de l'artilleur, c'est un compas qui assure le tir :

il suffit de tirer fermement sur la ficelle, ce qui expulse le compas, ce qui débloque le piston.

Le canon va alors reculer, un peu ou beaucoup, selon le poids contenu dans l'œuf (en théorie).

Et si on mettait en parallèle la distance parcourue et le poids de l'œuf ?

2- Plan du canon



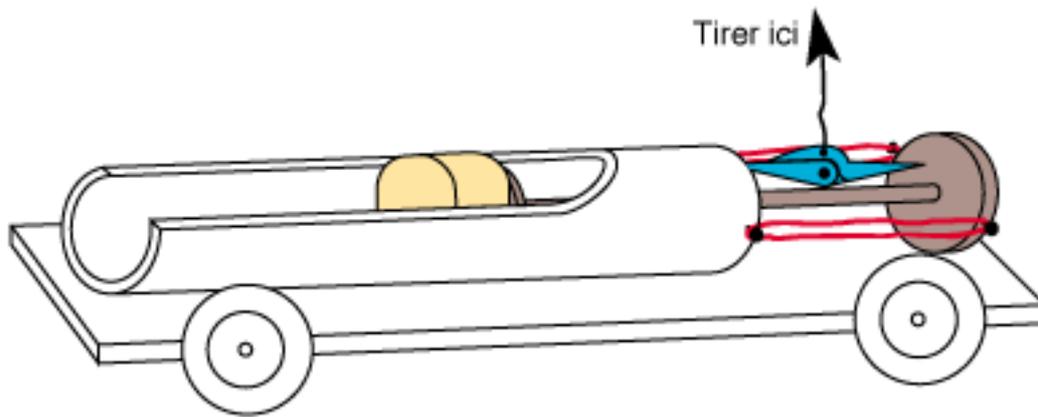
Rôle du compas :

Pour que l'artilleur ne modifie pas les conditions de tir, ce qui est la base de toute expérimentation, un compas est placé entre l'arrière du tube et l'arrière du piston. Il garde les élastiques tendus.

De par sa construction, le compas reste bloqué dans la position illustrée ci-dessous.

En tirant fermement sur la ficelle du compas, le piston est libéré sans influencer le mouvement du

véhicule.



3- Matériel à se procurer

Canon :

- un peu de contreplaqué de 50 mm pour le socle, le compas et les trois disques du piston
- 20 cm de tube PVC de plombier, diamètre intérieur = un œuf
- 2 vis à bois de 10 mm à tête cône, pour visser le canon sur le socle
- 20 cm de tourillon hêtre diamètre 6 mm
- 4 clous de 20 mm
- 2 élastiques de 40 mm
- 4 roues d'avion modèle réduit, diamètre 40 mm ou plus (ou récupération ...)
- corde à piano diamètre 4 mm pour les essieux
- tube laiton diamètre intérieur 4 mm pour passer les essieux
- 4 dominos d'électricien pour bloquer les roues sur les essieux
- Un boulon de 30 mm , diamètre 3 mm, por le compas
- Un bout de ficelle

Outillage :

Araldite, Super-Glue, scie à chantourner, tournevis, perceuse pour les 2 trous des vis, ...

Pour l'expérimentation :

- Plusieurs œufs Kinder
- Des poids pour mettre dans les œufs : gros boulons de 3 grammes ou plus, tous les mêmes
- Un peu de papier style PQ pour bloquer le chargement des œufs
- un double (ou triple) décimètre pour mesurer la distance parcourue par le canon.

4- Construction

Socle :

Découper un rectangle de 10 x 30 cm en contreplaqué
Coller 2 tubes laiton de 11 cm sous le socle, bien parallèles (Araldite) : ils dépassent légèrement de chaque côté.
Y glisser les cordes à piano coupées à la bonne longueur.
Mettre les roues en place (dominos).
Vérifier : le socle doit rouler très facilement.
Astuce : si les roues avant sont plus grandes (45 ou 50 mm), le canon tire légèrement vers le haut.

Canon :

Découper l'encoche dans le tube PVC (elle sert surtout à visualiser la partie intérieure par le public, mais permet les vissages).
Y percer deux trous pour les vis qui fixeront le tube au socle. Attention : les vis doivent être noyées dans le tube.
Fabriquer 3 disques en contreplaqué 5 mm, diamètre interne du tube (celui de l'avant sera ajusté sans frottement).
Les percer au centre au diamètre du tourillon.
Coller le premier à l'arrière du tube (Super-Glue).
Coller le deuxième (celui qui est ajusté sans frottement) à l'extrémité du tourillon (Super-Glue ou Araldite) pour fabriquer le piston.
Placer ce piston dans le tube et coller le troisième disque à l'arrière.
A l'aplomb du troisième disque, on peut renforcer le montage avec des équerres en contreplaqué.
Enfoncer les 4 clous qui servent à attacher les élastiques.
Mettre en place les deux élastiques et essayer : le piston doit glisser avec un minimum de frottements.
Visser le canon sur le socle.

Compas :

Découper les trois pièces A, B et C du compas dans le contreplaqué.
Percer A et C, diamètre du boulon.
Percer A et B, pour y passer la ficelle.
Coller B sur A.
Assembler AB sur C avec le boulon, sans trop serrer.
Le compas doit tourner presque sans frottement.

5- Utilisation pédagogique

Paramètre à modifier pendant l'expérience : le poids de l'œuf

Préparer un œuf avec sa charge : compter les boulons (ou autres objets dont le poids unitaire est connu).
Une série d'essais normalisée augmente régulièrement le nombre de boulons
Mettre l'œuf dans le canon.
Placer délicatement le compas entre le tube et le disque arrière du piston, pour bloquer le piston en position arrière.

Mettre l'œuf en contact avec le piston.

Placer le canon en position de tir, par exemple une roue sur le zéro du double-décimètre.

Tirer énergiquement sur la ficelle du compas..

Mesurer la distance parcourue par le canon.

La reporter dans un tableau à deux colonnes :

- colonne 1 : poids de l'œuf

- Colonne 2 : distance parcourue.

Quelques essais avec des poids contenus dans les limites matérielles du canon permettent de se faire une idée assez précise de la loi à l'étude.

On peut aussi reporter les données dans un tableur type Excel, et utiliser sa fonction graphique pour visualiser les résultats :

- courbe mettant en relation la masse éjectée et la distance parcourue

- détérioration de la courbe aux limites : masse trop faible ou trop forte.

Pour aller plus loin :

On peut augmenter la puissance du canon en ajoutant des élastiques

Construire un canon plus gros, plus performant

M'en envoyer le plan, pour en faire profiter tout le monde.

Et pourquoi pas ne pas étudier la distance parcourue par l'œuf ?

Page vite faite le 22/12/01 entre 18 et 20 h. Le plan aussi, sous Illustrator. Alain Gless

[Page d'accueil](#) - [Plans et dossiers CLAP](#) - [Page précédente](#)