



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



# L'ABC DE LA MICROFUSÉE



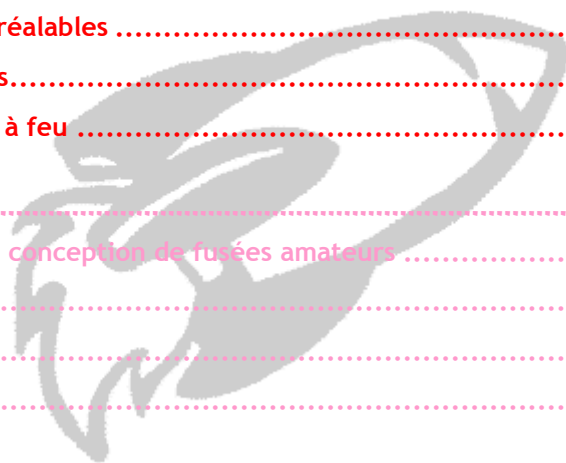
Octobre 2007

Depuis 1962, les activités spatiales de jeunes sont réalisées sous l'égide du CNES

<b>PREAMBULE</b> .....	<b>5</b>
<b>EDITOS</b> .....	<b>6</b>
<b>L'ACTIVITE MICROFUSEE</b> .....	<b>7</b>
Pour qui et pour quoi ?.....	7
Cadre de pratique .....	7
Performances .....	8
<b>REALISATION D'UNE MICROFUSEE</b> .....	<b>9</b>
Généralités .....	9
Constitution d'une microfusée .....	9
Le corps .....	10
L'ogive .....	10
Les ailerons .....	12
Le guidage au décollage .....	14
Le système de récupération .....	14
L'intégration finale .....	17
<b>PROPULSION A REACTION</b> .....	<b>18</b>
Principe de l'action-réaction .....	18
De la théorie à la fusée qui monte .....	19
<b>LE MICROPROPULSEUR</b> .....	<b>21</b>
Description.....	21
Fonctionnement .....	22
Codification.....	23
Boosters .....	24
Caractéristiques de quelques micropropulseurs .....	25
Allumage du micropropulseur et sécurité .....	25
Stockage et transport de micropropulseurs .....	26



<b>VOL D'UNE MICROFUSEE</b> .....	<b>27</b>
Les différentes phases de vol .....	27
Les différents types de vol.....	27
Vers un vol stable .....	28
Deux notions importantes .....	28
Estimation de la position du centre de gravité .....	29
Estimation du Centre Latéral de Poussée.....	29
Critères de stabilité .....	33
Evaluer la stabilité .....	35
Description des différents types de vol .....	36
Comment rendre une fusée stable ? .....	37
Limites de ce chapitre .....	37
<b>LANCEMENT DES MICROFUSEES</b> .....	<b>38</b>
Avertissement.....	38
Démarches administratives préalables .....	38
Choix de l'aire de lancements.....	39
La chaîne électrique de mise à feu .....	40
<b>METROLOGIE</b> .....	<b>44</b>
Carina : un logiciel gratuit de conception de fusées amateurs .....	44
Le théodolite .....	45
La soufflerie .....	46
Mesure de vitesse .....	46
<b>POUR ALLER PLUS LOIN</b> .....	<b>47</b>
Objectifs des projets "spéciaux" .....	47
Microfusée multi-étages .....	47
Microfusées multipropulseurs .....	48
Planeurs .....	49
<b>AGREMENT MICROFUSEE</b> .....	<b>50</b>
L'agrément microfusée .....	50
Responsabilités et assurances .....	51
Quelques règles.....	51



<b>DEMARCHE PEDAGOGIQUE .....</b>	<b>53</b>
Intérêts pédagogiques.....	53
La démarche de progression par phases .....	54
La démarche expérimentale .....	56
La démarche de projet.....	57
Une démarche transversale de sécurité .....	58
Donner un sens à l'activité.....	58
 <b>ANNEXES.....</b>	 <b>59</b>
HISTORIQUE.....	60
LISTE DE MATERIEL.....	62
DONNEES TECHNIQUES .....	63
POLITIQUE SAUVEGARDE ET ANALYSE DES RISQUES .....	64
PROCEDURES ET DOCUMENTATIONS APPLICABLES .....	68
LE CNES ET LES JEUNES .....	755
PLANETE SCIENCES .....	766



Chères lectrices, chers lecteurs,

Vous venez sans doute de suivre une formation microfusée et vous avez obtenu votre agrément ! Toutes nos félicitations ! Vous faites désormais partie des personnes que nous estimons aptes à mener l'activité microfusée en toute sécurité avec des jeunes.

La microfusée, support particulièrement enrichissant, tant sur le plan pédagogique, expérimental que ludique, est bien souvent un moyen pour les jeunes de découvrir pour la première fois la démarche de projet et la démarche expérimentale, ainsi que de vivre une première expérience de travail d'équipe où l'effort à produire sera important pour atteindre les objectifs fixés en commun au départ.

Le lancement est toujours palpitant pour le jeune concepteur de fusée : quel que soit son âge, il ne peut pas rester de marbre durant le décompte final ! En participant à ce grand projet, on ne peut qu'être séduit par ce jeu de questions, réponses, d'hypothèses et de vérification par l'expérience afin d'atteindre les meilleures performances possibles.

Pour accompagner les 50.000 microfusées lancées chaque année et les 200 agréments microfusée environ délivrés par an, un document retraçant les grandes lignes de la formation et rappelant les règles de sécurité est indispensable. Il guidera l'animateur microfusée tout au long de sa "carrière".

Ce document, fort complet, ne peut néanmoins prétendre à l'exhaustivité. Il est conçu comme un support à relire régulièrement avant une animation ou un lancement.

En espérant que ce document vous sera utile, clair et agréable, nous vous souhaitons grand succès et bons vols !

## **Rédaction**

### **Participations :**

Laurent Costy, Olivier Dalechamps, Guillaume Deltombe, Etienne Maïer, Valérie Péron, Vincent Riché, Christophe Scicluna, Erwan Vappereau, David Van Pevenacge

### **Validation :**

Guy Préaux (Planète Sciences), Anne Serfass-Denis (CNES)

### **Crédits photos et illustrations :**

CNES, Planète Sciences, Laurent Costy, Olivier Dalechamps, Vincent Riché

### **Mise en page :**

Valérie Péron, Etienne Maïer

## Le mot du CNES

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

Cette phrase du chargé de mission jeunesse du CNES en 1987, résume l'ambition et le rôle du CNES en matière d'activités liées à l'espace proposées aux jeunes.

La dimension éducative est fortement présente, car l'espace a cet énorme avantage de permettre à la fois de jouer sur la part de rêve et également d'offrir des activités concrètes qui favorisent les apprentissages et la formation des jeunes (construction de fusées, de nacelles de ballons...).

Mais le CNES ne peut accepter de proposer ces activités que si les conditions de sécurité sont réunies. Aussi inoffensive que puisse paraître la microfusée, mal utilisée, elle peut être dangereuse. Le CNES est donc très vigilant sur les conditions de mise en œuvre de ces activités, d'où ce partenariat de longue date avec l'association Planète Sciences responsable de l'encadrement et du développement de la microfusée auprès des jeunes.

Notre souhait est que ce document constitue une aide complémentaire au stage d'agrément, pour mener une activité enrichissante pour les jeunes et ce, en toute sécurité.

Anne Serfass-Denis  
Chef du Service Culture Spatiale

## Le mot de Planète Sciences

Le document que vous tenez entre les mains est le fruit d'un long travail collectif d'animateurs passionnés et militants. Il se veut un guide pratique à destination de tous ceux qui souhaitent découvrir la microfusée ou explorer ce fantastique vecteur d'éducation à l'espace.

L'animateur ou enseignant y trouvera un support pour la réalisation de microfusées avec des jeunes. Il permettra aussi aux responsables de structures au sein desquelles sont mis en place des lancements, de mieux appréhender les contraintes techniques et administratives.

Souvent réduite à un outil d'initiation aux lois de l'aérodynamique, la microfusée offre un bien plus large panel de possibilités éducatives. Elle doit avant tout rester un vecteur d'expérimentation où le jeune pourra laisser libre cours à son imagination tout en permettant à l'encadrant (animateur, enseignant, parent) de s'appuyer sur cette activité attrayante et ludique pour ouvrir la porte à de multiples échanges et apports éducatifs.

Le CNES et Planète Sciences ont toujours su prouver que l'on pouvait allier l'application sérieuse et stricte des consignes de sécurité et la pratique collective d'une activité expérimentale, ludique et passionnante ouverte au plus grand nombre. Ainsi, les conditions de pratique ont évolué avec le temps, suivant les améliorations du matériel ou les modifications de la réglementation. L'objectif principal a toujours consisté à garantir la sécurité maximale des personnes et des biens. Il est donc de notre responsabilité collective de défendre la pérennité de ces activités en nous engageant dans la formation des encadrants. C'est ce principe que nous défendons en proposant la formation "agrément microfusée".

Avec le soutien du CNES, Planète Sciences tient ainsi son rôle de coordinateur national et de diffusion la plus large possible de la culture scientifique et technique vers les jeunes, tous les jeunes.

Bonne lecture !

Etienne Maïer  
Responsable national du secteur Espace (2002-2006)

# L'ACTIVITE MICROFUSEE

## Pour qui et pour quoi ?

L'activité microfusée est définie par Planète Sciences et le CNES comme une activité scientifique et technique proposée aux jeunes dont l'objet est la réalisation et la mise en œuvre de fusées, propulsées vers le ciel par des micropropulseurs de puissance A, B ou C et embarquant un système de récupération. Cette définition est indissociable de toutes les règles de sécurité, de conception et de mise en œuvre présentées en agrément et reprises dans ce document.

L'agrément microfusée couvre l'ensemble de ce cadre de pratique.

Accessible dès l'âge de 8 ans, la microfusée constitue un outil particulièrement adapté aux jeunes pour s'initier à la culture spatiale, tout en pratiquant la démarche expérimentale et en s'amusant.

Elle permet d'aborder des notions de physique et de mathématiques, mais aussi des méthodes de travail.

Au cours de cette activité, le jeune va concevoir, fabriquer et lancer une fusée miniature : toute une aventure ! L'objectif n'est pas de réaliser des maquettes reproduisant des modèles existants. La microfusée laisse libre cours à l'imagination et permet de comprendre, par l'expérimentation, ce qui régit le vol d'une fusée.

## Cadre de pratique

Depuis 1986, les micropropulseurs sont en vente libre dans le commerce (dès l'âge de 16 ans pour les moins puissants et aux personnes majeures pour les gammes supérieures).

Cependant, malgré leur vente libre, le CNES et Planète Sciences estiment que la mise en œuvre des propulseurs ne peut se faire sans une formation adaptée : l'agrément microfusée. Ainsi, tous les lancements de microfusées réalisés sous l'égide du CNES et de Planète Sciences sont encadrés par un animateur formé qui assure le respect de l'ensemble des règles rappelées dans ce document et apprises durant la formation.

Planète Sciences s'appuie sur ses délégations territoriales et le réseau des Francas<sup>1</sup> pour dispenser chaque année une vingtaine de sessions d'agrément microfusée (voir chapitre *Agrément microfusée*, page 50).

Au sein du réseau Planète Sciences, l'agrément microfusée est obligatoire pour commander du matériel et mettre en œuvre des micropropulseurs.

Chaque année, ce sont près de 50 000 microfusées qui sont lancées en France. On estime à plus de 1 million le nombre de microfusées lancées depuis le début des années 80.

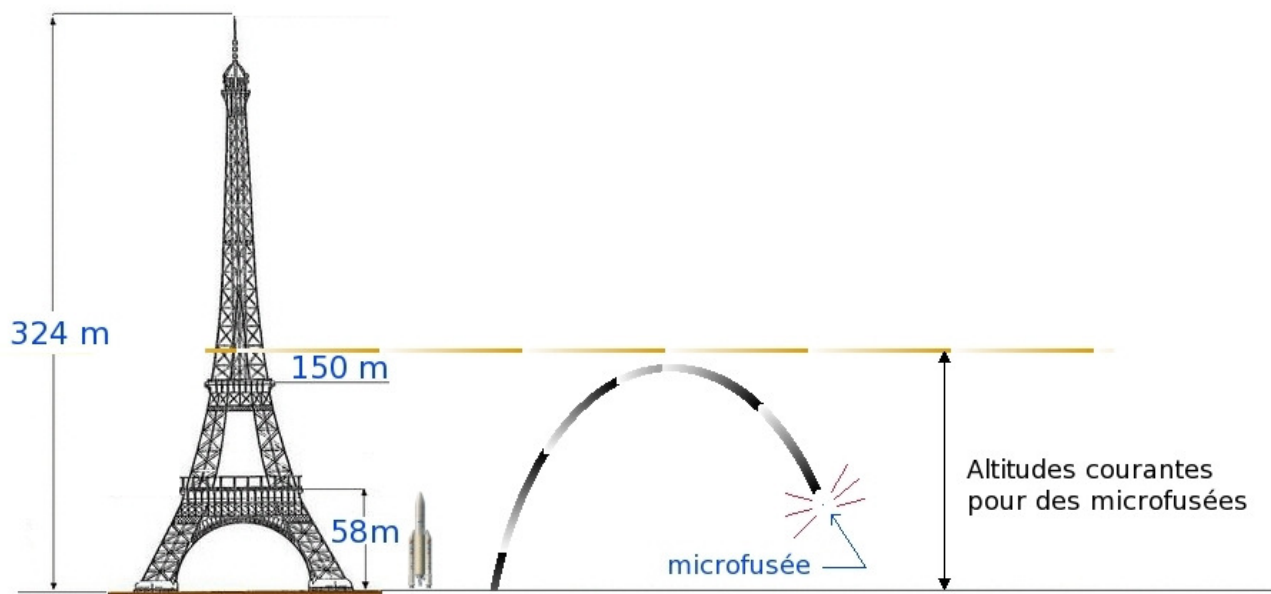


*Microfusée prête au décollage*

<sup>1</sup> Pour tout renseignement : [www.francas.asso.fr](http://www.francas.asso.fr)

## Performances

Suivant le type du propulseur et la finition de la microfusée, la hauteur atteinte peut être comprise entre 50 et 250 mètres pour une masse variant de 20 à 150 g.



En raison des vitesses qu'elles atteignent (environ 200 km/h), les microfusées font partie du domaine aérospatial.

### Un peu d'orthographe...

*Suite aux recommandations formulées en 1990 par le Conseil Supérieur de la Langue Française, microfusée, comme minifusée, s'écrivent en accolant le préfixe au radical. Le trait d'union est seulement mis lorsque la rencontre de deux voyelles risquerait d'induire une mauvaise lecture (o ou a suivis de i ou u).*



Construction de microfusées

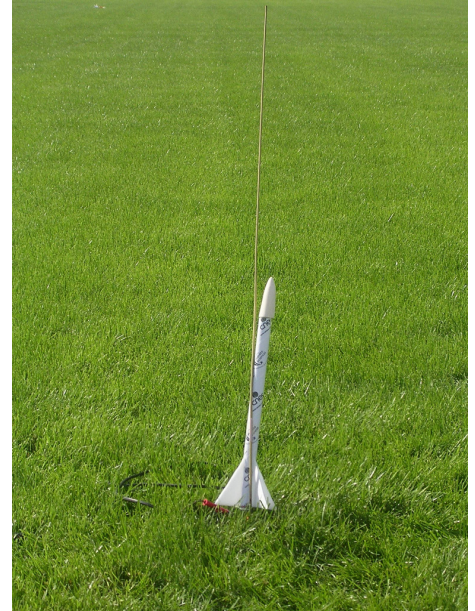


# REALISATION D'UNE MICROFUSEE

## Généralités

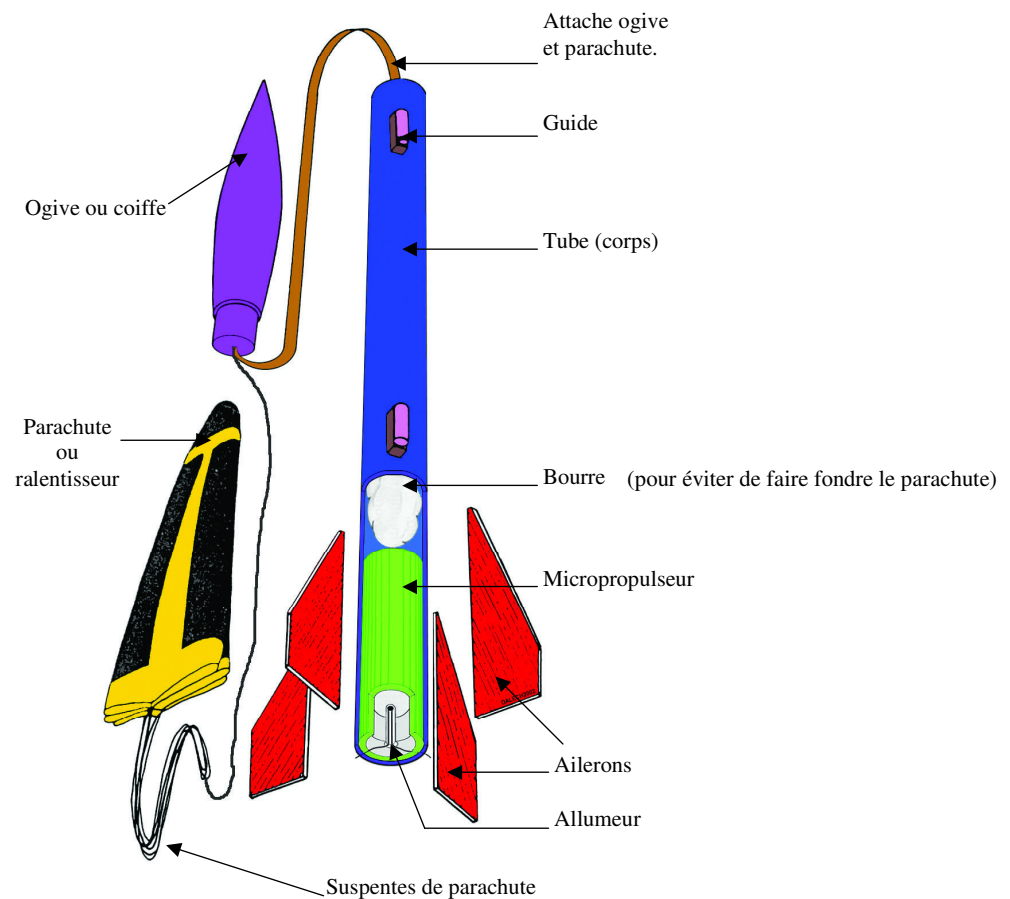
Généralement, une fusée standard possèdera les éléments suivants :

- ▶ un corps ;
- ▶ des ailerons ;
- ▶ une ogive ;
- ▶ un système de guidage au décollage ;
- ▶ un système de récupération ;
- ▶ un propulseur (le seul élément qui ne soit pas à construire).



Un exemple de microfusée

## Constitution d'une microfusée



Les différentes parties d'une microfusée

## Le corps

Le corps de la fusée est très souvent cylindrique, réalisé dans un tube en carton, coupé aux dimensions désirées. Il peut être également roulé à partir de papier épais.

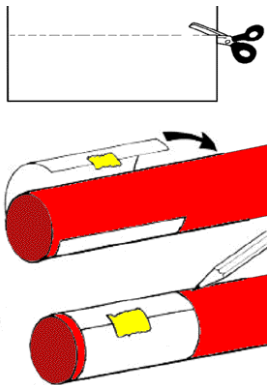
Le diamètre intérieur du tube doit être au moins égal au diamètre extérieur du micropropulseur, soit 17,5 mm. Si le diamètre est plus grand, il faut prévoir des entretoises assurant le centrage de ce dernier. L'idéal pour réaliser une découpe droite et nette du tube de votre microfusée est d'utiliser une boîte à onglet.

### Astuce :

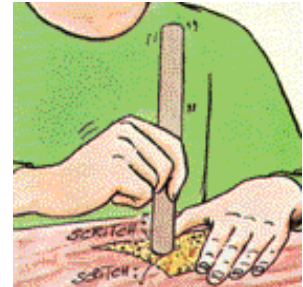
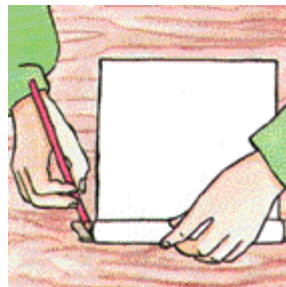
si vous n'avez pas de boîte à onglet.

Pour préparer une découpe droite sur un tube de microfusée :

- Prenez une feuille ou une bande de papier et enroulez-la autour du tube en faisant coïncider les bords.
- Tracez en suivant le bord du papier.



- Tout en faisant tourner le tube, découpez (au cutter ou avec une scie à métaux à denture fine) le long de la ligne.
- Procédez 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 planes et sans bavure, on peut les poncer sur du papier abrasif fin.

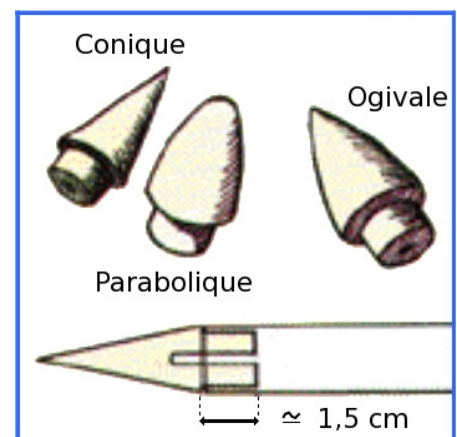


## L'ogive

### Généralités

L'ogive est généralement symétrique sur son axe longitudinal et peut prendre des formes variées.

Penser à bien ajuster l'ogive afin qu'elle puisse s'emboîter sans coincer dans le tube.

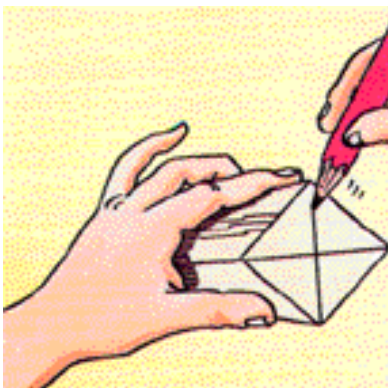


## Réalisation de l'ogive

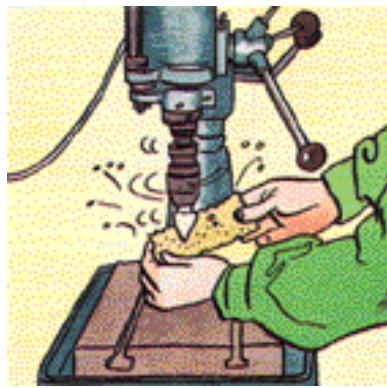
L'ogive peut être réalisée dans un matériau tendre comme une plaque de mousse isolante, du balsa (bois exotique très léger) ou du papier. Réalisée en balsa, elle se tourne avec une perceuse ordinaire montée sur un support de table horizontal.

Une vis à bois de gros diamètre, dont la tête a été coupée, est introduite dans le mandrin. Le bloc de balsa, préalablement centré, est vissé dessus. Dans un premier temps, le bloc de balsa est dégrossi à l'aide d'une râpe ou du papier abrasif à gros grain. La finition se fait ensuite avec du papier de verre fin. Des lunettes de protection ainsi qu'un masque antipoussière sont indispensables.

La perceuse doit être fixée sur un bâti adapté qui doit être, lui-même, solidement maintenu à la table de telle manière que le pas de vis ne dépasse pas de la table.



*Centrage du bloc de balsa avant de le visser sur la perceuse*

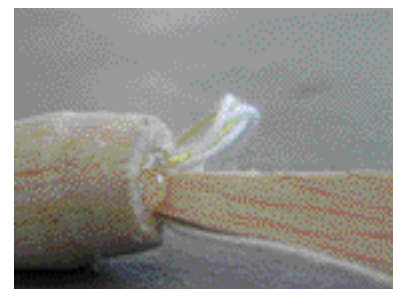
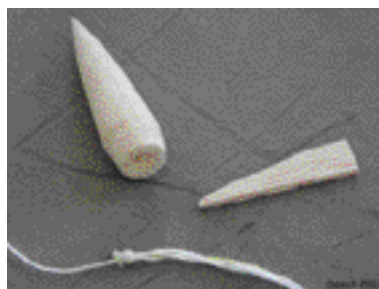
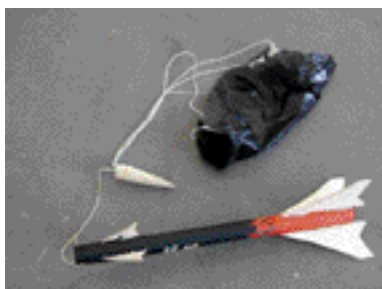


*Le tournage de l'ogive est possible sur une perceuse à colonne ou à main*

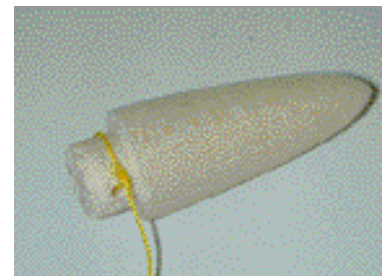


Si on ne dispose pas de perceuse, il est possible de faire l'ogive en papier à partir d'un gabarit en demi-cercle.

## Fixation de l'ogive sur la fusée



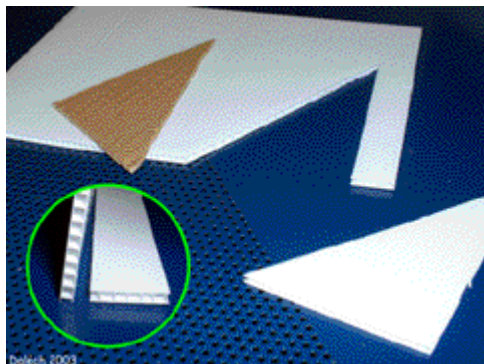
Introduisez de la colle dans le trou produit par la vis à bois. Introduisez le nœud du parachute dans le trou de l'ogive puis, obstruez-le avec un bout de bois en repoussant le nœud le plus loin possible.



Pour les ogives en papier, on les fixe à la fusée avec un morceau de ruban adhésif qui sert de charnière.

## Les ailerons

### Généralités



"Akiplac"

(plaque de PVC alvéolé très légère, utilisée notamment sur les palettes d'eau ou pour la signalétique)

Les ailerons sont réalisés dans n'importe quel matériau rigide, léger et mince.

Par exemple du carton, du balsa dur de deux ou trois millimètres, des feuilles de PVC, type "akiplac"...

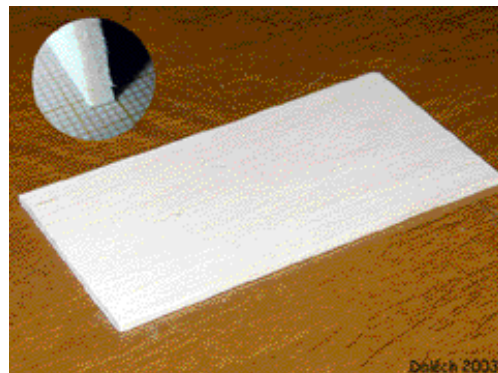
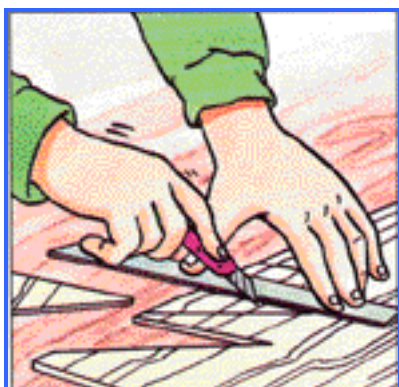


Planche de Balsa

### Découpage



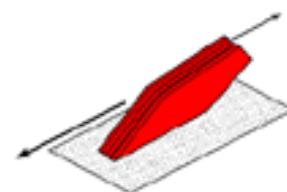
Commencez par tracer sur du papier ou du carton un patron grandeur réelle. Découpez ce patron, puis positionnez-le sur la planche de balsa. Tracez le contour à l'aide d'un crayon.

Pour découper, utilisez une cornière en aluminium (profilé aluminium en L) pour protéger les doigts et guider le cutter.

Celui-ci sera tenu bien droit, avec un angle de coupe de 90°.

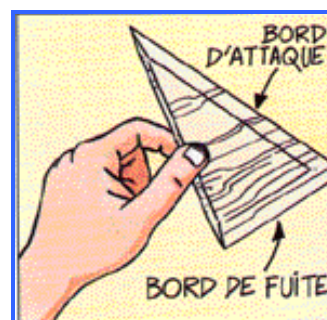
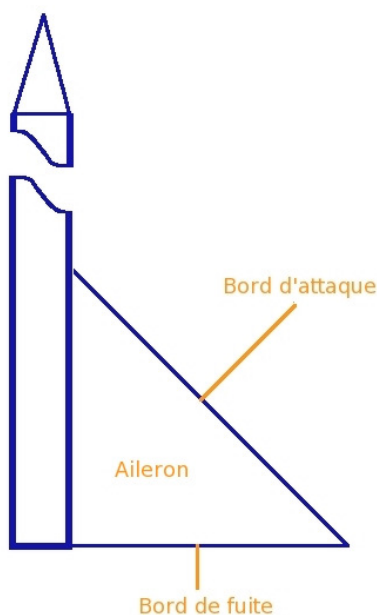
Poncez ensemble les ailerons.

Astuce : ils peuvent être maintenus les uns contre les autres par des épingles.



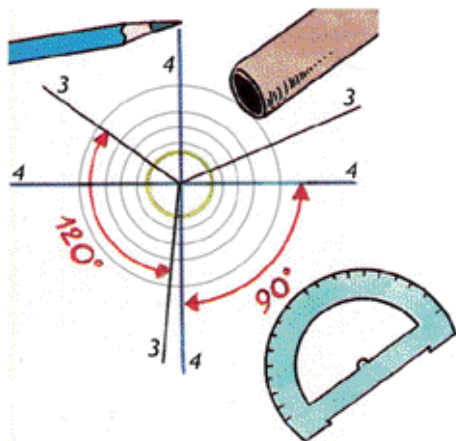
Ponçage collectif des ailerons après la découpe

On peut encore améliorer l'esthétique et la pénétration dans l'air en donnant, aux différents bords des ailerons, un profil en biseau : le bord d'attaque (celui en avant de l'aileron) de forme ronde, et le bord de fuite (celui à l'arrière de l'aileron) de forme pointue.



Ponçage d'un bord d'attaque et d'un bord de fuite sur un aileron

## Positionnement

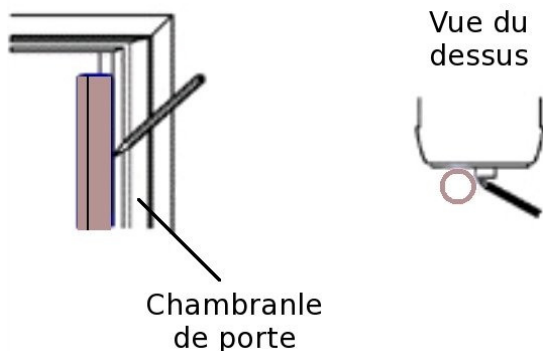


Gabarit pour le positionnement des ailerons

Fabriquez tout d'abord un gabarit comme sur le dessin ci-contre.

Centrez le tube sur le cercle convenable du gabarit puis tracez sur le corps les repères correspondants (en regard des lignes marquées 4 pour quatre ailerons et 3 pour trois ailerons).

Pour tracer les lignes d'alignement le long du corps, appuyez-vous contre une règle de section carrée ou sur un encadrement de porte. L'arête de la règle ou de la porte guidera le crayon.



Traçage des lignes pour le positionnement des ailerons

Une méthode pour tracer des traits d'alignement

## Collage

Le pistolet à colle est l'outil le plus pratique pour fixer les ailerons d'une microfusée. Le séchage est rapide et le repositionnement possible.

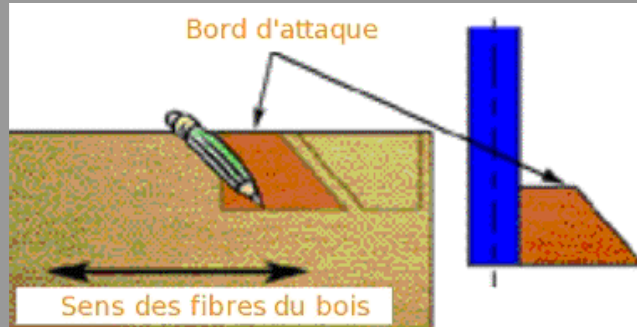
Appliquez un trait de colle sur le bord à coller de l'aileron et appliquez l'aileron en suivant les lignes tracées sur le tube. De la même manière, la colle à bois peut être utilisée.

On peut renforcer le collage des ailerons en appliquant un congé de colle à la base des ailerons. Cette opération doit s'effectuer lorsque le premier collage est terminé.

### Attention aux fibres du bois

Pour assurer la solidité des ailerons, vérifiez que leurs bords d'attaque sont bien parallèles aux fibres du bois.

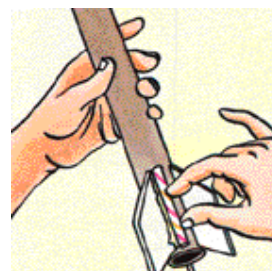
Lors du collage, positionnez les fibres du bois perpendiculairement à l'axe de la fusée.



## Le guidage au décollage

Lors du lancement, on guide la microfusée pour imposer une direction. La longueur de la rampe de guidage est définie de façon à ce que la fusée puisse avoir une vitesse suffisamment importante pour permettre aux ailerons de jouer pleinement leur rôle de stabilisateurs et de guide, une fois la fusée sortie de la rampe.

La rampe de lancements est généralement composée d'une tige cylindrique de 1 à 3 mm de diamètre ("corde à piano" par exemple) le long de laquelle coulisse un morceau de paille alimentaire simplement collé ou même fixé au tube par du ruban adhésif.



*Un morceau de paille alimentaire convient très bien pour servir de guide à la fusée*

### Astuces

- Pour un meilleur guidage (dans le cas de microfusées très longues par exemple) on peut ajouter, plus haut sur le tube, une seconde paille. Il faut toutefois précautionneusement les aligner pour éviter de trop grands frottements sur la tige au moment du décollage.
- La paille peut être réalisée par enroulage/collage d'une bande de papier.

## Le système de récupération

### Généralités

Une fois que la microfusée a décollé, elle doit pouvoir redescendre lentement jusqu'au sol. L'objectif est d'assurer la sécurité du public et de récupérer l'engin en bon état. Il faut donc embarquer un système ralentisseur qui sortira durant le vol.



Les ralentisseurs les plus couramment utilisés sont le parachute et la banderole.

Il est possible d'imaginer d'autres systèmes...

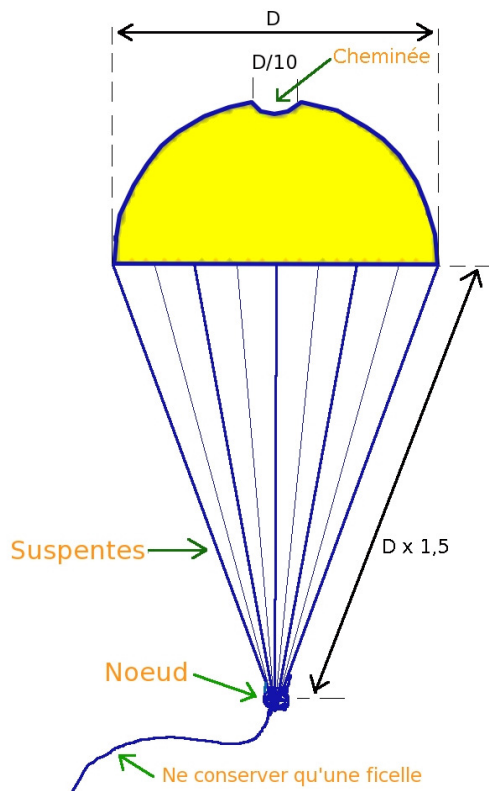


*Système ralentisseur à hélices*

### Pourquoi un système de récupération ?

*D'abord, le système de récupération est bien là pour prendre en compte la sécurité du public. Ensuite, c'est aussi pour « faire comme les grands » et pour appréhender les difficultés rencontrées pour tenter de récupérer les engins intacts après le vol.*

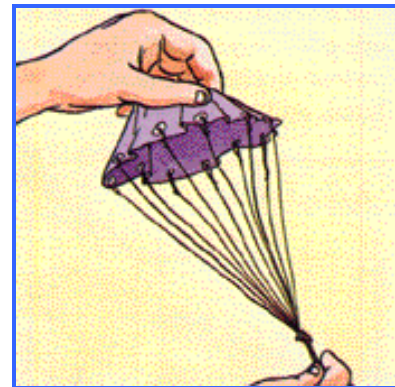
*Enfin, l'obligation d'embarquer un système de récupération, quel qu'il soit, est aussi un moyen d'éviter que l'activité microfusée ne se transforme en des lancements où l'engin ne serait plus qu'un projectile...*



## Le parachute hémisphérique

Le parachute hémisphérique est efficace et simple à réaliser.

Pour obtenir une voilure bien gonflée, il est préférable d'avoir une cheminée à l'extrémité supérieure pour assurer l'écoulement de l'air et une descente bien verticale sans balancement. Le parachute est réalisé à partir d'un cercle découpé dans une fine feuille de matière plastique comme un sac poubelle ménager.



Pour réaliser les suspentes, nous utilisons de la ficelle fine, type "ficelle de cuisine".

Ces suspentes sont de même longueur et de l'ordre d'une fois et demie le diamètre du parachute.

Elles sont fixées symétriquement sur le parachute. Leur nombre est égal ou supérieur à quatre. Elles sont positionnées régulièrement autour du parachute pour assurer un maintien minimum de l'ensemble.

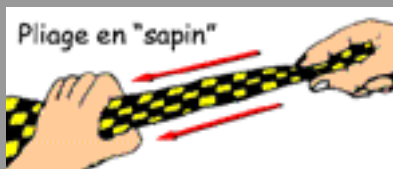
La fixation des suspentes sur le parachute se fait avec du ruban adhésif qui maintient une boucle pour empêcher que la suspente ne se défasse à la traction. Mettez le moins de ruban adhésif possible pour faciliter le passage du parachute dans le tube de la fusée lors de son éjection.



Exemple d'un parachute à quatre suspentes

## Trucs et astuces

Il n'est pas aisé de découper un rond parfait dans un sac poubelle. Pour y arriver facilement, mettre le parachute en "sapin" et couper avec une paire de ciseaux. On obtient un disque relativement régulier !

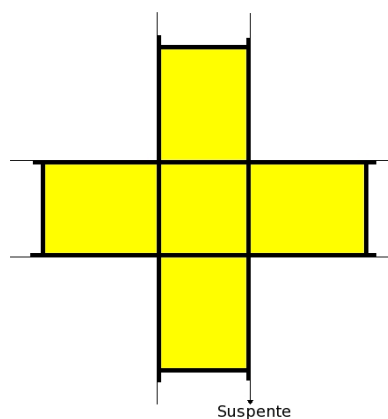


Méthode pour obtenir un parachute rond en un éclair



## Le parachute cruciforme

Le parachute cruciforme est plus résistant que le parachute hémisphérique mais, à surface égale, il est un peu moins efficace.

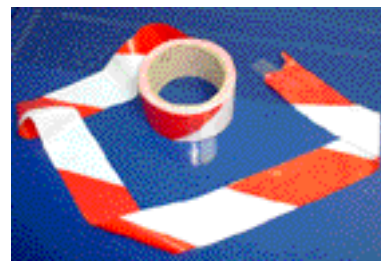


## La banderole

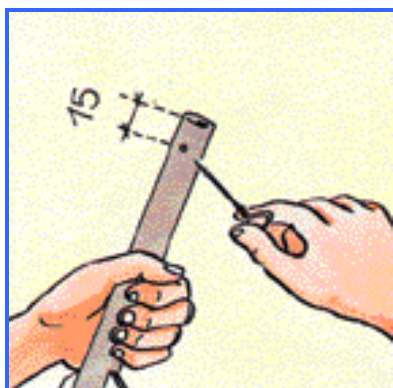
Rapide et facile à réaliser, la banderole est un ralentisseur adapté pour les microfusées.

On peut par exemple découper un morceau de "bande chantier" d'environ un mètre ou plus (la limite est imposée par la taille du corps où sera logée la banderole). On enroule alors minutieusement la bande attachée au corps de la fusée par une suspente fixée comme pour un parachute traditionnel et on l'introduit dans le tube.

Le battement au vent freine la chute de la fusée même si la vitesse de descente reste plus importante que pour un parachute.



## Fixation du ralentisseur sur la fusée



Réalisation d'un trou de fixation

Une fois l'ensemble ralentisseur-ogive constitué, il faut le fixer sur le corps de la fusée sans oublier que la fixation encaissera le choc créé par l'éjection lors de la phase de dépotage.

Cet amortissement est assuré par une cordelette ou un élastique. La longueur recommandée est égale à deux fois celle du corps de la microfusée pour éviter la mise en torche. Ce cordon amortisseur doit être bien fixé au corps.

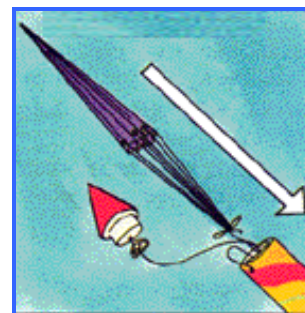
Pour fixer le cordon ou l'élastique, une solution consiste à percer le haut du tube (voir figure ci-contre) et à faire un nœud.



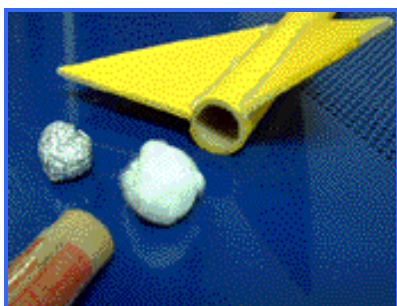
## L'intégration finale

Pour placer le parachute dans le corps de la fusée, il faut le plier de manière à ce qu'il puisse se déployer facilement ; on peut par exemple le plier en "sapin" ou en "parapluie" et le glisser sans forcer dans le tube.

Le parachute doit être mis le plus tard possible dans la fusée pour éviter qu'il prenne des plis et se déploie mal lors de l'éjection.



Intégration du parachute



Bourre en coton

Entre le micropropulseur et le parachute, on glisse une bourre de protection constituée d'une petite boule de coton ou d'aluminium.

Cette bourre sert à isoler le parachute des gaz chauds formés lors du dépotage du propulseur.

### Astuces

*La bourre de coton est préférée à la bourre d'aluminium car elle permet une meilleure étanchéité. Cependant, le coton peut s'enflammer au contact des flammes générées lors du dépotage (risque d'incendie sur terrains secs).*

*Il est donc préconisé, au choix :*

- *d'utiliser du coton ignifugé,*
- *d'humidifier le coton avec de l'eau (avec un vaporisateur par exemple) juste avant son intégration et le lancement,*
- *de tremper le coton dans une solution d'alun (disponible chez votre boulanger).*

### Sécurité

*Attention, l'intégration finale et la manipulation du micropropulseur s'effectue au dernier moment par l'adulte responsable des lancements.*



Une microfusée, parachute sorti, après un vol

# PROPULSION A REACTION

## Principe de l'action-réaction

- Quand le passager d'une barque jette une pierre dans un sens, son embarcation se déplace dans le sens opposé...
- Quand un ballon de baudruche se dégonfle, il éjecte une masse d'air et se déplace dans le sens opposé à l'air qu'il vient d'éjecter.

C'est le principe de l'action-réaction.



## Le principe d'action-réaction : définition

Selon le principe de l'action et de la réaction, l'un des principes fondamentaux de la dynamique, énoncé par Newton au 17<sup>ème</sup> siècle, si un point matériel A exerce une force sur un autre point matériel B, B exerce sur A une force égale et opposée.

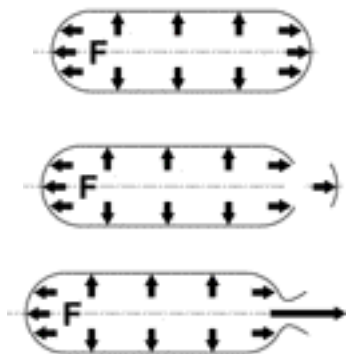
Une fusée fonctionne selon ce principe : elle se propulse par réaction. L'éjection, vers le bas, des gaz brûlés par ses moteurs provoque, par réaction, son déplacement vers le haut.

## Comment ?

Si l'on produit une réaction de combustion à l'intérieur d'une enveloppe fermée de tous côtés, cela crée du gaz ; la pression augmente et s'exerce dans toutes les directions sur les parois.

Si l'enveloppe résiste<sup>2</sup>, rien ne se passe. Si on perce un orifice dans la paroi, les gaz peuvent s'échapper.

Les gaz jaillissent par l'orifice tout en maintenant leur pression à l'avant de l'enveloppe. Le corps est alors projeté en avant.



La force créée est proportionnelle au débit massique des gaz et à leur vitesse d'éjection :

avec :

$F$  : la force créée en Newton (N) ;

$q$  : le débit massique de gaz en kilogramme par seconde (kg/s) ;

$v$  : la vitesse d'éjection des gaz en mètre par seconde (m/s).

$$F = q \times v$$



<sup>2</sup> Attention : si l'enveloppe ne résiste pas, elle explose ; il est donc dangereux d'essayer de fabriquer un moteur de fusée en amateur.

## De la théorie à la fusée qui monte

Le principe du moteur à réaction est implicitement connu depuis très longtemps. La première machine mise en mouvement par ce principe est certainement l'éolipyle (porte d'Éole), du Grec Héron d'Alexandrie (10 - 75 après J.-C.).

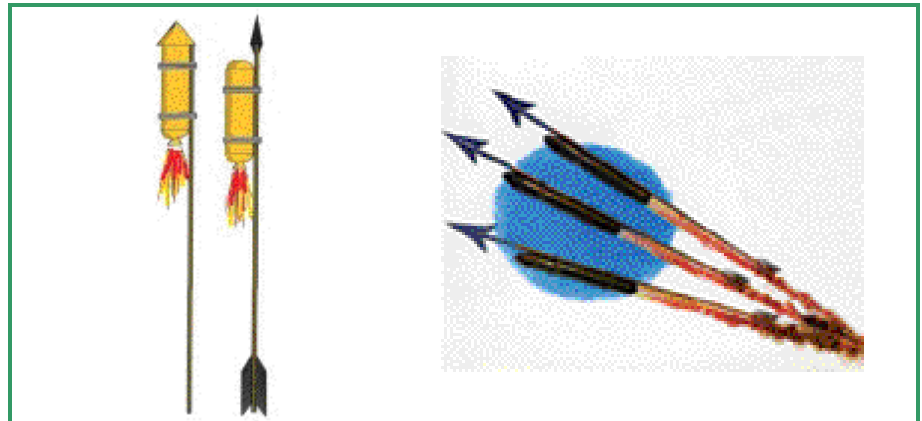
L'éolipyle comporte un récipient plein d'eau que l'on chauffe pour obtenir de la vapeur. La vapeur remonte dans des tubes et arrive dans une sphère de métal d'où émergent deux tubes coulés à angle droit. La vapeur en sortant des tubes fait tourner la sphère.



L'éolipyle de Héron d'Alexandrie

Au 7<sup>e</sup> siècle, les Chinois inventent la poudre noire et l'utilisent dès le 11<sup>e</sup> siècle pour propulser des flèches.

Cette poudre noire, véritable révolution, arrive en Europe au 14<sup>e</sup> siècle et est utilisée pour les canons.



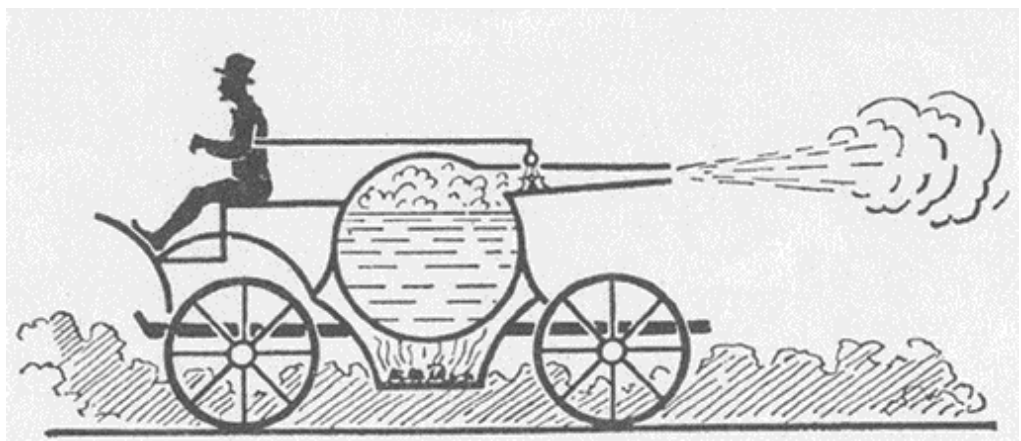
Les flèches chinoises, utilisées en 1232, lors de la bataille de K'ai-fung



Isaac Newton

C'est au cours du 17<sup>e</sup> siècle que l'anglais Sir Isaac Newton (1642-1727) découvre et énonce le principe d'action-réaction.

Et en 1720, le Hollandais Gravesande fabrique une voiture fonctionnant sur ce principe.





Testée le 16 mars 1926 dans le Massachusetts, la fusée de Goddard fonctionne 2,5 secondes et s'élève à 12,5 mètres. Le propulseur est situé au dessus et reçoit le carburant par deux conduits venant du réservoir, en bas

Au 19<sup>e</sup> siècle, le britannique William Congreve perfectionne et utilise des fusées incendiaires dans de nombreuses batailles : Boulogne en 1806, Copenhague en 1807 et Waterloo en 1815.

C'est en 1903, que le physicien russe autodidacte Konstantine Tsiolkovski explique pour la première fois comment le principe d'action-réaction peut être utilisé dans le vide. En effet, dans un article intitulé *Exploration de l'espace au moyen d'engins à réaction*, le physicien exprime la vitesse de la fusée en fonction de la vitesse d'éjection des gaz.

En 1926, l'Américain Robert Goddard met au point la première fusée à propergols liquides (oxygène liquide et essence).

Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, le principe d'action-réaction est appliqué aux missiles. L'allemand Wernher Von Braun (1912-1977) est à l'origine de la fabrication en série des missiles V2. Ces engins sont conçus pendant la seconde guerre mondiale.

En 1969, la fusée *Saturn V*, qui a envoyé les astronautes américains sur la Lune, a une poussée de plus de 30 000 kN<sup>3</sup>.



Fusée V2



Saturn V



Ariane 5

<sup>3</sup> Une poussée de 30 000 kN est une force capable de soulever une masse de 3 000 tonnes.

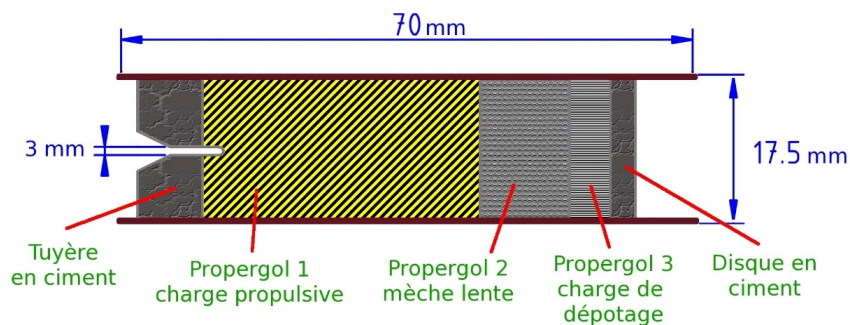
# LE MICROPROPULSEUR

## Description

Les micropropulseurs couramment utilisés en France pour l'activité microfusée sont de type A, B et C. Ils se présentent sous forme d'un cylindre en carton de 70 mm de long et de 17,5 mm de diamètre, contenant différents propergols solides, mélange communément appelé "poudre". On dit que le fonctionnement du propulseur est anaérobie.

Un micropropulseur comporte :

- une tuyère en ciment ;
- trois blocs de propergol ;
- un bouchon, également en ciment, pour fermer le tout.



Coupe d'un micropropulseur

## Définitions

**Anaérobie** : "qui peut fonctionner sans oxygène", donc sans air. Dans toutes les réactions chimiques où il y a une combustion, il faut deux éléments, un comburant et un carburant. À l'air libre, le comburant est souvent l'oxygène de l'air. C'est le cas des voitures ou des avions à réaction. Les propulseurs de fusées emportent leur comburant et leur carburant, ils peuvent donc fonctionner sans air, dans le vide de l'espace par exemple.

**Ergol** : substance homogène employée seule ou en association avec d'autres substances et destinée à fournir de l'énergie.

**Propergol** : produit énergétique constitué d'un ou plusieurs ergols pour la propulsion des fusées.



Microfusée sur rampe de lancement

## Fonctionnement

Le fonctionnement d'un micropropulseur comporte 3 phases :

➤ **Phase 1 : Propulsion**

Le bloc de propergol propulsif se consume : la fusée monte et des flammes sortent par l'arrière du micropropulseur.

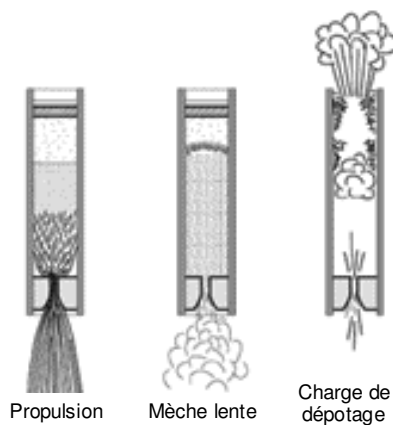
➤ **Phase 2 : Mèche lente**

Lorsque la mèche lente se consume, la fusée n'est plus propulsée mais le propulseur produit de la fumée. Il est donc plus facile de repérer la fusée dans le ciel.

➤ **Phase 3 : Dépotage**

La charge de dépotage (ou charge d'éjection) explose et produit une petite flamme ainsi que des gaz qui font augmenter la pression et qui permettent l'éjection du ralentisseur.

A chaque propergol du micropropulseur correspond une phase du vol de la microfusée :

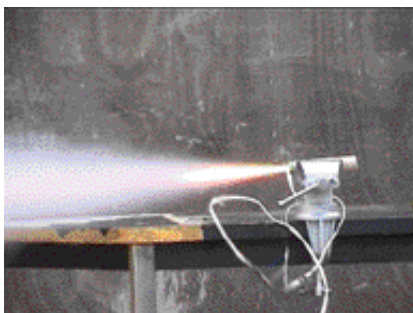


*Les différentes phases de combustion d'un micropropulseur*

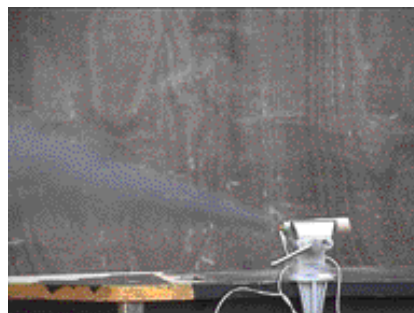


*Les différents blocs de propergol du micropropulseur sont chacun associés à une partie caractéristique du vol de la fusée*

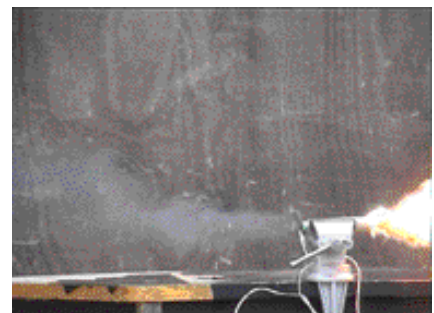
Illustration en photos :



*Phase 1 : propulsion*



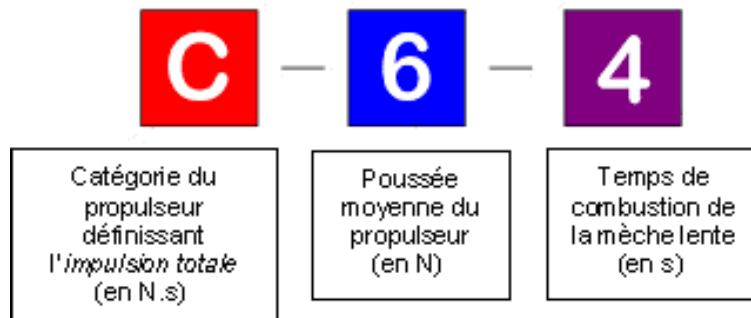
*Phase 2 : mèche lente*



*Phase 3 : dépotage*

## Codification

Une lettre et deux chiffres sont inscrits sur chaque micropropulseur :



Exemple de codification et signification

### Impulsion totale

La première lettre désigne l'impulsion totale qui correspond à la masse de poudre propulsive contenue dans le moteur et précise donc la puissance de ce dernier.

Elle s'exprime en newton seconde (N x s).

A chaque changement de lettre, l'impulsion totale est doublée :

A correspond à une impulsion totale de 2,5 N x s au maximum.

B correspond à une impulsion totale comprise entre 2,5 N x s et 5 N x s.

C correspond à une impulsion totale comprise entre 5 N x s et 10 N x s.

...



### Poussée moyenne

Ce chiffre désigne la poussée moyenne du propulseur.

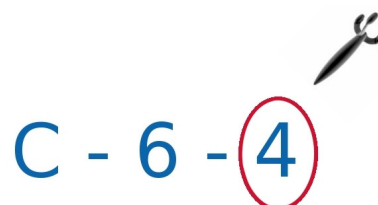
Elle s'exprime en newton (N).



On peut en déduire la vitesse à laquelle le propulseur se consume, en divisant l'impulsion totale par la poussée moyenne.

### Durée de la mèche lente

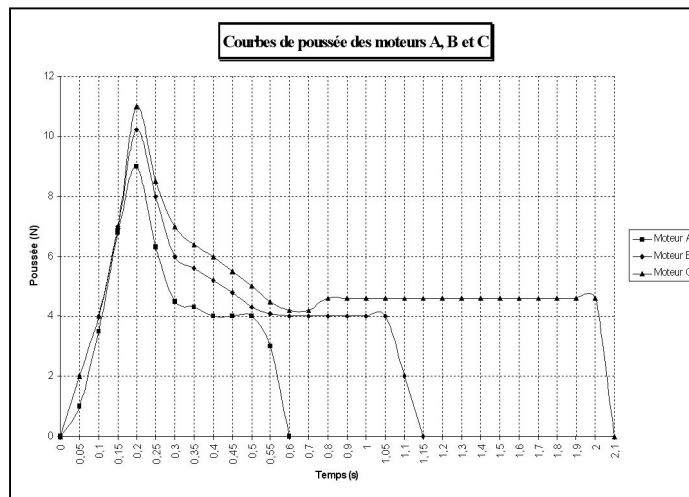
Le dernier chiffre fournit le temps - en seconde - de combustion du second propergol (la mèche lente).



Cela correspond donc au temps entre la fin de la propulsion et le dépotage.

## Deux types de poussée

L'impulsion totale correspond à la poussée moyenne multipliée par le temps de combustion. Il s'agit de l'aire contenue sous la courbe de poussée.



$$\text{Impulsion totale} = \text{Poussée moyenne} \times \text{durée de propulsion}$$

Pour un propulseur donné, la poussée moyenne est une valeur qui correspond à la moyenne de tous les points de poussée sur la courbe.

- Plus la poussée moyenne est importante, plus la durée de combustion sera brève, plus le moteur sera "nerveux".
- Plus la poussée moyenne est faible, plus la durée de combustion sera longue, plus le moteur sera "doux".

### Remarque

On distingue en général deux familles de courbes : la forme en pic et la forme en palier.

- La forme en pic caractérise une forte poussée pendant un court instant : elle permet à la fusée de subir une forte accélération et donc d'augmenter sa vitesse rapidement. En contrepartie, cette vitesse élevée engendre très vite une forte résistance à l'air. Cette forme est utilisée pour permettre à la fusée d'aller suffisamment vite pour être stable en sortie de rampe. Elle est conseillée pour les fusées lourdes.
- La forme en palier se traduit par une augmentation "douce" de la vitesse. Cette propulsion de "croisière" permet d'atteindre de bonnes altitudes en minimisant les pertes dues à la résistance de l'air.

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

## Boosters

Certains propulseurs n'ont ni mèche lente, ni charge de dépotage. Ils n'ont donc qu'une charge de propulsion : ils sont appelés *micropropulseurs d'impulsion* ou *boosters* et sont identifiables par la présence d'un zéro dans la codification (C6-0, B4-0, etc.).

Ils sont utilisés pour les fusées à plusieurs étages. Dès le propergol de propulsion consommé, les gaz chauds sous pression allument le micropropulseur de l'étage supérieur (les techniques de mise en oeuvre de fusées à plusieurs étages sont décrites page 47).



Booster de classe B



## Caractéristiques de quelques micropropulseurs

### Classe de risque pour le transport : 1.4 G (numéro ONU : 0431)

Comme tous les produits à risques, les micropropulseurs sont référencés selon une classification mondiale définissant leur dangerosité et permettant ainsi de connaître les précautions à prendre pour leur transport, stockage et manipulation.

Tous les produits dangereux portent un code qui se décline comme suit :

- un premier chiffre pour le type de matière,
- un second chiffre, compris entre 1 et 6, qui exprime le comportement de la matière par danger,
- enfin, une lettre qui désigne le groupe de compatibilité.

Tous les produits pyrotechniques font partie des matières explosives de classe 1.

Les propulseurs de microfusées sont classés 1.4 G :

*Catégorie de risque : 1.4* = Danger relativement mineur à effet réduit. Danger mineur en cas de mise à feu ou d'amorçage durant le transport. Les effets sont essentiellement limités au colis et ne donnent pas lieu normalement à la projection de fragment de taille notable ou à une distance notable. Un incendie extérieur ne doit pas entraîner l'explosion pratiquement instantanée de la quasi totalité du contenu du colis.

*Groupe de compatibilité : G* = Matière pyrotechnique ou objet contenant une matière pyrotechnique ou objet contenant à la fois une matière explosible et une composition éclairante, incendiaire, lacrymogène ou fumigène (autre qu'un objet hydro actif ou contenant du phosphore blanc, des phosphures, une matière pyrophorique, un liquide ou un gel inflammable ou des liquides hypergoliques).

### Caractéristiques

Propulseur	Classe pour artifice de divertissement	Impulsion totale	Poussée maximale	Temps de poussée	Masse de poudre	Masse totale
A (8-3)	K1	2,5 N.s	14 N	0,32 s	4,2 g	15 g
B (4-4)	K1	5 N.s	13 N	1,2 s	6 g	19 g
B (4-0)	K1	5 N.s	13 N	1,2 s	6 g	18 g
C (6-3)	K2	10 N.s	13,5 N	1,7 s	12,5 g	22 g

### Allumage du micropropulseur et sécurité

Ce document n'a pas pour vocation de lister l'ensemble des risques liés à l'activité, ni de récapituler les règles de sécurité nécessaires à la mise en œuvre de micropropulseurs.

Planète Sciences et le CNES imposent que la mise en œuvre de microfusées soit assurée par une personne formée, possédant l'agrément microfusée et connaissant ainsi toutes les procédures et consignes à respecter pour effectuer des lancements en toute sécurité.

#### Quelques consignes importantes de sécurité :

- La mise à feu du propulseur doit s'effectuer, à distance, à l'aide d'un allumeur électrique.
- Toute modification, tout démontage et toute recharge des propulseurs sont formellement interdits.
- Tout autre usage que la propulsion des microfusées est formellement interdit.
- Les micropropulseurs choqués (chute, écrasement, ...) doivent être isolés et inhibés (en les noyant dans l'eau pendant 24 heures).
- Les micropropulseurs ne doivent pas être laissés à la portée de mineurs.
- De manière générale, il est recommandé que le stockage, le transport et la mise en œuvre des micropropulseurs soient effectués sous la responsabilité d'un adulte possédant l'agrément microfusée.

## Stockage et transport de micropropulseurs

### Conditionnement des micropropulseurs

Le conditionnement des propulseurs est défini en fonction des normes ADR (numéro ONU) et de la classification de risque.

Les propulseurs sont conditionnés dans un emballage spécifique avec un étiquetage mentionnant en français (sur la boîte et sur chaque propulseur) :

- la dénomination de l'article, numéro ONU (ADR) et classe de risque ;
- les consignes de sécurité ;
- les conditions de stockage.

### Conditions de stockage des micropropulseurs

Jusqu'à utilisation, les propulseurs doivent impérativement rester dans l'emballage qui indique leur classification.

Principales règles à respecter :

- le local doit répondre aux normes en vigueur ;
- le local de stockage doit être fermé à clef sous la responsabilité d'une seule personne majeure ;
- les propulseurs doivent être stockés dans un local frais et sec. Ils ne doivent pas être exposés à une température supérieure à 50°C ou à une flamme ;
- les propulseurs doivent être stockés séparément des produits de classe d'emballage non compatibles ;
- au delà de 2 kilos de matière explosive, le dépôt de produits pyrotechniques est soumis à déclaration en préfecture.

### Conditions de transport des micropropulseurs

Dans la mesure où les règles de bon sens suivantes sont respectées, le transport de micropropulseurs ne comporte pas de danger particulier :

- ne prendre que le volume de propulseurs nécessaire ;
- réduire au strict nécessaire le temps de sortie des propulseurs du local de stockage ;
- les propulseurs doivent rester sous surveillance, sous la responsabilité d'une seule personne majeure ;
- lors du transport, les propulseurs doivent être maintenus à l'abri de la chaleur, de l'humidité et des chocs ;
- propulseurs et inflammateurs sont préférentiellement transportés séparément ;
- ne jamais dépasser 2 kilos de matière explosive transportée.

Des conditions particulières sont applicables pour le transport aérien et postal. Se renseigner auprès de Planète Sciences.



Les trois gammes de propulseurs

# VOL D'UNE MICROFUSEE

## Les différentes phases de vol

Lors d'un vol nominal d'une microfusée, on distingue généralement 5 phases :

### 3 Phase balistique

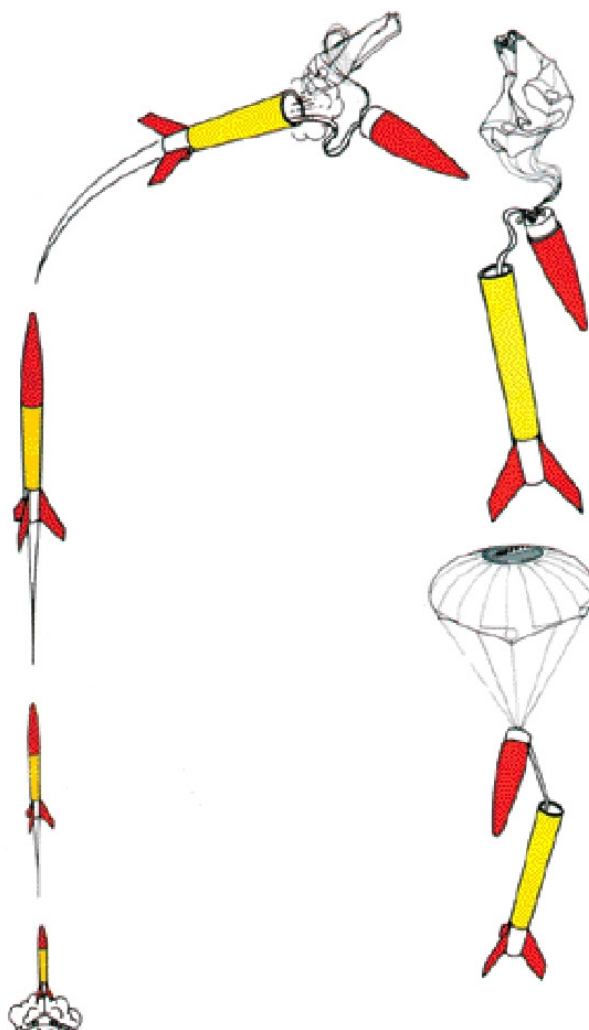
Durant cette phase, le micropropulseur ne produit plus de poussée. La fusée continue son ascension en consommant l'énergie cinétique emmagasinée lors de la phase précédente. Au fur et à mesure que l'énergie se dissipe, la fusée ralentit jusqu'à culmination. L'attraction de la Terre force la fusée à redescendre en effectuant une trajectoire balistique.

### 2 Phase propulsée

Lors de cette phase, la fusée accélère jusqu'à obtenir sa vitesse maximale (fin de propulsion).

### 1 Départ sur rampe

Lors du décollage, la fusée n'a pas assez de vitesse pour se stabiliser. Le rôle de la rampe est de guider la fusée sur les premiers centimètres du vol afin qu'elle obtienne une vitesse suffisante pour garder sa trajectoire initiale après avoir quitté la rampe de guidage.



### 4 Descente sous parachute

Lorsque la charge de dépotage "explose", une pression se crée à l'intérieur du tube. Cela permet au système ralentisseur (parachute, banderole...) de s'éjecter de la fusée. La descente de la fusée est ralentie pour permettre une récupération de l'engin intact.

### 5 Atterrissage

Les différentes phases de vol

## Les différents types de vol

### Définition

Le Petit Robert définit la stabilité comme le caractère de ce qui tend à demeurer dans le même état. Pour une fusée, cela se traduit par sa capacité à garder une même direction (la direction initialement donnée par la rampe de guidage) durant son vol.

Lorsque la fusée respecte cette définition, nous pouvons dire qu'elle est stable et qu'elle répond à nos attentes en terme de performances.

On classe généralement les types de vol d'une microfusée en 3 catégories :

#### **Le vol instable**

Le vol instable se traduit par une trajectoire erratique à l'image du vol d'un ballon de baudruche dont l'orifice est laissé ouvert et qui est lâché. La fusée ne cesse de vouloir faire demi-tour. Cela se traduit par des loopings et sa course se finit irrémédiablement par un impact violent au sol qui peut causer la destruction de la fusée. La fusée ne va pas très haut et peut être dangereuse si l'on reste trop près de la rampe lors du décollage.

#### **Le vol stable**

C'est généralement ce type de vol que l'on cherche à produire. La trajectoire est nette et permet à la fusée d'exploiter au mieux ses performances. C'est de loin le plus sûr et le plus beau des vols.

#### **Un vol surstable**

La fusée est très sensible au vent. Cela se traduit par une oscillation de l'arrière de la fusée qui cherche en permanence à reprendre sa trajectoire. En cas de vent faible, la fusée a des performances atténuées par rapport à un vol stable. En cas de brise soutenue, la fusée remonte au vent et sa trajectoire de vol est fortement aplatie.

### ***Vers un vol stable***

Généralement, on cherche à obtenir un vol stable pour obtenir les meilleures performances. Les personnes possédant l'agrément microfusée et ayant expérimenté et lancé de nombreuses fusées ont pu dégager quelques règles générales permettant de prévoir si la fusée préparée aura le comportement attendu.

### ***Deux notions importantes***

La définition de deux notions est tout d'abord nécessaire pour comprendre le vol d'une fusée :

- le centre de gravité,
- le centre latéral de poussée.

#### **Centre de Gravité (CG) : définition**

Le centre de gravité d'une fusée est le point auquel tout le poids de la fusée pourrait être concentré : cela signifie qu'il y a autant de poids distribué en avant du centre de gravité de la fusée qu'en arrière. On parle aussi parfois de point d'équilibre.

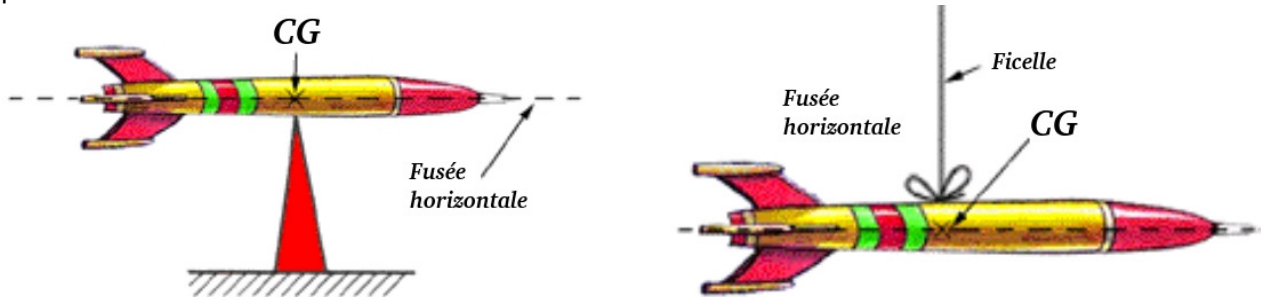
#### **Centre Latéral de Poussée (CLP) : définition**

Le centre latéral de poussée d'une fusée est le point sur lequel toutes les forces de pression de l'air agissant sur la fusée pourraient être concentrées. Cela signifie qu'il y a autant de forces de pression de l'air réparties en avant qu'en arrière de ce point.

*Note* : ce point est aussi appelé Centre de Poussée Aérodynamique (CPA) ou Centre de Pression (CP). Par souci de lisibilité, nous utiliserons CLP dans tout le document.

## Estimation de la position du centre de gravité

La méthode la plus simple consiste à équilibrer la fusée sur un support dont l'arête est vive ou en la passant à l'intérieur d'un nœud coulant.



Estimation du CG en posant la fusée sur une arête ou en la suspendant

### Remarques

- Pour déterminer le centre de gravité, il faut que la fusée soit en état de vol avec le propulseur, la bourre et le parachute en place.
- Le centre de gravité n'est pas fixe durant le vol, du fait de la perte de la masse de poudre consommée au fur et à mesure de la propulsion. Le déplacement sur l'axe reste cependant faible comparativement à la taille de la fusée.
- Pour ne pas laisser les mineurs manipuler un propulseur encore non utilisé lors de la mesure du centre de gravité, il est possible d'utiliser un propulseur inerte. Ce propulseur doit avoir la même masse que son homologue neuf et plein. Vous pouvez pour cela remplir de terre ou de sable un propulseur déjà utilisé. Pour connaître la masse des propulseurs, reportez-vous au tableau récapitulatif des caractéristiques des propulseurs (p 25).

D'autres moyens existent pour situer le centre de gravité, ils ne seront pas détaillés ici et nous faisons confiance à votre imagination pour exploiter les propriétés très particulières de ce point.

## Estimation du Centre Latéral de Poussée

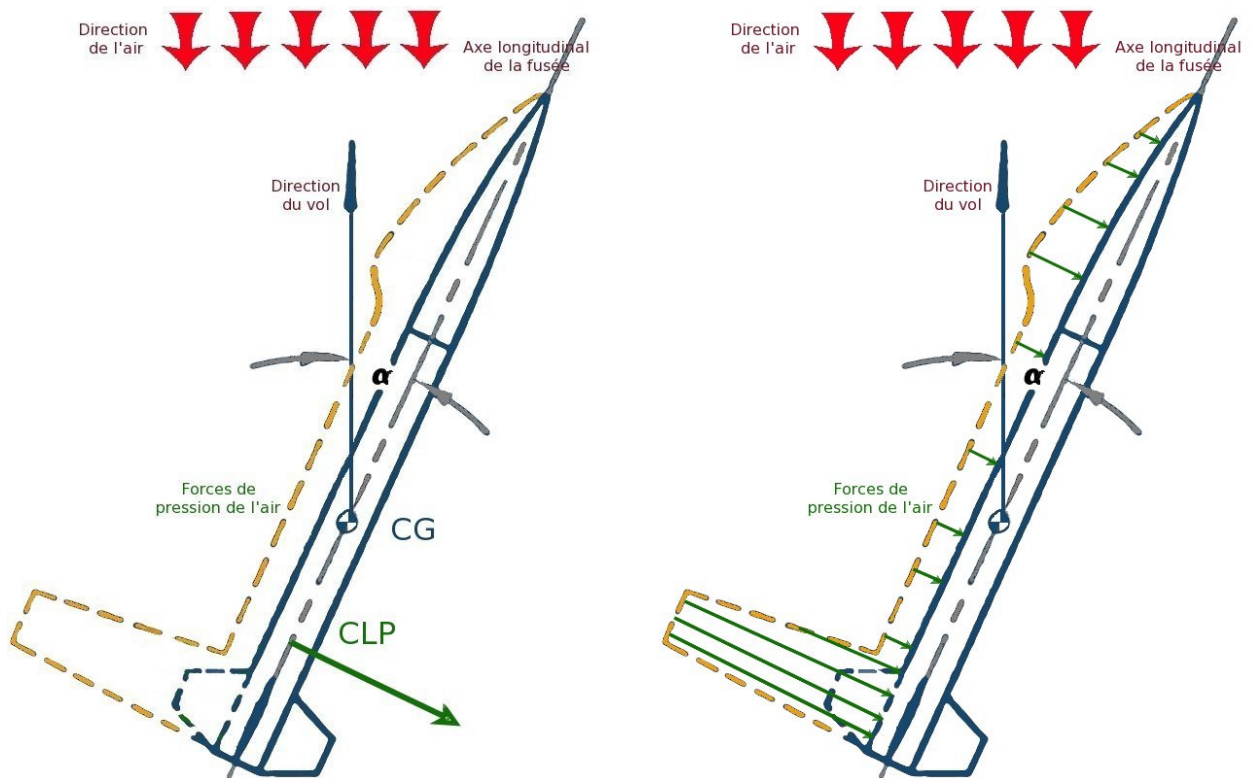
### Halte aux idées reçues !

Il n'existe pas de méthode simple pour déterminer, même de façon approximative, la position du CLP<sup>4</sup>. Des méthodes ont parfois été utilisées sans grandes justifications physiques, elles sont donc à proscrire car ne donnent pas de résultats suffisamment précis pour garantir une bonne prévision de la stabilité.

### Appréhender ce qu'est le Centre Latéral de Poussée et approcher sa position sur la fusée

Sur la figure ci-après, l'intensité des forces de pression de l'air qui sont réparties sur la longueur de la fusée et des ailerons est représentée par la longueur des flèches dessinées le long des flancs de la fusée. L'action de l'air sur les ailerons est très importante.

<sup>4</sup>Vous entendrez peut-être parler parfois de diverses méthodes qui permettraient d'approcher la position du CLP (méthode des petits carreaux par projection du profil de la fusée, méthode de la courbe selon les surfaces, méthode de la projection, etc.). Dans la majeure partie des cas, ces méthodes sont très approximatives et parfois les résultats sont éloignés du résultat attendu. Le meilleur moyen de se rendre compte que ces méthodes ne sont pas valides est de prendre quelques fusées et de comparer le point trouvé avec le résultat donné par les formules recommandées ci-après.



Représentation de l'action de l'air sur la fusée, issue d'essais en soufflerie

Supposons que la fusée forme un angle (grandement exagéré ici) avec la direction du vol et donc avec la direction de l'air qui s'écoule autour d'elle. On appellera cet angle, l'angle d'attaque (représenté ici par la lettre  $\alpha$ ) qui apparaît lorsque la fusée est "dérangée" (par exemple par une rafale de vent, le mauvais alignement de la poussée du moteur ou même par le braquage d'un aileron mal collé).

Un modèle réduit de fusée stable effectuera alors des corrections continues pendant son vol pour essayer de revenir à un angle d'attaque nul (pour minimiser la traînée), exactement comme une personne effectue des corrections manuelles constantes pour garder une trajectoire rectiligne en conduisant une voiture ou une bicyclette.



Remarquez que les forces de pression de l'air représentées ci-dessus sont toutes perpendiculaires à l'axe de la fusée. On les appelle forces normales agissant sur la fusée. Il y a aussi des forces axiales qui agissent parallèlement à l'axe longitudinal de la fusée. Bien que les forces axiales de pression de l'air (appelées traînée aérodynamique) soient importantes pour calculer les performances de la fusée, elles sont sans importance pour déterminer le CLP et la stabilité qui en résulte.

La distribution des forces normales représentée ci-dessus montre comment les forces agissent "réellement" sur un modèle réduit de fusée type, volant avec un angle d'attaque non nul.

Cependant, étant donné qu'il existe un point (le CLP) sur la longueur de la fusée où l'on a autant de forces normales en avant qu'en arrière de ce point, toutes les forces qui sont réparties sur la longueur de la fusée peuvent être additionnées en une force unique agissant seulement au CLP.

Cette somme de toutes les forces normales réparties le long de la fusée s'appelle la force normale (elle est représentée par la lettre  $N$  en général).

La force normale  $N$  est la force qui ramène la fusée à un angle d'attaque nul pour une fusée stable.

L'angle d'attaque selon lequel vole la fusée a un effet important sur la dimension et la forme de distribution des forces normales sur la fusée. A son tour, la forme de la répartition des forces normales détermine la position du CLP.

Des études ont montré que le CLP se déplace durant le vol. Il se rapproche de l'ogive lorsque l'angle d'attaque augmente. Cela est très intéressant car cela peut affecter la stabilité de la fusée. Cependant, étant donné que le déplacement du CLP reste faible au cours du vol, nous considérerons par la suite que le CLP est fixe.

### Conditions d'applications des formules permettant de calculer le CLP

Afin de modéliser mathématiquement la distribution des forces normales, les hypothèses d'applications des formules présentées ci-après pour trouver le CLP, s'énumèrent comme suit :

- l'angle d'attaque de la fusée est proche de 0 (inférieur à  $10^\circ$ ) ;
- la vitesse de la fusée est nettement inférieure à la vitesse du son (pas plus de 650 km/h) ;
- le vent agissant sur la fusée est régulier et ne change pas rapidement ;
- la fusée est mince par rapport à sa longueur ;
- le nez de la fusée se termine en pointe sans décrochement ;
- la fusée est un corps rigide, symétrique autour de son axe longitudinal ;
- les ailerons sont des plaques planes et minces.

En minifusée et en fusée expérimentale, des critères permettant de respecter les hypothèses ci-dessus ont été mis en place et nous les retrouvons dans les cahiers des charges respectifs. Ils peuvent être appliqués à la microfusée si vous souhaitez prévoir finement le vol de votre fusée. Certains de ces critères sont évoqués dans le paragraphe "Critères de stabilité", page 33.



## Méthode pour évaluer la position du CLP

Pour trouver le centre latéral de poussée (CLP) d'une fusée mono-étage, deux éléments sont à considérer :

- l'ogive,
- l'empennage.

Pour ces deux éléments, on détermine leur portance respective et la position<sup>5</sup> de leur propre centre latéral de poussée à l'aide des formules suivantes :

Détermination du centre latéral de poussée pour l'ogive :

Forme	Position du CLP de l'ogive
Conique	$X_{clp(og)} = \frac{2}{3} \times l$
Ogivale	$X_{clp(og)} = \frac{7}{15} \times l$
Parabolique	$X_{clp(og)} = \frac{1}{3} \times l$

Détermination du centre latéral de poussée pour l'empennage :

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

Détermination du coefficient de portance pour l'ogive :

$$CN(og) = 2 \quad \text{quel que soit l'ogive}$$

Détermination du coefficient de portance pour l'empennage :

$$CN_{(emp)} = 4Q \left( \frac{e}{D} \right)^2 \times \left( 1 + \frac{D}{2e + D} \right) \times \left( \frac{1}{1 + \sqrt{1 + \left( \frac{2f}{m+n} \right)^2}} \right)$$

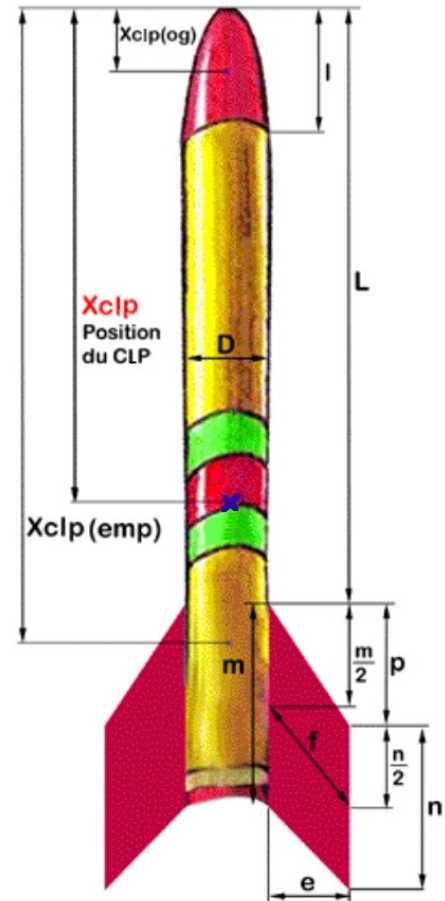
où Q est le nombre d'ailerons.

Lorsque vous avez ces 4 données, il vous reste à appliquer la formule suivante pour déterminer la position du CLP de la fusée dans son ensemble :

$$X_{clp} = \frac{X_{clp(emp)} \cdot CN_{(emp)} + X_{clp(og)} \cdot C_{N(og)}}{C_{N(emp)} + C_{N(og)}}$$

En pratique, le plus simple consiste à utiliser des logiciels de trajectographie qui intègrent ces formules et pour lesquels il suffit de rentrer les cotes de la fusée. Il en existe de nombreux, du plus simple au plus compliqué, du plus convivial au plus préhistorique. L'un d'entre eux est présenté dans cet ouvrage. Une programmation légère sur une calculatrice programmable est aussi envisageable et permettra d'éviter de refaire à chaque fois les calculs pour une nouvelle fusée.

<sup>5</sup>Toutes les distances sont mesurées sur un axe dont le haut de l'ogive est l'origine.

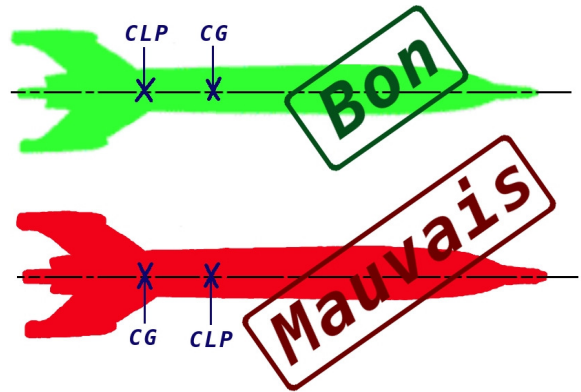
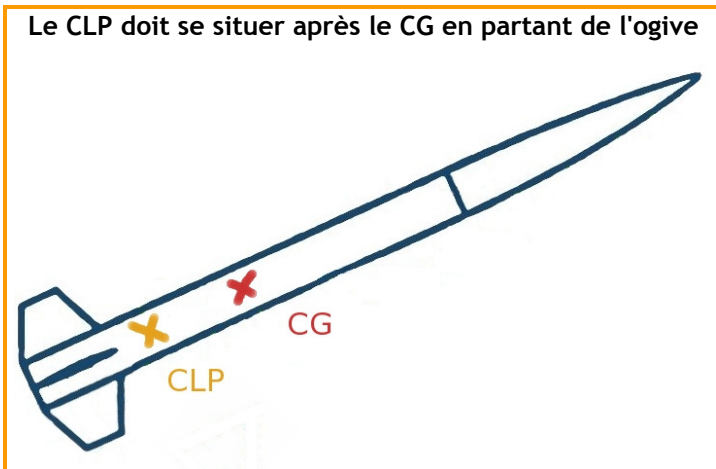




## Critères de stabilité

### Critère 1 : position relative du CLP et du CG

Le CLP doit se situer après le CG en partant de l'ogive

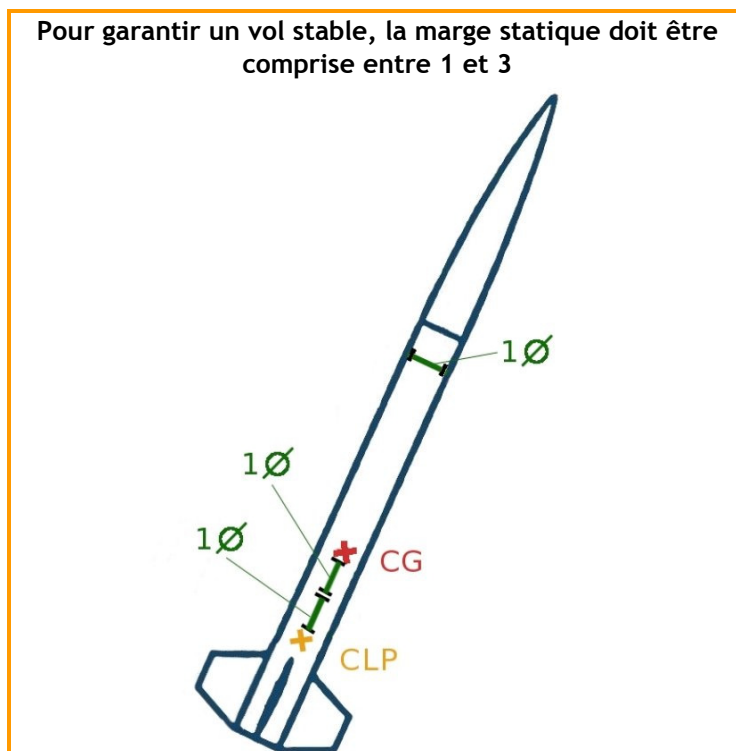


### Critère 2 : marge statique (MS)

#### Définition

La marge statique correspond à la distance mesurée, en nombre de diamètres de corps de la fusée, entre le centre de gravité (CG) et le centre latéral de poussée (CLP). L'unité de la marge statique s'exprime donc en nombre de diamètres.

Pour garantir un vol stable, la marge statique doit être comprise entre 1 et 3



### Critère 3 : le coefficient de portance

$$15 < C_n < 30$$

Le coefficient de portance  $C_n$  (sans unité) représente la tendance de la fusée à se rapprocher du comportement d'un avion. Plus ce coefficient sera grand et plus le comportement tendra vers un aéroplane ; les surfaces porteuses seront importantes et les ailerons très grands (un peu comme des ailes d'avion).

Pour trouver le coefficient de portance total de l'engin, il suffit d'additionner les coefficients de portance de chaque élément (ogive et empennage dont les formules ont été données ci-dessus).

### Critère 4 : la finesse de la fusée

$$10 < \text{Finesse} < 30$$

La finesse de la fusée traduit sa forme, c'est-à-dire si elle est trapue ou longiligne. Pour connaître la finesse, il faut diviser la longueur de la fusée par son diamètre.

$$\text{Finesse} = \frac{\text{longueur de la fusée}}{\text{diamètre de la fusée}}$$

Il convient de vérifier ce rapport pour s'assurer que les hypothèses énoncées dans le paragraphe "Conditions d'application des formules permettant de calculer le CLP" sont respectées, en particulier, la règle 4 : *la fusée est mince par rapport à sa longueur*.

### Conclusion

Ces critères sont issus de l'expérience ainsi que de formules et modélisations théoriques.

Toutes ces conditions sont restrictives. A priori, toute fusée qui respectera ces critères aura un vol stable. Par contre, ce n'est pas parce qu'une fusée ne respectera pas un ou des critères listés qu'elle ne sera pas stable.

### Cas de fusées plus complexes

Nous avons ici considéré le cas simple d'une fusée mono-étage. Si vous souhaitez estimer la stabilité d'engins plus complexes, il est recommandé de lire le document "Le vol de la fusée" disponible en téléchargement sur le site Internet de Planète Sciences.

## Evaluer la stabilité

Il existe plusieurs manières d'estimer la stabilité d'une fusée.

### Test de la ficelle

Le moyen le plus simple de tester la stabilité de votre fusée est de simuler le vol.

L'exercice consiste à attacher au centre de gravité de la fusée une ficelle et de la faire tourner au-dessus de votre tête (au minimum à 1 mètre de vous environ). Quelle que soit la position de départ de la fusée, celle-ci doit s'orienter dans le sens de la rotation, ogive vers l'avant. Un observateur vous aidera à statuer sur l'éventuelle stabilité. Ce test n'est pertinent que s'il est effectué avec un propulseur factice de masse identique à celle d'un propulseur neuf.



Un exercice très simple pour évaluer la stabilité d'une fusée



Pour d'évidentes questions de sécurité, il est important que la fusée soit fixée solidement à la ficelle et que la ficelle soit fermement maintenue par l'opérateur.

Dans la majeure partie des cas, vous devriez constater qu'il y a bien une cohérence entre le test effectué avec la ficelle et le vol réel. Cependant, vous rencontrerez peut-être quelques rares cas où, jugée instable après le test circulaire au sol, votre fusée effectue finalement un vol correct. Tenter d'en identifier les raisons est un exercice intéressant.

### Par logiciel

Il existe de nombreux logiciels permettant d'estimer la stabilité d'une fusée à partir de ses cotes et de la position de son centre de gravité (voir page 44 pour la présentation de Carina).

### Au jugé

Une manière empirique d'estimer la stabilité d'une fusée est de considérer que le CLP se trouve à la base des ailerons. Si vous avez besoin d'évaluer grossièrement et rapidement la stabilité, cette hypothèse peut vous dépanner lorsque vous n'avez pas d'autre moyen disponible sur l'aire de lancements par exemple.

Mettre la fusée en équilibre sur un doigt et positionner le CG vous permettra d'évaluer grossièrement la distance entre les 2 points.

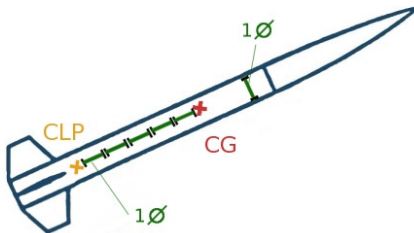


Cette méthode rapide s'applique principalement aux fusées "standards", c'est à dire celles avec 3 ou 4 ailerons positionnés en bas de la fusée.

## Description des différents types de vol

### Fusée stable

Vous êtes désormais capable de caractériser une fusée stable et, par déduction, une fusée qui ne l'est pas... En fait, plusieurs comportements peuvent être observés au cours du vol. Ils sont ici décrits.



### Fusée surstable

Ce cas résulte d'une trop grande marge statique, ce qui signifie que la fusée est très sensible au vent. Cela se traduit en vol, par une oscillation de l'empennage de la fusée qui cherche en permanence à reprendre sa trajectoire. La fusée a des performances atténuées. En cas de brise soutenue, la fusée remonte au vent. Dans ce cas, la trajectoire de vol est fortement aplatie et la fusée risque de sortir du gabarit de lancements.

#### Quelques explications complémentaires

*La force appliquée au CLP a un grand "pouvoir" de rappel à cause de sa distance au CG (autour duquel la fusée tourne). Cette force est appelée Force de rappel.*

*C'est le même phénomène que lorsque l'on tente de fermer une porte en la poussant à proximité de son axe de rotation ou au contraire en positionnant notre effort le plus loin de l'axe possible : dans le deuxième cas, l'effort à produire est plus faible.*

*Donc, pour reprendre l'exemple de notre fusée, dès qu'un écart à la direction initiale sera généré, la force de rappel corrigera "trop vivement" et enverra la fusée "de l'autre côté" du vent relatif. La fusée oscillera constamment sans jamais rejoindre l'équilibre et donc sa trajectoire initiale.*

### Fusée instable

Le vol d'une fusée instable se caractérise généralement par une trajectoire erratique à l'image du vol d'un ballon de baudruche.

Ce phénomène est dû à une marge statique trop faible ( $< 1$ ). C'est le cas notamment lorsque le centre de gravité se trouve en dessous du centre de poussée aérodynamique. Dans ce cas, la fusée ne cesse de vouloir faire demi-tour. Cela se traduit par quelques loopings et un atterrissage plutôt violent à quelques mètres de la rampe.

#### Quelques explications complémentaires

*La force de rappel étant plus proche de l'ogive que le CG lui-même, le moindre écart à la trajectoire se traduit par une amplification du phénomène. On parle généralement d'une fusée qui tente de se "mordre la tuyère".*

*On considère instables les fusées dont la marge statique est strictement inférieure à 1. En effet, la trop faible efficacité de la force  $N$  permet difficilement de corriger une trajectoire dérangée. Cependant, dans des conditions météorologiques clémentes, avec un engin proprement fini et pour une marge statique supérieure à 0, la trajectoire sera sans doute assimilable à une trajectoire de fusée stable et la fusée aura même des performances optimales, surtout si la marge statique tend vers 1.*

## Fusée astable (ou indifférente)

C'est le cas quand le centre de gravité est confondu avec le centre de poussée aérodynamique. La fusée est alors indifférente au vent. Seules les imperfections de l'éjection des gaz ou de construction de la fusée peuvent influencer son vol.

Ce type de vol se traduira par une trajectoire rompue suite à une perturbation. La nouvelle direction adoptée restera la même jusqu'à une nouvelle perturbation.

### Quelques explications complémentaires

*La force de rappel n'a aucune influence sur le vol, elle ne permet pas à la fusée de reprendre sa trajectoire initiale et reste dans le dernier état dans lequel elle a été mise.*

*Cette situation est plutôt rare car il faut rappeler que le CG se déplace légèrement sur l'axe durant le vol (le propergol se consumant, le centre de gravité de la fusée monte légèrement). La situation d'astabilité ne dure donc généralement pas.*

## Comment rendre une fusée stable ?

On l'aura compris, la stabilité est essentiellement régie par la position relative du CG et CP. Afin de ramener une fusée dans les critères de stabilité, deux actions sont possibles :

### Modifier la position du CG

Pour modifier la position du CG, il faut ajouter de la masse d'un côté ou de l'autre de l'objet ; le CG se déplace évidemment du côté de la masse ajoutée.

Techniquement, du plomb en feuille est très pratique dans ce genre de situation mais reste écologiquement très discutable si on perd la fusée. Du sable confiné dans un vieux propulseur est aussi une solution simple pour déplacer le centre de gravité.

### Modifier la position du CLP

Pour modifier la position du CLP, il sera nécessaire de modifier la répartition des surfaces le long de l'axe de la fusée. Vous pouvez :

- Augmenter le nombre d'ailerons ou le diminuer (rappelons que la fusée doit garder au moins 3 ailerons !).
- Modifier la forme et la surface des ailerons tout en restant dans la fourchette préconisée pour la valeur du coefficient de portance.
- Déplacer les ailerons, vers le haut ou vers le bas en fonction des besoins.

## Limites de ce chapitre

Ce chapitre a été rédigé dans un souci de simplification. Les différents paramètres qui régissent le vol d'une fusée sont évidemment plus complexes. Les simplifications proposées ne s'appliquent pas dans tous les cas mais sont conformes au cas des fusées dites "standards" (un tube avec propulseur et ailerons en bas).

Nous vous invitons à relire le paragraphe "Conditions d'application des formules", page 31 pour bien cerner ce que l'on entend par fusée standard.

# LANCEMENT DES MICROFUSEES

Toujours attendu avec impatience et anxiété, le lancement est évidemment un moment important dans l'activité.

## Avertissement



5, 4, 3, 2, 1, feu !

L'ensemble des procédures de mise en œuvre de microfusées est détaillé durant un agrément microfusée.

Les pages suivantes sont un aide-mémoire rappelant les règles principales.

### Le responsable des lancements

*L'adulte responsable des lancements et possédant un agrément microfusée est garant :*

- de la vérification du matériel,
- de la validation du terrain et des distances de sécurité,
- du respect des procédures de mise en œuvre et des conditions de lancements.

## Démarches administratives préalables

Dans la plupart des cas, les microfusées ne dépassent pas 100 m d'altitude. Sauf zone exceptionnelle (proximité d'un aéroport, d'un terrain militaire, région parisienne...), aucune autorisation n'est à obtenir auprès de l'aviation civile pour des évolutions d'engins en dessous de 150 m d'altitude.

Dans les villes, ce plafond est même généralement de 300 mètres d'altitude.

Ainsi, la seule autorisation nécessaire pour pouvoir lancer des microfusées, est l'**autorisation du propriétaire du terrain** sur lequel les fusées sont mises en œuvre. Il est obligatoire d'obtenir un **accord écrit** du propriétaire.

### Cas des fusées multi-étages

*Certaines microfusées (multi-étages) peuvent dépasser le plafond de 150 m d'altitude. Dans ce cas, il appartient à la personne agréée, responsable des lancements ou à l'organisateur des lancements, de faire le nécessaire auprès de l'aviation civile. N'hésitez pas à contacter Planète Sciences qui peut vous assister pour ce type de démarches, heureusement relativement rares.*

La plupart des lancements de microfusées sont effectués dans le cadre de campagnes de lancements "privées", c'est-à-dire pour lesquelles il n'y a pas de communication par voie de presse (radio, journaux). Cependant, certains lancements sont effectués dans le cadre de manifestations publiques. Dans ce cas, une demande écrite est à faire auprès de la préfecture. Servez-vous de ce présent document pour expliquer l'activité.

### Présence de public

**Manifestation publique :** une campagne de lancements est considérée comme publique si l'événement a été annoncé par voie de presse, radio ou autre support non ciblé. Le terme "publique" ne dépend pas du nombre de personnes mais de la manière dont est faite la promotion avant ou durant la campagne (par exemple : information de la manifestation dans le journal local, balisage et fléchage des abords de la campagne...). Vous devez prévenir la Préfecture au plus tard 45 jours avant l'événement si la campagne de lancements est à caractère public.

**Manifestation privée :** une campagne est dite privée si les personnes présentes sont invitées nominativement ou de façon ciblée (toute une classe par exemple).

**Dans tous les cas, les seuls lancements de microfusées ne rentrent pas dans le cadre d'une manifestation aérienne.**

### Choix de l'aire de lancements

Différents facteurs sont à prendre en compte dans le choix d'un terrain de lancements :

- ▶ la gamme de propulseur utilisé et le type de projet (projet d'initiation simple ; bi-étage...),
- ▶ le dégagement de la zone au-dessus du terrain (absence de ligne haute tension...),
- ▶ la visibilité de l'ensemble du terrain,
- ▶ la possibilité d'accueillir du public,
- ▶ l'éloignement suffisant des lieux d'habitation ou d'une zone dangereuse (station essence...).



*Un terrain de foot convient parfaitement aux lancements*

Très souvent, les lancements de microfusées s'effectuent sur un terrain de football ou une surface dégagée équivalente.

Pour certains projets spéciaux (multi-étages), une surface plus grande peut être nécessaire.

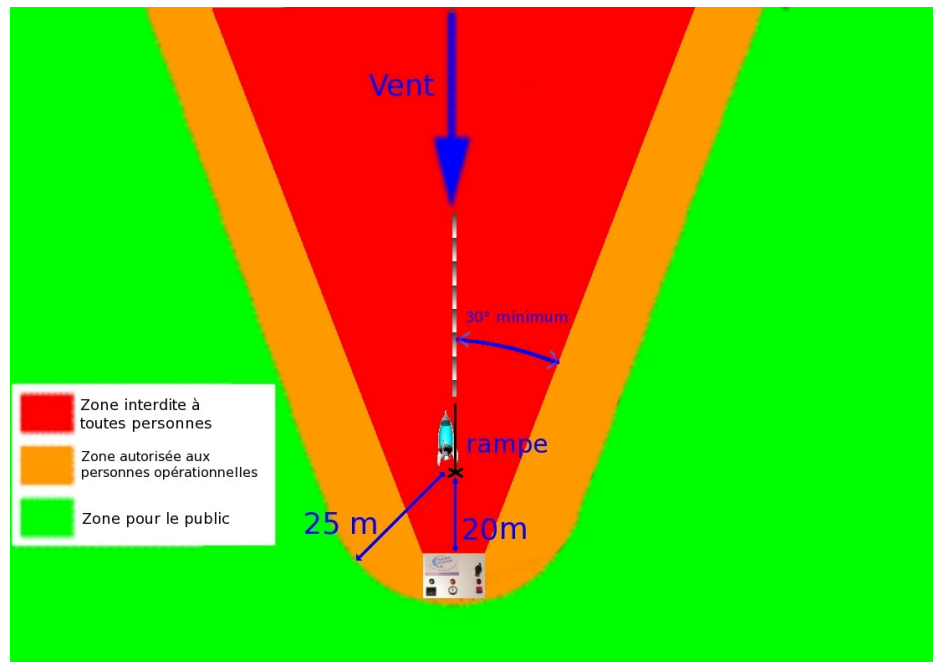
De même, certaines fusées peuvent être lancées sur des surfaces plus petites.



*Mise en rampe d'une bi-étage lors d'un agrément microfusée*

Il faut ensuite respecter le gabarit de lancements. Celui-ci sert à déterminer les zones interdites au public, la zone pour le lanceur, pour le pupitre, etc.

Si une personne venait à entrer dans la zone non autorisée lors d'un lancement, la mise en oeuvre doit être immédiatement interrompue.



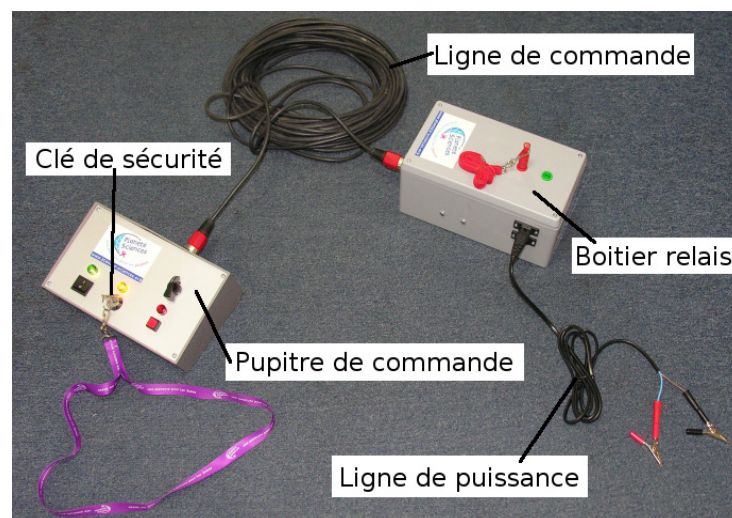
La circulaire 86-340 du 19 novembre 1986 **interdit des lancements à moins de 150 m de biens immobiliers**. Cette distance est majorante pour des propulseurs de classe C. Aussi, si vous avez évalué précisément les portées balistiques de vos fusées, que vous n'utilisez que des propulseurs A ou que les fusées sont très lourdes, vous pouvez prendre l'initiative, en toute sécurité et en fonction de la configuration du terrain, de lancer parfois sur des surfaces ne répondant pas expressément à la circulaire 86-340. Le bon sens et l'expérience vous aideront à juger d'une potentielle dérogation.

## La chaîne électrique de mise à feu

### Principe de fonctionnement de l'ensemble de la chaîne de mise à feu

Pour garantir des lancements en toute sécurité, la mise à feu de microfusées doit impérativement se faire à distance et nécessite une chaîne électrique régie par des règles de sécurité à respecter :

- l'allumage doit se faire par fermeture manuelle d'un contact électrique ;
- la distance de sécurité est de 20 mètres au minimum entre la rampe et le pupitre de lancements (25 mètres entre la rampe et le public) ;
- le pupitre de mise à feu doit posséder un coupe-circuit de sécurité empêchant tout allumage intempestif pendant la mise en oeuvre du propulseur.



Vue d'ensemble d'une chaîne de mise à feu

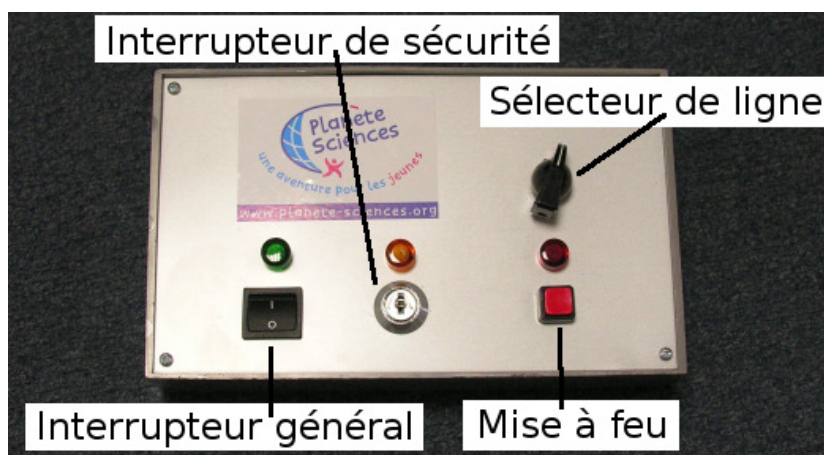


Aucune commande automatique ou électronique de mise à feu n'est autorisée. La personne habilitée responsable des lancements doit pouvoir intervenir sur le déroulement des opérations jusqu'à la dernière seconde.

Le document intitulé *Principe et utilisation d'allumeurs à fil résistif en microfusée* dans sa version de juin 2006 détaille le principe de fonctionnement d'une chaîne électrique de mise à feu. Reportez-vous à ce document pour plus de détails.

### Le pupitre de commande

Pour permettre à la personne agréée d'intervenir jusqu'au dernier moment sur le lancement, le pupitre de commande doit être équipé d'une clé de sécurité constamment en possession du lanceur.



### La ligne de commande

D'une longueur de 20 m au minimum, elle permet de transmettre le signal électrique de mise à feu au relais contenu dans le boîtier relais et de libérer la puissance de la batterie-relais.



### Le boîtier relais

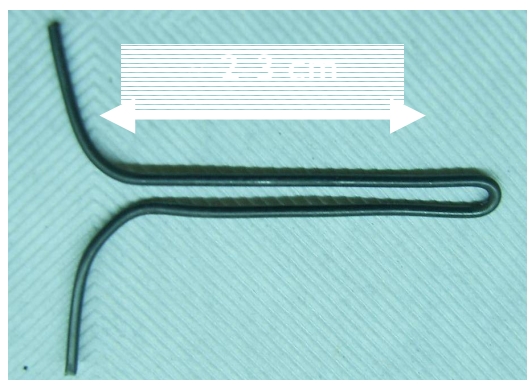
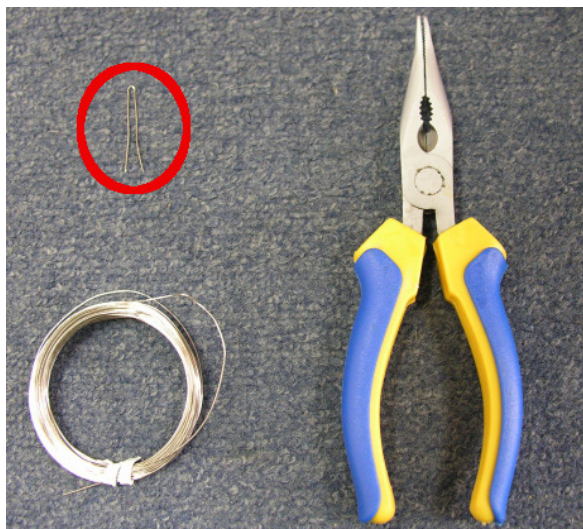


Ce boîtier est nécessaire pour fournir suffisamment de puissance électrique pour faire fondre le fil résistif introduit dans le propulseur et permettre au propergol de brûler.

Etant donné que ce boîtier contient une source d'électricité importante, il est nécessaire de l'équiper d'une barrière. C'est la raison pour laquelle une prise de sécurité a été intégrée : la personne agréée insère la prise mâle pour fermer le circuit comme précisé par la chronologie de mise en œuvre.

## L'allumeur

Le fil résistif se trouve généralement sous forme de bobine dont le diamètre du fil qui la compose peut varier légèrement.

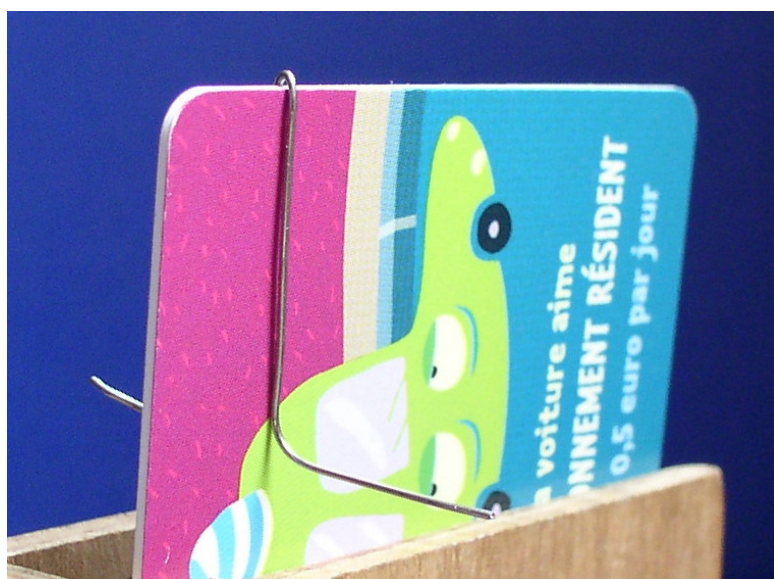


Pour gagner du temps, vous pouvez préparer à l'avance les morceaux de fil résistif que vous utiliserez lors de la mise en oeuvre. Dans tous les cas, il vous est conseillé d'effectuer le pliage du fil comme sur le schéma ci-dessus, sur une longueur supérieure à 2 cm.

Nous vous conseillons de découper des fils d'une longueur minimum totale de 4 cm.

### Astuce

*Pliez votre fil sur une carte de téléphone ou de crédit. Vous aurez ainsi le bon écartement entre vos deux extrémités d'allumeur à connecter aux pinces crocodile.*



*Astuce de pliage du fil résistif*

## La mise à feu

Nous vous demandons de respecter la chronologie de mise à feu ci-dessous pour garantir une sécurité optimum.

Conditions préalables	Action
Vous êtes au niveau de la rampe, muni des clés de sécurité. Le public est dans sa zone, informé du déroulement des opérations. Le Boîtier Relais est en position sécurité (clé/prise du boîtier relais sortie).	Mettez en place le fil résistif dans le propulseur pour vérifier la compatibilité.
Vous vérifiez que le fil résistif se positionne parfaitement à l'intérieur de la tuyère.	Retirez-le du propulseur. 
Vous êtes toujours au niveau de la rampe muni des 2 clés/prise de sécurité. Le public est dans sa zone, informé du déroulement des opérations. Le Boîtier Relais est toujours en position sécurité (clé/prise sortie).	Mettez en place les pinces crocodiles sur le fil résistif (en dehors du propulseur pour éviter l'accident en cas de défaut de la ligne de mise à feu).
Le fil résistif est connecté aux pinces crocodiles et l'ensemble est éloigné du (ou des) propulseur(s) ainsi que de tout opérateur (50 cm au moins).	Retirez la position de sécurité du Boîtier Relais : introduisez la clé/fiche pour fermer le circuit interne du boîtier.
Le fil résistif ne s'est pas allumé.	Remettez en place le fil résistif dans le propulseur. Attention à bien caler l'allumeur (en le tordant par exemple) pour ne pas qu'il tombe sous le poids des pinces. 
Tout est en place pour le lancement.	Rejoignez le pupitre (toujours avec la clé du pupitre de commande avec vous).
La zone est dégagée, le public est prêt, attentif et debout.	Vous commencez le compte à rebours à 5 au minimum.
Durant le compte à rebours, aucun événement ne survient pour empêcher le lancement	Vous « autorisez » le lancement en tournant la clé ; le jeune appuie sur le bouton de mise à feu lorsque le compte à rebours arrive à 0.

En cas de non feu (pas de décollage), il est nécessaire de retirer la clé et d'attendre 20 secondes pour, soit redérouler la chronologie jusqu'au décollage, soit intervenir au niveau de la rampe.

Dans le cas d'un départ normal, attendez que la fusée se soit posée avant d'autoriser tout mouvement de personnes.

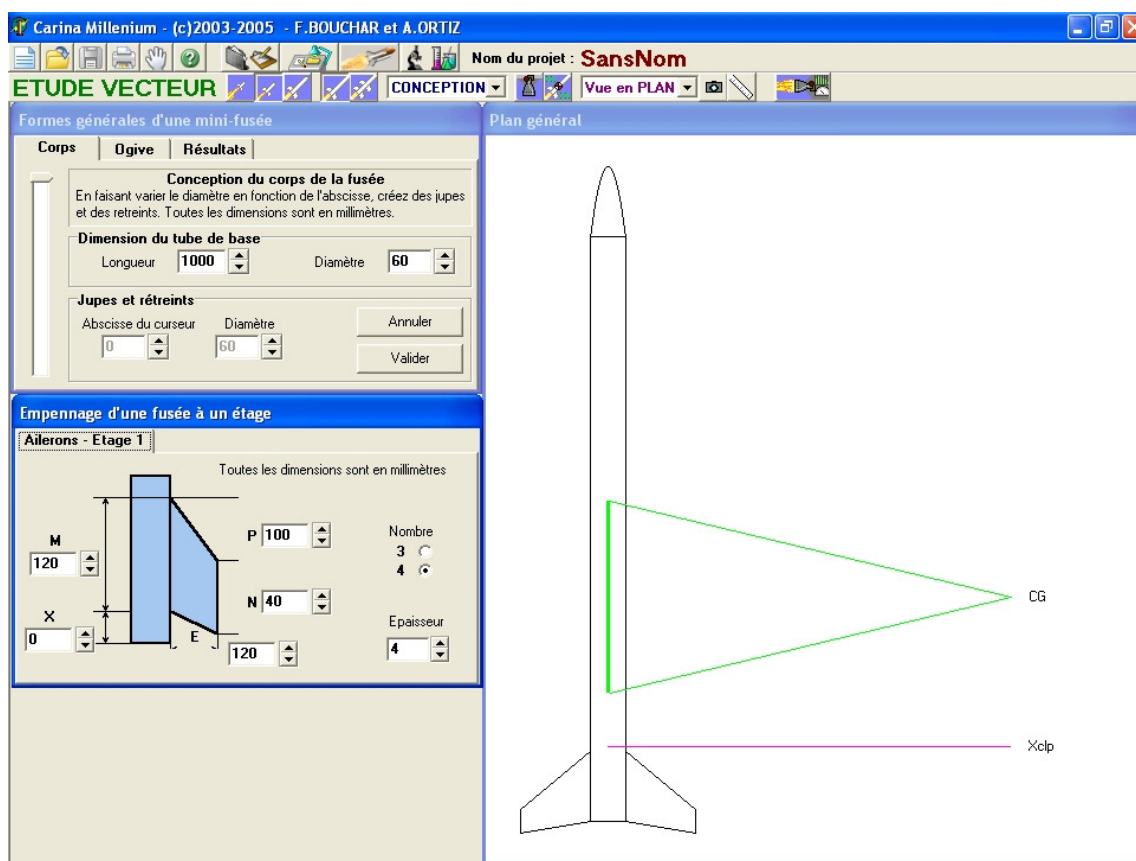
## Carina : un logiciel gratuit de conception de fusées amateurs

Planète Sciences a mis au point ce logiciel<sup>6</sup> pour permettre une approche plus didactique de la stabilité des fusées.

Vous pourrez concevoir, sur papier, des fusées simples et estimer leur stabilité. De plus, un volet *Trajctographie* vous permet aussi d'évaluer les performances théoriques de votre fusée (altitude, vitesse, portée balistique, etc.) et de dérouler la cinématique d'un vol.

Le logiciel est téléchargeable sur le site Internet de Planète Sciences dans la section *Publications* du secteur Espace. Vous trouverez après installation, un document décrivant le fonctionnement du logiciel. Vous pouvez aussi obtenir une version cédérom en adressant une demande au secteur Espace de Planète Sciences.

Ce logiciel est évolutif et se doit de répondre au mieux aux besoins des utilisateurs : n'hésitez pas à nous faire part de vos remarques.



Capture d'écran de Carina, version 6

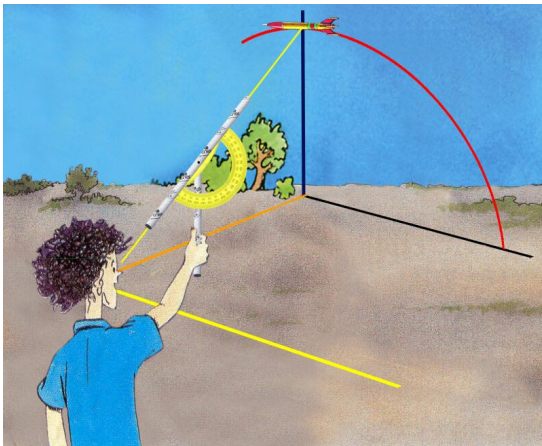
<sup>6</sup> Ce logiciel a été développé par Frédéric Bouchar, membre actif du réseau Planète Sciences.

## Le théodolite

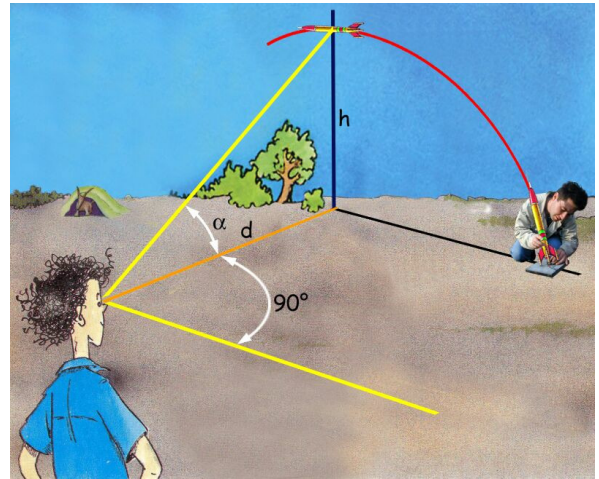
### Principe

Un théodolite est un appareil de mesure d'angle. Dans notre cas, nous nous intéressons à l'angle entre le point de départ de la fusée et la fusée dans le ciel, à son apogée.

Avec plusieurs théodolites répartis autour du terrain de lancements, on peut ainsi évaluer l'altitude de culmination d'une fusée.



Utilisation du théodolite pour mesurer l'altitude de culmination d'une fusée



### Comment s'y prendre

Pour obtenir des résultats pertinents, il faut un minimum de trois observateurs, placés suffisamment loin du point de culmination présumé (environ à la même distance de la rampe que l'altitude estimée de façon théorique).

Chacun des observateurs se répartit autour du point de lancement, tout en respectant les distances de sécurité préconisées. Avec son théodolite, il suit la fusée pendant la phase ascensionnelle jusqu'à son apogée.

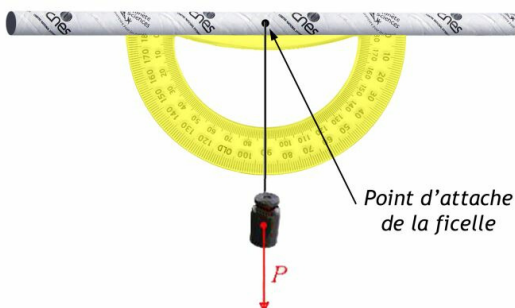
Lorsque que la fusée commence à redescendre, il immobilise son théodolite et lit la valeur d'angle inscrite.

L'altitude se déduit ensuite par la formule :

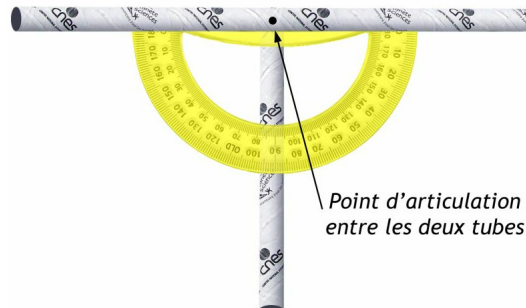
$$h = d \times \tan(\alpha)$$

Avec  $d$  la distance au sol qui sépare l'observateur de la fusée et  $\alpha$  la mesure d'angle donnée par le théodolite. Les 3 points de mesure permettent de compenser en partie les erreurs dues à la montée non verticale de la fusée.

### Fabrication d'un théodolite



Point d'attache de la ficelle



Point d'articulation entre les deux tubes

Deux exemples de théodolites à fabriquer soi-même

## La soufflerie

La soufflerie permet de créer un vent régulier dirigé vers la fusée, simulant ainsi son déplacement dans l'air.

Son utilisation peut s'avérer pratique si l'on souhaite étudier les paramètres de la fusée sans pour autant avoir besoin d'un terrain pour en lancer.

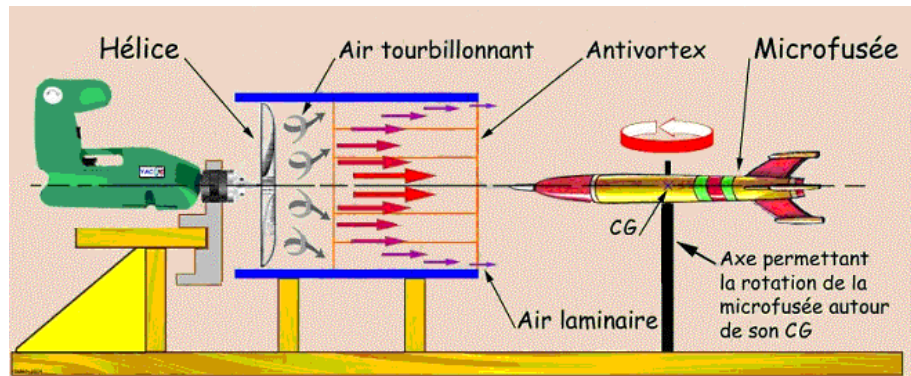


Schéma de principe d'une soufflerie de table

Il est possible de réaliser une soufflerie de table en utilisant une perceuse et une hélice de ventilateur. Cela représente cependant un gros investissement et nécessite temps, matériel et compétences techniques. Des précautions sont également à prendre afin de garantir la sécurité (notamment une bonne fixation de l'hélice).

## Mesure de vitesse

On peut également se donner pour objectif de mesurer la vitesse de la fusée au début du vol à l'aide d'un caméscope.

L'opération consiste à faire décoller la fusée parallèlement à une règle graduée en segment de 10 cm, de filmer le vol et de visionner la bande, image par image.

Il faut compter le nombre d'images ( $N_i$ ), entre le décollage et la sortie de la règle, et le nombre de graduations franchies ( $N_g$ ) pendant ce laps de temps.

Le format standard vidéo étant de 25 images par seconde, une image correspond à 0,04 s de vol.

La formule de la vitesse est :

$$v = \frac{d}{t}$$

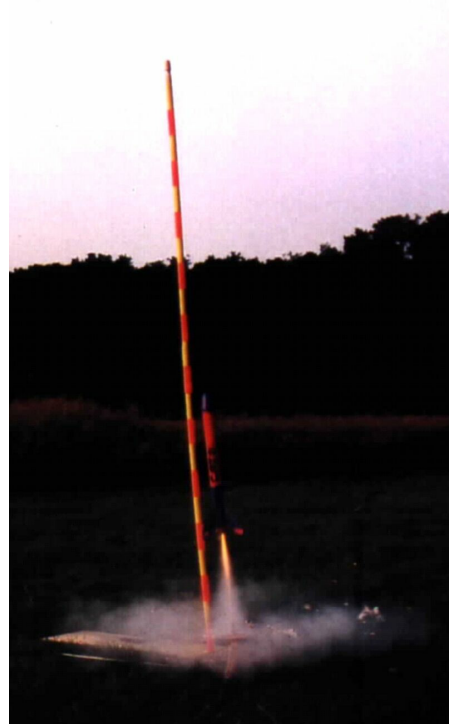
v en m/s  
d en mètre (m)  
t en seconde (s)

avec notre système de mesure, cela donne en m/s :

$$v = \frac{0,1 \times N_g}{0,04 \times (N_i - 1)}$$

$(N_i - 1)$  représente le nombre d'intervalles.

La méthode permet une bonne approximation de la vitesse sur la distance visualisée.



Capture d'image d'une séquence de lancement de microfusée

## Objectifs des projets "spéciaux"

Un animateur microfusée doit être capable d'accompagner les jeunes dans des projets plus sophistiqués, dits "spéciaux". Il peut leur en faire la proposition ou répondre à une demande de leur part.

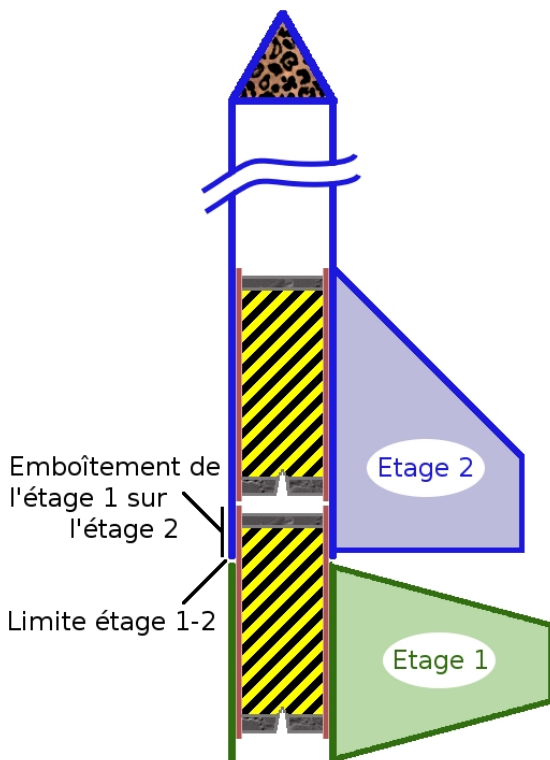
Ces projets doivent être l'occasion d'aider les jeunes à mettre en pratique une démarche expérimentale et à travailler en équipe pour atteindre les objectifs fixés. Plusieurs défis techniques peuvent être stimulants :

- faire monter la fusée le plus haut possible ;
- permettre d'embarquer une charge utile lourde ;
- embarquer une expérience ;
- avoir un système de récupération original ;
- etc.

## Microfusée multi-étages

Chaque étage d'une microfusée multi-étage est constitué :

- d'un tube emboîté sur le moteur de l'étage inférieur ou supérieur ;
- d'un moteur ;
- généralement d'ailerons.



Une fusée est dite multi-étages lorsque, durant son vol, elle largue une partie de sa masse devenue inutile.

- On appelle premier étage, l'étage du bas dont le propulseur est mis à feu en premier.
- On appelle second étage, l'étage suivant... et ainsi de suite.

### Difficultés techniques

La réalisation d'une microfusée multi-étages comporte 2 difficultés :

- il faut garantir la stabilité durant tout le vol. Pour d'évidentes raisons de sécurité, une microfusée multi-étages doit être stable et ce, dans toutes les configurations ;
- il faut réussir l'allumage, durant le vol, des propulseurs des étages supérieurs.

## Garantir la stabilité de chaque élément

La difficulté réside dans le fait que chaque combinaison d'éléments en vol doit être stable :

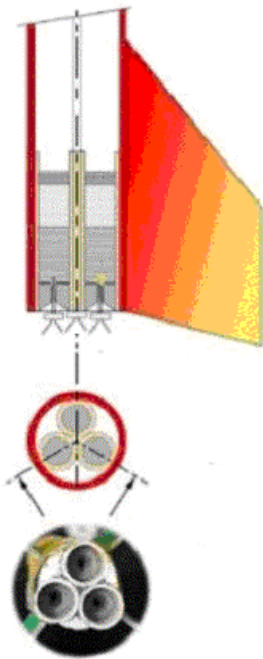
- la fusée complète (2 étages assemblés),
- le dernier étage seul (étage du haut).

En effet, si l'on se contente de stabiliser uniquement le second étage ou l'ensemble de la fusée, le vol n'est pas entièrement maîtrisé et la fusée peut retomber dans une zone non désirée.

### Attention

*Une microfusée multi-étages peut atteindre une altitude de culmination supérieure à 100 m. En cas d'instabilité, elle peut se diriger vers le sol, moteur supérieur allumé. Il est donc vivement conseillé d'augmenter les distances de sécurité habituelles. Sur ce sujet, reportez-vous au chapitre "Lancement des microfusées", page 38.*

## Microfusées multipulseurs



Répartition des propulseurs pour une fusée trimoteurs

### Définition et objectifs

Il est possible de réaliser des microfusées propulsées par plusieurs propulseurs allumés simultanément. Pour des raisons de stabilité, il convient de répartir les propulseurs de manière symétrique autour de l'axe longitudinal de la fusée. Cette technique est principalement utilisée pour embarquer plus de masse.

### Difficultés techniques

Le risque lié à ce type de microfusée est qu'un des propulseurs ne s'allume pas ou qu'il s'allume en retard par rapport aux autres. Ceci a pour conséquence de faire dévier la fusée de la trajectoire souhaitée. Plus les propulseurs seront éloignés les uns des autres, plus ce phénomène sera sensible.

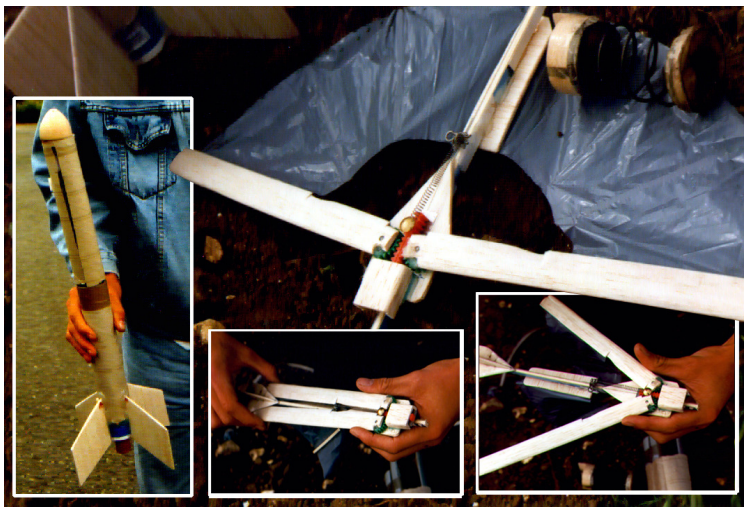
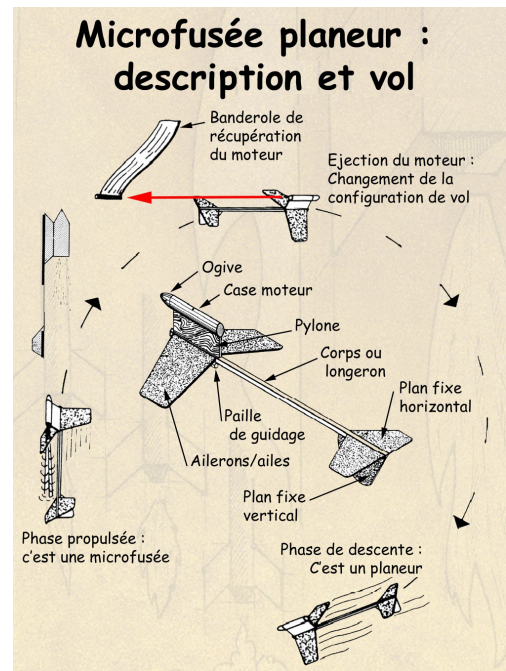
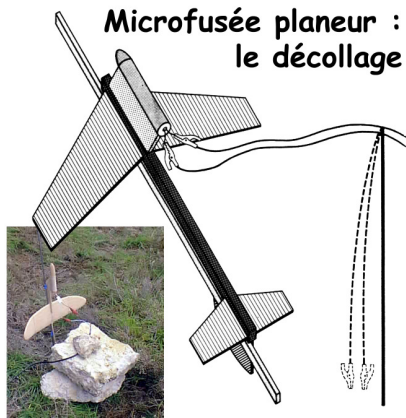


## Planeurs

L'objectif, lorsqu'on réalise un planeur est de permettre un retour au sol en douceur après la phase propulsée sans qu'un parachute ait été embarqué.

Deux techniques existent pour réaliser un planeur en microfusée :

- planeur à géométrie variable,
- planeur propulsé.



Le mode de transport du planeur par une microfusée peut se faire de deux manières différentes :

- le planeur embarqué sur la microfusée ;
- les ailes dépliantes embarquées dans la microfusée.

*Un exemple de planeur dans une microfusée*



*Quelques exemples de planeurs*

# AGREMENT MICROFUSEE

## L'agrément microfusée

La microfusée est une activité ouverte à tous. Depuis 1986, les micropropulseurs sont en vente libre dans le commerce (à toute personne de plus de 16 ans pour les propulseurs de classe K1 et aux personnes majeures pour les propulseurs K2).

Cependant, malgré cette vente libre des micropropulseurs, le CNES et Planète Sciences estiment que leur mise en œuvre ne peut se faire sans une **formation adaptée** : "l'agrément microfusée". Ainsi, tous les lancements de microfusées réalisés sous l'égide du CNES et de Planète Sciences sont encadrés par un animateur formé qui a le devoir de respecter l'ensemble des règles rappelées dans ce document.

Planète Sciences s'appuie sur ses délégations territoriales et le réseau associatif des Francas pour organiser chaque année une vingtaine de sessions d'agrément microfusée.

**Au sein du réseau Planète Sciences, l'agrément microfusée est obligatoire pour mettre en œuvre des micropropulseurs.**

La circulaire JPA, CRIDOC E-512 qui concerne la réglementation en séjours de vacances mentionne le CNES et Planète Sciences comme référents de l'activité.

La formation, d'une durée minimale de 25h00, passe en revue les points suivants :

- sécurité,
- rôle et responsabilité de l'agréé,
- construction de microfusées
- méthodes de travail,
- données théoriques,
- pédagogie,
- rôle des partenaires.

L'agrément est valable 5 ans « reconductible » ; c'est-à-dire que pour prolonger sa validité pour une nouvelle période de 5 ans, la personne agréée adresse un courrier à Planète Sciences mentionnant le fait qu'elle souhaite prolonger son agrément, en précisant ses éventuelles nouvelles adresses postale et mail.

En retour, Planète Sciences informe l'agréé des modifications réglementaires ou techniques majeures qui auraient été mises en place en renvoyant le cas échéant, la documentation correspondante.



## Responsabilités et assurances

Les activités concernant les lancements de microfusées sont couvertes par deux contrats d'assurances :

- **Une police "responsabilité civile" contractée par Planète Sciences auprès de la MAIF.**  
Ainsi, toutes les personnes qui disposent d'un agrément microfusée et qui sont à jour de leur cotisation Planète Sciences ou Francas sont couvertes en responsabilité civile, sous réserve de respecter les consignes de sécurité présentées lors du stage de formation agrément microfusée.  
Ainsi, les dégâts matériels causés par le propulseur (explosion, retombée balistique de la fusée...) sont pris en charge par l'assurance de Planète Sciences.  
La responsabilité pénale d'un animateur peut être engagée en cas de faute grave avérée, notamment dans les cas de "mise en danger" de jeunes.
- **Une police d'assurance "activités générales" à souscrire par l'association organisatrice de l'activité.**  
Afin de couvrir les autres périodes de l'activité (atelier de réalisation des fusées, sortie en plein air d'un groupe d'enfants...).

### Définitions

*La responsabilité civile est le fait de savoir qui est responsable pour lui faire réparer les dommages causés. Une assurance est généralement contractée pour se substituer à la personne responsable en cas de sinistre.*

*La responsabilité pénale vise à désigner la personne à l'origine d'une infraction pénale (délit, crime) et à la sanctionner.*

## Quelques règles...

Comme pour toute activité, il est nécessaire, pour celui qui pratique la microfusée, de suivre des règles qui fixent un cadre cohérent et sûr. Ce dernier s'inscrit dans le respect des réglementations françaises et européennes, qui sont indispensables mais non suffisantes pour organiser l'activité microfusée.

Aussi, Planète Sciences et le CNES définissent-ils quelques règles de fabrication :

- d'une part pour donner à l'activité un caractère et un sens pédagogique marqué,
- et d'autre part pour toujours limiter au maximum les risques d'accident.

Ces règles font appel au bon sens et n'ont pas pour objet de limiter la création ni l'expérimentation propre à cette activité. Bien au contraire, elles permettent de définir un cadre fiable dans lequel les personnes qui pratiquent cette activité pourront s'épanouir et évoluer régulièrement.



## Règles principales

### ➤ OBLIGATION

Une microfusée doit toujours posséder un système ralentisseur.

### ➤ QUELQUES INTERDITS

Une microfusée n'embarque pas :

- d'être vivant ou mort ;
- de produit nocif ou dangereux pour ses utilisateurs et l'environnement ;
- d'objet contondant ou tranchant ;
- de métal (on tolère le plomb en feuille, bien pratique pour expérimenter), d'où l'importance de la récupération.

On n'expérimente pas sur :

- la sécurité ;
- le micropropulseur.

### ➤ QUELQUES REGLES CONCERNANT LE LANCEMENT

On ne lance pas de microfusée :

- de nuit ;
- sur un terrain inférieur aux dimensions données par le gabarit de lancements ;
- avec une inclinaison par rapport à l'horizontale inférieure à 60 degrés et supérieure à 85 degrés ;
- si la visibilité n'est pas totale sur l'ensemble du gabarit ;
- à partir d'un véhicule.



Fusée "souris"

## Intérêts pédagogiques

Les intérêts pédagogiques de la microfusée sont multiples. Elle permet :

- d'acquérir des techniques de construction : travail du carton, du bois, collage, réalisations de plans, etc.
- d'appliquer une démarche expérimentale qui inclut diverses phases pratiques (contact, découverte, expérimentations, projet),
- d'approcher concrètement des notions de physique : pesanteur, action-réaction, aérodynamique, mécanique, etc.
- des prolongements vers l'électricité (système d'allumage) ou la géométrie (mesure d'altitude),
- le travail en équipe, la répartition des tâches, l'évaluation de la faisabilité d'une expérience,
- d'aborder des notions de sécurité, de réglementation face aux risques.

La microfusée est un vecteur extraordinaire d'ouverture sur les questions spatiales mais est aussi une activité de loisirs grâce à son caractère spectaculaire, ludique et accessible à tous. En effet, il est exceptionnel pour un enfant de 8 ans par exemple, de pouvoir expérimenter sur un objet dont la vitesse dépasse 200 km/h et qui met en jeu des propulseurs qui ne sont pas sans danger, s'ils sont mal utilisés.

L'objectif principal pour un adulte qui mène cette activité passionnante avec des jeunes est de les accompagner, sous une forme ludique, dans toutes les étapes. Il doit leur permettre d'acquérir des connaissances, des méthodes, des attitudes qu'ils sauront réinvestir plus tard, de manière autonome. Il s'agit de les amener, avec confiance et bienveillance, à construire peu à peu leur propre savoir.

Cette démarche est applicable quelle que soit l'activité scientifique et/ou technologique.

La microfusée est un formidable terrain de mise en pratique de la démarche pédagogique hybridant démarche expérimentale, démarche de progression par phases et démarche de projets.



*Dernière phase de construction*

La démarche pédagogique généralement mise en œuvre repose sur une démarche active du jeune dans sa découverte du thème proposé. Selon la durée et le type d'intervention, les activités vont de la simple sensibilisation à la réalisation et au suivi d'un projet.

Les trois outils principaux de la démarche scientifique sont :

- la démarche de progression par phase,
- la démarche expérimentale,
- la démarche d'élaboration de projet de jeunes.

Voici un descriptif succinct de ces démarches et une version possible de leur mise en œuvre et de leur interprétation. Il y a diverses possibilités d'adaptation selon le thème abordé, le public et son niveau de technicité.

### ***La démarche de progression par phases***

Il s'agit d'un outil pédagogique au service de l'animateur pour l'aider à atteindre un objectif auprès des jeunes. Il s'en sert pour construire la trame générale du projet d'animation sur toute la durée de l'activité. Il est nécessaire qu'il y ait une progression dans l'atteinte d'un objectif (qu'il soit scientifique, ou non). Cette progression permet aussi de définir des objectifs intermédiaires rapidement évaluables, permettant de réajuster en temps réel la conduite de l'animation et son contenu.

Cette démarche s'articule généralement autour de 3 phases :

- phase 1 : phase de sensibilisation (ou phase contact ou phase d'immersion).
- phase 2 : phase d'expérimentation (ou phase d'apprentissage).
- phase 3 : phase de valorisation ou phase d'approfondissement.



*La microfusée, terrain d'expérimentation*

### **PHASE 1 : PHASE DE SENSIBILISATION**

C'est le moment essentiel où l'on suscite l'intérêt, le questionnement à travers des observations spontanées ou provoquées, une situation ou un contexte mis en place par l'animateur.

Cette immersion, qui se construit autour de jeux sensoriels, de découvertes et de manipulations ludiques, de mise en questionnement par le jeu ou la construction, fera émerger des désirs et des interrogations que l'animateur devra être capable de saisir, de formaliser et d'exploiter.

Cette phase n'a pas pour but de favoriser l'acquisition de notions techniques et scientifiques mais de "donner envie".

Cette phase privilégie les questionnements du jeune.

Enfin, cette étape permet généralement à l'animateur de prendre la mesure de la représentation du jeune sur tel ou tel phénomène.

### **PHASE 2 : PHASE D'EXPERIMENTATION**

C'est la phase où l'on exploite l'engouement des enfants afin de mettre en place un cadre qui leur permet d'appréhender des notions, des techniques et surtout de méthodes.

Il faut guider les enfants pour qu'ils répondent de la façon la plus autonome possible aux questions qui ont émergé lors de la première phase.

Il ne s'agira pas d'imposer des apports théoriques. La découverte d'une méthode est ici privilégiée sur le partage de savoirs purs. Cette phase ne doit pas être l'occasion de faire se succéder des séquences d'acquisition notionnelle ou technique.

En outre, le travail en groupe sera favorisé ainsi que l'écoute et l'échange, le respect des idées et des propositions des uns et des autres. Cela contribue à la socialisation des enfants et des adolescents.

A l'issue de cette phase, les enfants se seront enrichis de connaissances scientifiques et techniques certes, mais surtout de savoir-faire qu'ils pourront réinvestir à travers un comportement investigateur pour résoudre de nouveaux problèmes de manière autonome.

Durant cette phase, le jeune émet des hypothèses et les expérimente. C'est là qu'il vit pleinement une démarche expérimentale qu'il pourra reproduire naturellement dans des situations ultérieures.

### **PHASE 3 : PHASE DE VALORISATION**

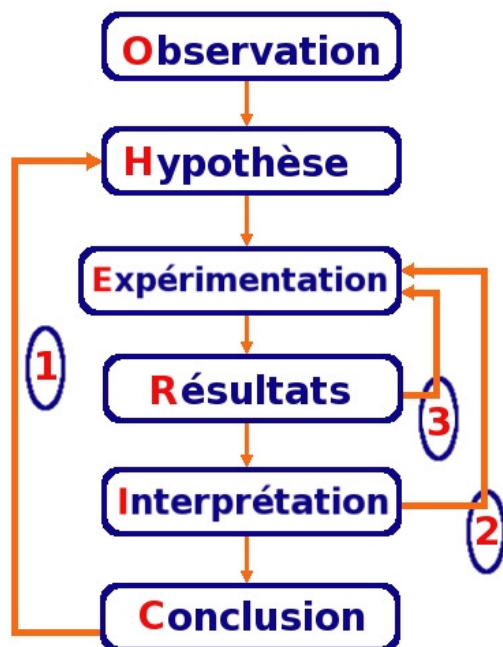
Cette phase est celle qui va mettre en valeur et concrétiser les acquis et découvertes des deux phases précédentes. Elle est l'aboutissement concret des objectifs exprimés dans le projet pédagogique (autonomie, enfant acteur de son savoir...). Il s'agit généralement de faire aboutir un projet scientifique et technique conséquent et complexe.

Cette phase n'est réellement possible que si les premières phases ont elles-mêmes atteint leur propre objectif.

Les enfants ont leurs idées, leurs objectifs, leurs rêves. Dans le cadre d'une animation à caractère scientifique et technique, ils ont pu acquérir les outils techniques, notionnels et comportementaux pour enfin réaliser ici, en autonomie leur projet, né des phases précédentes.

## La démarche expérimentale

La démarche expérimentale peut s'expliquer de diverses façons. Elle peut se traduire en terme d'attitudes ou en terme d'actions. L'important est de structurer logiquement les étapes dans une démarche d'investigation. La façon la plus courante de formaliser la démarche expérimentale est la suivante :



**OBSERVATION** : première étape de la démarche expérimentale, l'observation d'un phénomène est formulée sous forme d'une question.

*Exemple : pourquoi ma microfusée a-t-elle mal volé ?*

**HYPOTHESE** : réponse hypothétique envisagée à la question formulée.

*Exemple : c'est peut-être à cause de la position des ailerons.*

**EXPERIMENTATION** : mise en place d'une expérience devant permettre de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse émise. Cela induit aussi la mise en place préalable d'un protocole le plus précis possible (isolement de paramètres).

*Exemple : je vais faire 5 fusées toutes identiques. La seule différence sera la position des ailerons. Je vais les coller à 5 positions différentes, du bas de la fusée jusqu'en haut. Je vais les lancer et observer leur vol.*

**RESULTATS** : les résultats obtenus nécessitent parfois des mesures complémentaires de la même expérience (boucle 3). L'hypothèse doit rester la même : la position des ailerons.

*Exemple : seules les 2 fusées avec les ailerons en bas ont eu un vol correct. Je vais peut être refaire une série de fusées pour connaître plus précisément la position des ailerons à partir de laquelle la fusée commence à avoir un vol non correct.*

**INTERPRETATION** : analyse et critique des résultats pouvant aboutir à une conclusion ou à une nouvelle expérimentation (boucle 2).

*Exemple : peut-être que les résultats seraient différents avec une autre taille d'ailerons.*

**CONCLUSION** : conclusion générale prenant en compte toutes les expériences et les résultats obtenus. Elle permet l'élaboration d'une réponse consolidée à l'observation initiale (boucle 1). Le projet s'achève alors, sauf si la réponse à la question n'est pas complète. Dans ce cas, on restreint les hypothèses et on expérimente une nouvelle fois.

*Exemple : pour avoir un vol correct, ma fusée doit avoir les ailerons en bas. Mais la forme des ailerons change-t-elle aussi le vol de la fusée ?*

### O.H.E.R.I.C.

On utilise souvent l'acronyme OHERIC comme moyen mnémotechnique afin de se rappeler la chronologie des différentes phases : Observation, Hypothèse, Expérimentation, Résultat, Interprétation et Conclusion.



## La démarche de projet

Il est nécessaire de se donner des objectifs opérationnels qui constitueront des étapes. Ce découpage en éléments simples permet ainsi un contrôle continu sur l'avancée d'un projet et est un outil pour évaluer et maîtriser le projet jusqu'à son terme.

L'évaluation des moyens (temps, compétences, matériel, financement...) et la répartition des tâches sont des points importants qu'il faudra éclaircir et qui définissent cet outil de démarche expérimentale.

Cette démarche s'inspire du monde industriel et professionnel. Cette logique est reproduite, de manière simplifiée à l'échelle de la microfusée pour guider les jeunes tout au long de leur projet.

### L'avant projet

- L'étude de faisabilité des idées de projets, élaboration de cahiers des charges.
- Le choix des projets qui seront élaborés.
- La constitution des équipes de projets.

OBJECTIFS : réflexion, choix et affinement d'objectifs, apport de méthodes, formulation et mise en route des projets.

ROLE DES PARTICIPANTS : travail en équipe, prise de décisions, critique, autonomie, respect des idées d'autrui.

ROLE DES ANIMATEURS : suivi des équipes, "recentrage", réorientation, affinement des objectifs, "gestion" du groupe.

### Le projet

- Approfondissement pour chaque projet des objectifs, du plan d'organisation, des investigations.
- Organisation des équipes, préparation des tâches, respect des contraintes et du cahier des charges.
- Réinvestissement de la démarche expérimentale.
- Synthèse des résultats, des expérimentations ou des investigations.

OBJECTIFS : acquisition des méthodes, pertinence des choix. Actions suivant la méthode expérimentale.

ROLE DES PARTICIPANTS : activité en équipe, autonomie, interactions entre projets.

ROLE DES ANIMATEURS : suivi des équipes, coordination, analyse et critique constructive du fonctionnement des groupes, apport de solutions.

### Après le projet

- Valorisation des projets.

OBJECTIFS : mise en forme des résultats, expression des acquis, synthèse intergroupes.

ROLE DES PARTICIPANTS : échanges, réflexion, bilan critique, synthèse, préparation du réinvestissement.

ROLE DES ANIMATEURS : évaluation des acquis, analyse et critique des démarches et des conclusions, préparation du réinvestissement.



En microfusée, la valorisation du projet est souvent le moment du lancement.

La valorisation se concrétise aussi lorsque les jeunes exposent et expliquent leur projet à un public.

## Une démarche transversale de sécurité

A tout moment durant le déroulement de cette activité avec les jeunes, la sécurité doit être présente. Des dangers n'existent pas que sur l'aire de lancements ou lors de la manipulation des propulseurs.

Ainsi, il est très important que l'animateur agréé organise, avec les jeunes, l'atelier pour la construction. Ensemble, il est pédagogiquement intéressant de réfléchir aux conséquences de tel ou tel aménagement de l'espace de travail et de se poser la question des dangers que recèle potentiellement tel ou tel outil. L'agréé est donc garant du respect des règles de sécurité à tout moment : **de l'atelier à l'aire de lancements !**

Par son attitude réfléchie et posée, il instaurera un climat de confiance pour les diverses personnes impliquées et saura expliquer, dans la majeure partie des cas, les décisions prises.

## Donner un sens à l'activité

Exposées comme elles le sont ci-dessus, ces démarches peuvent sembler quelque peu « artificielles » et surtout difficiles, pour le nouvel agréé, à transposer de la théorie à la pratique face à un groupe de jeunes.

Cependant, en fonction du temps qui sera accordé à l'activité, la préparation du projet par l'animateur (en particulier quel public ? quels objectifs ?) permettra sans aucun doute de mieux appréhender les étapes importantes par lesquelles il souhaitera passer et celles pour lesquelles il laissera de l'autonomie aux jeunes. De là, les démarches s'imbriqueront de manière plus ou moins naturelle au gré des besoins.

Il est généralement rassurant pour l'animateur nouvellement agréé de « suivre » une démarche formalisée au risque de la rendre un peu artificielle. Cependant, soyez rassuré, avec l'expérience, l'animateur acquiert de l'assurance, s'adapte plus facilement aux attentes des jeunes qui deviennent plus autonomes.



Accompagner le jeune

HISTORIQUE.....	60
LISTE DE MATERIEL.....	62
DONNEES TECHNIQUES .....	63
POLITIQUE SAUVEGARDE ET ANALYSE DES RISQUES .....	64
PROCEDURES ET DOCUMENTATIONS APPLICABLES .....	68
LE CNES ET LES JEUNES.....	75
PLANETE SCIENCES.....	76



**A la fin des années 50**, la fabrication artisanale de propulseurs (souvent à l'aide de vieux obus datant de la guerre, récupérés dans les champs) et les lancements de fusées expérimentales sans contrôle administratif, provoquent des accidents.

Le 7 août 1962, la circulaire n° 490 du Ministère de l'intérieur interdit la fabrication, la détention et la mise en œuvre des propulseurs sans contrôle administratif.

Le CNES est missionné pour proposer aux jeunes des propulseurs fiables et des moyens de mise en œuvre. Il délègue à l'ANCS (Association Nationale des Clubs Scientifiques), ancêtre de Planète Sciences, le recensement des projets, leur suivi et la mise en place d'une campagne de lancements.

Le 8 mai 1967, l'ANCS est agréée par le Ministère de la Jeunesse et des Sports.

**Fin des années 60**, le constat est que l'activité est peu développée. Elle coûte cher et ne touche pas beaucoup de personnes (moins de 40 fusées lancées chaque année). Une à deux campagnes de lancements sont mises en place chaque année.

La recherche d'un vecteur plus abordable, plus simple dans sa mise en œuvre et permettant d'encourager les initiatives et les envies aérospatiales est donc amorcée.

**Début des années 70**, arrivée de micropropulseurs en France, venus des Etats-Unis.

Après quelques essais, il apparaît évident que cette activité possède les qualités suivantes :

- ludique,
- peu chère,
- facile à réaliser (public jeunes),
- pas trop dangereuse (contraintes de sécurité faibles).

Le seul problème reste l'approvisionnement des propulseurs, non vendus en France et importés uniquement par le CNES via des procédures lourdes et longues.

L'ANSTJ qui souhaite développer cette activité sollicite alors le CNES pour établir un cadre de pratique contrôlé ainsi qu'un approvisionnement contrôlé des micropropulseurs.

**Début de l'agrément microfusée.** L'ANSTJ met en place des formations afin de préparer des animateurs compétents, capables d'assurer la réalisation et le lancement de microfusées avec des jeunes. En contre partie, le CNES autorise la pratique de cette activité pour les animateurs habilités et couvre les lancements par son assurance. Dans un premier temps, c'est également le CNES qui fournit les micropropulseurs importés des Etats-Unis ou de l'Europe de l'Est.

1977, l'ANCS (devenue entre temps Association des Clubs aéroSpatiaux) devient Association Nationale Sciences Techniques Jeunesse (ANSTJ).

L'ANSTJ a très vite délégué son habilitation de formation microfusée à d'autres organismes d'éducation populaire. C'est le cas de la Ligue de l'enseignement (LFEEP) et des Francas dans les années 80.

Aujourd'hui encore, les Francas continuent à être habilités à encadrer des formations d'animateurs microfusées et à délivrer des agréments reconnus par le CNES.

**Octobre 85**, le CNES donne pouvoir à l'ANSTJ de pratiquer (fabrication et lancements) l'activité.

Cette autorisation 388 du 7 octobre 1985 officialise la délégation de pouvoir du CNES pour l'ANSTJ.

La circulaire n° 85290 du 2 décembre 85 vient compléter la circulaire 490 du 7 août 1962. Le Ministère de l'Intérieur officialise l'ANSTJ comme relais pour les jeunes sur les activités fusées en France.

Le 19 octobre 1986, suite à une plainte de monopole sur la vente de micropropulseurs, le Ministère de l'Intérieur fait paraître la circulaire n° 86-340 sur la réglementation de l'astromodélisme (modèles réduits de fusées). Ce document rappelle les règles de sécurité liés aux micropropulseurs. Mais surtout, il légalise la vente libre de propulseurs à des personnes majeures ou des jeunes de 16 ans et plus munis d'une procuration parentale.

Suite à cette circulaire, l'agrément microfusée n'a plus eu de caractère obligatoire pour pratiquer l'activité puisque le CNES n'en a plus le contrôle exclusif.

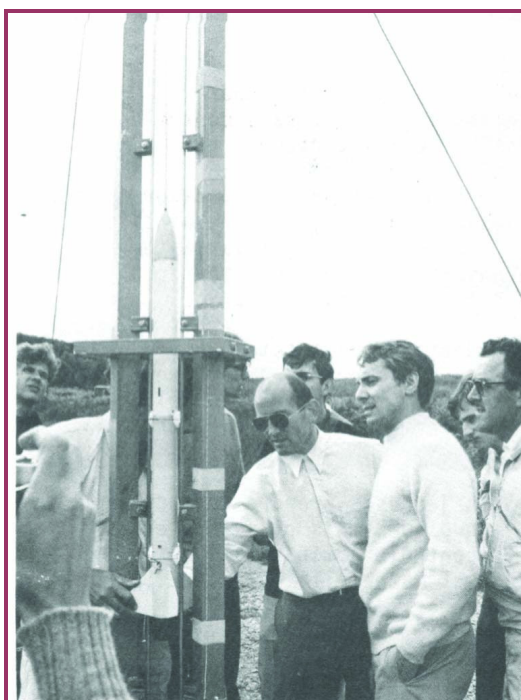
Le CNES et l'ANSTJ décident cependant de maintenir cette formation et de continuer à défendre les principes de sécurité qui ont amené à la mise en place de l'agrément microfusée.

L'article E512 du JPA / CRIDOC traite de la législation relative à la pratique de l'activité microfusée (et fusées à eau) en centre de vacances. La notion d'agrément n'est précisée qu'implicitement.

Dans les faits, l'agrément microfusée est pratiquement systématiquement demandé par les organisateurs dans tous les cadres de pratique de l'activité avec des jeunes.

Le décret 90-897 du 1<sup>er</sup> octobre 1990 et l'arrêté du 24 février 1994 du Journal Officiel donne lieu à une note du Ministère de l'industrie et de l'aménagement du territoire. Cette note traite de la réglementation des artifices de divertissement, prenant en considération les micropropulseurs.

En 2003, le CNES et Planète Sciences ont mené des travaux de remise à jour de l'ensemble des activités aérospatiales de jeunes, en particulier la microfusée. Le document que vous avez entre les mains intègre les conséquences techniques et les nouvelles règles de sécurité issues de ces travaux.



*Juillet 1970, premier essai du propulseur Faon (minifusée)*

# LISTE DE MATERIEL

Voici un exemple de liste de matériel minimum nécessaire pour une séance d'animation microfusée avec 10 jeunes :

DESIGNATION	Quantité	Utilisation
Tube de carton - 20 mm de diamètre intérieur	10	Fabrication
Planche de Balsa	4	Fabrication
Tasseau de Balsa 25 mm x 25 mm	4	Fabrication
Lunettes de sécurité	4	Fabrication
Masque de protection	4	Fabrication
Perceuse à main	2	Fabrication
Support de perceuse	2	Fabrication
Pistolet à colle avec recharges	7	Fabrication
Cutter avec cornière de protection 20 mm x 20 mm + lames rechange	7	Fabrication
Plaque de protection de table	5	Fabrication
Multiprise électrique	3	Fabrication
Règle plastique	4	Fabrication
Crayon à papier	10	Fabrication
Taille crayon	2	Fabrication
Gomme	5	Fabrication
Feuille de papier	100	Fabrication
Coton	1 paquet	Fabrication
Elastique	20	Fabrication
Ficelle fine	2 bobines	Fabrication
Paille - 5 mm de diamètre	10	Fabrication
Papier abrasif	20	Fabrication
Ruban adhésif	2 rouleaux	Fabrication
Sac poubelle	3	Fabrication
Vis à bois longueur 40 mm minimum	3	Fabrication
Scie à métaux (pour tasseau de balsa)	1	Fabrication
Boîte à ongles	1	Fabrication
Pinceau et peinture ou feutres	5	Décoration
Propulseur avec allumeur	11	Lancement
Allumeur	20	Lancement
Rampe de lancement - tige métallique 4 mm de diamètre	1	Lancement
Planche support rampe	1	Lancement
Pupitre de mise à feu avec batterie chargée et ligne de mise à feu	1	Lancement
Brosse métallique	1	Lancement

## Attention

*La liste proposée n'est pas exhaustive. Suivant les lieux, les moyens, les situations dans lesquelles vous vous trouverez, il ne sera pas toujours possible de trouver l'ensemble du matériel. Qu'importe, chaque élément n'est pas irremplaçable. Seul le propulseur est incontournable pour la réalisation d'une microfusée. Avec un peu d'imagination et de débrouillardise, vous saurez toujours trouver un substitut aux éléments manquants.*

## Classification

Il existe deux catégories pour les produits contenant des matières actives :

- les « explosifs », régis en France par le décret 96-1046 du 28/10/96 (qui est la transposition française de la directive CE/93-15 du 5 avril 1993) ;
- les « articles pyrotechniques », régis en France par le décret 90-897 du 1<sup>er</sup> octobre 1990.

Les propulseurs Planète Sciences/OPITEC sont homologués en France par l'INERIS comme articles pyrotechniques - sous-catégorie "artifices de divertissement". N° OPI/MF/244/96

Propulseur	Classe	Impulsion totale	Poussée maximale	Temps de poussée	Masse de poudre	Certification INERIS	Numéro ONU 0431 Classe de risque (pour transport) 1.4 G
A (8-3)	K1	2,5 N.s	14 N	0,32 s	4,2 g	AD/MF/60328	
B (4-4)	K1	5 N.s	13 N	1,2 s	6 g	AD/MF/60329	
C (6-3)	K2	10 N.s	13,5 N	1,7 s	12,5 g	AD/MF/60330	

Il existe des assimilations de classement dans d'autres catégories voisines :

Division de risque : 1.4 C ou 1.4 S    Numéro ONU : 0351 ou 0432

La classification artifices de divertissement, contient 4 sous-catégories (K1, K2, K3 et K4) dépendant principalement de la masse de poudre et des conditions de mise en œuvre.

Ainsi, les micropropulseurs A et B appartiennent à la classe K1. Les propulseurs C appartiennent à la classe K2.

*Extrait de l'arrêté du 26 septembre 1980 (suite au Décret pyro 79-846 du 28/9/79) sur les classements des artifices de divertissement :*

	Qui peut les acheter ?	Qui peut les manipuler ?	Classification en terme de matière active, calibre, etc.	Remarques
K1	Vente autorisée aux plus de 16 ans	Pas de formation obligatoire	Matière active < 10g Pétard < 3g Pas de projections perforantes > 50 cm	Ne doivent pas être confondus avec des jouets ou des produits alimentaires. Soumis à agrément technique et marquage obligatoire indiquant : - désignation générique et commerciale de l'artifice - numéro de classement - numéro d'agrément - précaution d'emploi à respecter
K2	Vente interdite aux mineurs	Pas de formation obligatoire	Matière active < 100g Diamètre < 65mm Altitude de fonctionnement > 12m	Soumis à agrément technique et marquage obligatoire indiquant : - désignation générique et commerciale de l'artifice - numéro de classement - numéro d'agrément - mention « vente interdite aux mineurs » - précaution d'emploi à respecter

# POLITIQUE SAUVEGARDE ET ANALYSE DES RISQUES

L'ensemble des fusées réalisées et mises en œuvre lors des activités Planète Sciences / CNES sont régies par des conditions de pratiques et des procédures strictes dans le cadre d'une politique sauvegarde commune.

L'objectif est de garantir la pratique dans les meilleures conditions de sécurité.

Pour chaque opération, l'agréé microfusée est chargé de veiller à l'application des règlements, règles et procédures en vigueur. Il peut solliciter l'avis des responsables sauvegarde de Planète Sciences et du CNES en cas de besoin.

## *Une constante amélioration de la sécurité*

Planète Sciences tient à jour une base de données des incidents survenus lors des lancements.

L'agréé a le devoir d'informer Planète Sciences par le biais de compte-rendu. Cela pour permettre aux responsables sauvegarde, assistés du comité technique permanent et aux services responsables des activités jeunesse, de juger des conséquences de ces incidents sur les règles qui s'appliquent aux activités concernées.

## *Analyse des risques d'une microfusée*

La microfusée, comme toute activité, comporte des risques. La présence de matière active notamment constitue une spécificité particulière à analyser avec attention.

Cette analyse de risques est basée sur :

- la Méthode Organisée et Systémique d'Analyse de Risques (MOSAR),
- la Méthodologie d'Analyse des dysfonctionnements dans les systèmes (MADS),

Ces deux méthodes sont couramment utilisées dans le milieu industriel pour identifier et prévenir les risques.

## *Analyse du système*

### **Le matériel**

- Le propulseur
- La poudre
- La rampe de lancement
- La ligne de mise à feu
- Le pupitre de contrôle
- L'inflamateur
- Les moyens de transport pyrotechniques (véhicules)
- Les zones de stockage pyrotechnique (caisse à propulseurs, emballages,...)
- L'atelier de finition
- Le matériel de finition (marteau, tournevis...)
- Les matériaux de finition (graisse pour la rampe, peintures...)
- Le matériel de communication (talkie-walkie)



## Les moyens

- Stockage
- Transport
- Intégration
- Finalisation
- Allumage
- Neutralisation
- Zonage
- Conditions météo
- Chronologie finale
- Compte rendu
- Assurance

## Les lieux

- Le terrain
- L'environnement : le sol, l'espace aérien, les installations, habitations, biens et personnes physiques autour du terrain
- Le lieu d'accueil et d'hébergement des jeunes

## Les effectifs

Les opérateurs :

- L'agréé microfusée
- Les organisateurs Planète Sciences
- Les collectivités de jeunes : classes, clubs, enfants
- Les accompagnateurs : enseignants, animateurs

Les membres inactifs :

- Le public

Les autres intervenants :

- Employés Planète Sciences

## Les entités

- Le CNES
- L'Association Planète Sciences
- Les Clubs
- Le Ministère de L'Education Nationale
- Le Ministère de la Recherche et de la Technologie
- Le Ministère de la Défense
- Les Préfectures
- Les Mairies
- La MAIF
- L'assurance CNES
- L'INERIS
- La Police Municipale
- La Poste

## Autres

- La convention CNES/Planète Sciences
- Les responsabilités civiles

## *Identification des sources de dangers*

- Le propulseur
- L'atelier
- La rampe
- Le local de stockage pyrotechnique
- L'inflammateur
- Les enfants (collectivité de jeunes)

## Identification des scénarii de danger

Système source (quoi)	Effet (risque, danger)	Système cible (sur qui)	Barrière Cause (protection avant)	Barrière effets (protection après)	Réglementation*	Documents applicables	Conformité
Propulseur en stockage permanent	Explosion Incendie Utilisation malveillante	Environnement Autres Intervenants Personnel de l'entreprise	Prévention incendie Accès limité sous surveillance Protection contre les malveillances	Distance sécurité	Réglementation pyrotechnique (voir annexe)	Etude sécurité pyrotechnique site de stockage	
Propulseur en transport	Explosion Incendie Utilisation malveillante	Environnement Autres Intervenants Personnel de l'entreprise			Réglementation ADR (Accord pour le transport de marchandises Dangereuses par Route)	Fiche de données de sécurité	Titre de transport Fiches de données de sécurité.
Propulseur en stockage journalier	Incendie Projection Autopropulsion	Environnement Public Opérateurs	Confinement dans un local de stockage (Accès limité, incendie..)	Distance sécurité Barrières Balisage	Réglementation pyrotechnique		Autorisation préfectorale pour la manifestation publique si nécessaire
Le propulseur en intégration	Incendie Projection Autopropulsion	Environnement Public Opérateurs	Règles générales (accès prévention incendie, orages..) + règles opératoires + formation opérateur et responsable pyrotechnique.	Distance sécurité Barrières Balisage	Réglementation pyrotechnique	Règles de sécurité au verso agrément	
Le montage de l'inflamateur sur le propulseur	Allumage intempestif Incendie	Propulseur Environnement Public Opérateurs	Règles générales (accès prévention incendie + orages..) + règles opératoires + formation opérateurs et responsable pyrotechnique.	Distance sécurité Barrières Balisage	Réglementation pyrotechnique	Règles de sécurité au verso agrément	
Rampe	Pointe Perforation	Opérateurs	Mise en garde Formation opérateurs	Trousse de secours			Dossier de contrôle rampe.
Atelier de fabrication des fusées	Risques électriques Agressions mécaniques	Opérateurs	conformité installation électrique Conformité outillage	Quand nécessaire : équipements individuels de protection (lunettes, masque, équerre anti-cutter, ...)	Code du travail		Dossier de contrôle atelier et équipements si nécessaire
Equipement zone public	Risques électriques Agressions mécaniques chutes	Public	Conformité installation électrique Conformité structures Formation Opérateurs		Réglementation ERP (Etablissement recevant du public). Arrêté du 25 juin 1980 Arrêté du 4 avril 1996 relatif aux manifestations aériennes.		Autorisation préfecture si nécessaire

Systeme source (quoi)	Effet (risque, danger)	Systeme cible (sur qui)	Barrière Cause (protection avant)	Barrière effets (protection après)	Réglementation*	Documents applicables	Conformité
Propulseur intégré dans la fusée et mis sur rampe Pupitre	Incendie Projection Autopropulsion	Environnement Public Opérateurs	Modes opératoires Conception du pupitre	Distances de sécurité Barrières Balisage	Réglementation pyrotechnique	Règles de sécurité au verso agrément	Dossier de contrôle pupitre.
Fusée en vol	Impact	Opérateurs	Règles de conception de la fusée Critères météo Réglage rampe	Distance de sécurité Consignes d'évitement Formation responsable lanceur		Règles de sécurité au verso agrément	Autorisation terrain
Fusée en vol	Impact	public	Règles de conception de la fusée Critères météo Stabilisation et réglage rampe	Distances de sécurité Barrières Balisage Consignes d'évacuation		Règles de sécurité au verso agrément	Autorisation préfecture si nécessaire
Fusée en vol	Impact (biens, personnes, Incendie)	Personnes et biens dans l'environnement du terrain	Règles de conception de la fusée Critères météo Désherbage à proximité rampe	Distances de sécurité Disposition anti-incendie	Réglementation feux d'artifices	Règles de sécurité au verso agrément	
Fusée en vol	Impact	Aéronefs	Critères météo (nébulosité) Contrôle visuel et interruption en cas de survol bas par un avion ou de présence de nuages bas		Code de l'aviation civile Lettre de la délégation à l'espace aérien du 26 nov 1984		
Fusée retombée au sol	Brûlure Départ de feu	Public, Opérateurs	Consignes de sécurité Barrières Balisage	Disposition anti incendie		Règles de sécurité au verso agrément	Dossier de contrôle Site si nécessaire
Récupération fusée	Brûlure	Opérateurs	Consignes de sécurité			Règles de sécurité au verso agrément	
Inhibition propulseur						Règles de sécurité au verso agrément	
Enfants	Utilisation objets dangereux	Enfants	Encadrement (règle jeunesse et sport)		CRIDOC (E-512)		

**\* Les principales réglementations applicables sont précisées page 68**

# PROCEDURES ET DOCUMENTATIONS APPLICABLES

## Principales réglementations applicables

Les principales réglementations applicables identifiées sont :

- ❑ Décret 90-897 du 01/10/90 sur la réglementation des artifices de divertissement (mis à jour par le décret 99-766 du 01/09/99)
- ❑ Circulaire Ministérielle aux préfets de police (86-340 du 19 novembre 1986)

## Procédures internes CNES - Planète Sciences applicables

Document	Résumé	Version
Procédure d'organisation d'un agrément microfusée	Procédure de déclaration et d'organisation d'un agrément microfusée	Janvier 2004
Agrément microfusée type	Récapitulatif, au dos, des consignes principales de sécurité	Août 2007

## Comparaison règles internes / réglementation

Réglementation	Règles de pratiques internes
Vente libre de propulseur K1 aux mineurs de plus de 16 ans sans formation	Vente réservée aux adhérents majeurs possédant l'agrément microfusée
Vente libre de propulseur K2 aux majeurs sans formation	Vente réservée aux adhérents majeurs possédant l'agrément microfusée
Conseils du Ministère Jeunesse & Sport pour les activités microfusées en séjours de vacances (pour détail CRIDOC E 512)	Conseils transformés en obligations dans notre règlement interne pour toutes nos activités microfusée (pas uniquement séjour de vacances).
Circulaire ministérielle aux préfets de police (86-340 du 19 novembre 1986)	Inclus dans nos règlements internes

MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR

DIRECTION DES LIBERTÉS PUBLIQUES  
ET DES AFFAIRES JURIDIQUES

LIB/7

CIRCULAIRE N° 86-340

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PARIS, LE 19 NOV. 1986 19

LE MINISTRE DE L'INTERIEUR

à

MADAME et MESSIEURS les PREFETS,  
COMMISSAIRES de la REPUBLIQUE

MONSIEUR le PREFET de POLICE

OBJET : Réglementation de l'astromodélisme (modèles réduits de fusées).

Mon attention a été appelée sur le développement de l'astromodélisme, qui constitue une pratique éducative et de loisirs dont l'attrait est lié à l'engouement manifesté pour les différentes formes de sport aéronautique.

Ce nouveau type d'activités pose toutefois des problèmes liés à la sauvegarde de la sécurité publique, en raison de l'absence de réglementation concernant la vente et l'utilisation des modèles réduits de fusées.

Les astromodèles sont composés de deux éléments :

- d'une part, d'une maquette confectionnée en matériaux ultra-légers, tels que carton spécial, balsa ou matières plastiques : cette maquette ne présente en elle-même aucun danger ;

- d'autre part, d'un micro-propulseur, dont l'allumage s'effectue, en règle générale, à l'aide de poudre.

C'est par conséquent le lancement des deux éléments assemblés de la fusée qui peut présenter des dangers.

C'est pourquoi, il vous appartient, d'ores et déjà, sur le fondement des pouvoirs de police que vous détenez en application du code des communes, d'apporter à la vente et à l'utilisation de ces appareils les limitations nécessaires exigées par la sauvegarde de la sécurité publique.

.../...

A cet égard, une interdiction absolue de vente et d'utilisation de ces appareils ne saurait être décidée afin de garantir le respect du principe de la liberté de commerce et de l'industrie.

Les mesures restrictives susceptibles d'être édictées pourront résulter, soit de l'exercice de votre pouvoir propre de réglementation pour toutes les communes du département ou pour plusieurs d'entre elles (article L 131-19 alinéa 1 du code des communes), soit pour une seule commune, de l'intervention d'un arrêté pris par le maire ou, par vous-même, en vertu de votre pouvoir de substitution, après mise en demeure du maire.

Vous pourrez interdire lorsque les circonstances locales l'exigent, la vente et l'utilisation de ces appareils aux mineurs de moins de 16 ans non accompagnés de leurs parents, ou non expressément autorisés par eux.

Par ailleurs, les mesures de sécurité que vous serez amené à prescrire pourront s'inspirer des recommandations suivantes :

- Le lancement des modèles réduits de fusées sera interdit à une distance inférieure à 150 mètres de tout bien immobilier, des lignes de transport électrique ou de leurs supports, des voies de circulation, des voies ferrées, des aéroports et aérodromes, des forêts, des points à hauts risques (par exemple stockage de liquides inflammables, stations services).

- L'aire de lancement devra être débarrassée des herbes sèches et broussailles.

- Il conviendra d'interdire tout lancement de fusées effectué à partir d'un véhicule ainsi que les tirs de nuit.

- L'angle de tir de la fusée avec le plan horizontal devra être supérieur à 60°.

- Il y aura lieu également d'interdire la présence de spectateurs à moins de 25 mètres de la rampe de lancement.

Enfin, il vous appartiendra d'interdire, plus particulièrement à certaines périodes de l'année, en fonction des circonstances locales, tout lancement susceptible de présenter un danger pour la sécurité des biens et des personnes (par exemple risques d'incendie ou d'avalanche).

Dans l'hypothèse où des démonstrations publiques d'astromodélisme seraient organisées dans votre département, vous pourrez prescrire, par voie d'arrêté, outre les mesures de sécurité indiquées ci-dessus, des mesures réglementant les conditions de délivrance des autorisations de lancement, conformément aux orientations suivantes :

- L'organisation de la manifestation publique devra faire l'objet d'une autorisation préalable du maire de la commune concernée, après avis des services de police ou de gendarmerie et de l'autorité aéronautique territorialement compétente.

- Le pétitionnaire devra indiquer au maire, un mois au moins à l'avance, les dates, heures et conditions de lancement, ainsi que le nom et la qualité du responsable technique de l'opération.

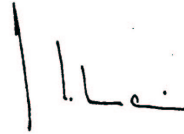
- Il devra, en outre, après avoir recueilli l'accord du propriétaire ou de l'occupant légitime, préciser les caractéristiques topographiques du site et celles de l'aire de lancement.

.../.

L'organisateur de la manifestation devra souscrire une assurance de responsabilité civile spécifique à la manifestation destinée à couvrir les risques d'accident dont pourraient être victimes les spectateurs ou les participants.

Il conviendra enfin de donner aux personnels de police placés sous votre autorité les instructions pour que les infractions commises en ce domaine soient scrupuleusement relevées afin qu'il puisse être fait application aux contrevenants des sanctions prévues par l'article R 26-15è du code pénal.

Pour le ministre de l'intérieur  
et par délégation  
Le directeur des libertés  
publiques et des affaires juridiques



Dominique LATOURNERIE



**MUTUELLE ASSURANCE DES INSTITUTEURS DE FRANCE**

Société d'assurance mutuelle à cotisations variables  
Entreprise régie par le code des assurances  
Groupe Personnes Morales - TSA 55113 - 79060 NIORT CEDEX 9  
Télécopie : 05 49 73 80 78 - Téléphone : 05 49 73 79 85

PLANETE SCIENCES  
18 PLACE JACQUES BREL  
91130 RIS ORANGIS

**ATTESTATION D'ASSURANCE  
Risques Autres Que Véhicule A Moteur**

**RISQUES LIES A LA PRATIQUE DE L'ACTIVITE SUIVANTE (A TITRE PERMANENT)**

**Du - au**

Activité : FABRICATION ET LANCEMENT D'AEROMODELES (MICRO-FUSEES, MINI-FUSEES ET FUSEES EXPERIMENTALES) DONT LE POIDS EST INFERIEUR A 12KG.

**Garanties**

**Bénéficiaires** : la collectivité, ses représentants légaux ou statutaires, ses préposés, membres ou adhérents, aides bénévoles, les personnes en qualité de participant.

**Nombre de bénéficiaire(s)** :

Identité du (des) bénéficiaire(s) : Ensemble des personnes participant aux activités de l'Association et déclarées au contrat.

Responsabilité civile - Défense

- Dommages corporels .....	30 000 000 €/sinistre
- Dommages matériels et immatériels consécutifs, à concurrence .....	15 000 000 €/sinistre
La garantie est toutefois limitée tous dommages confondus à .....	30 000 000 €/sinistre
- Atteintes à l'environnement .....	5 000 000 €/année d'assurance
- Intoxication alimentaire .....	5 000 000 €/année d'assurance

Dommages aux biens des participants à concurrence de ..... 550 €

Indemnisation des dommages corporels (Individuelle - accident) : assistance à domicile, frais médicaux, pertes de revenus, invalidité, décès

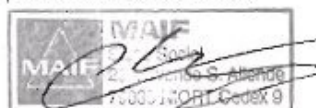
Frais de recherche et de sauvetage des vies humaines

Recours - Protection juridique

Assistance : servie par Inter Mutuelle Assistance, au 0 800 75 75 75 (appel gratuit) si vous êtes en France ou au 33 5 49 75 75 75 si vous êtes à l'Etranger. cette garantie prévoit notamment le rapatriement.

La présente attestation est établie pour servir ce que de droit mais ne peut engager la MAIF au delà des conditions générales et particulières du contrat dont elle se prévaut.

Fait à Niort, le 11/01/2005  
Le Représentant de la Société



RAQ3



## Textes législatifs de référence

... à la date de parution du document

Texte	Extrait de ...	Résumé
Loi du 03/07/70	JO du 05/07/70 et rectificatif au JO du 20/10/70	Réforme du régime des poudres et substances explosives
Décret n° 70-876 du 23 septembre 1970.		Fixant la liste des poudres et substances explosives prévues à l'article 6-1 de la loi du 3 juillet 1970
Décret 71-753 du 10/09/71	JO du 17/09/71	Application de la Loi du 03/07/70
Arrêté du 7 novembre 1977		Modifié relatif aux formalités à accomplir pour l'exécution des opérations de production, de vente, d'importation et d'exportation de poudres et substances explosives en application des dispositions du décret n° 71-753 du 10 septembre 1971 pris pour l'application de l'article 1er de la loi du 3 juillet 1970 portant réforme du régime des poudres et substances explosives.
Décret 79-846 du 28/09/79		Décret pyro 79-846 du 28/09/79 portant règlement d'administration publique sur la protection des travailleurs contre les risques particuliers auxquels ils sont soumis dans les établissements pyrotechniques
Arrêté du 26 septembre 1980		Mise à jour du Décret pyro de 1979 80 fixant les règles de détermination des distances d'isolement relatives aux installations pyrotechniques.
Circulaire du 8.05.81		Relative à l'application de l'arrêté du 26.09.80 fixant les règles de détermination des distances d'isolement relatives aux installations pyrotechniques.
Décret 81-972 du 21/10/81	JO du 29/10/81	Relatif au marquage, à l'acquisition, à la livraison, à la détention, au transport et à l'emploi des produits explosifs
Note du 21 mars 1985		Concernant les installations classées (prise en compte des risques liés aux transports d'explosifs dans l'enceinte d'installations pyrotechniques).
Note technique du 7.12.89 DRT/CT5, DGA/IPE, DEPPR/SEI		Relative à la protection des travailleurs et de l'environnement des établissements pyrotechniques.
Décret 90-153 du 16/02/90	JO n° 42 du 18/02/90	Définit le cadre des installations de stockage et fabrication de matières explosives
Décret 90-897 du 01/10/90		Réglementation des artifices de divertissement
Arrêté du 11 février 1991		Fixant la liste des examens et épreuves d'agrément des produits explosifs et agrément du laboratoire des substances explosives de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques pour procéder à ces examens et épreuves.

Arrêté du 01/07/91		Définit le dossier de demande d'agrément (recueil des épreuves d'agrément des artifices de divertissement et agrément du laboratoire des substances explosives de l'Ineris)
Arrêté du 12 novembre 1991		Fixant la liste des produits explosifs soumis à l'obligation de conformité à un modèle agréé pris pour l'application de l'article 2 du décret n° 90-153 du 16 février 1990.
Directive européenne 93/15 CE du 05/04/93	JOCE du 15/05/93	Relative à l'harmonisation des dispositions de mise sur le marché et des contrôles des explosifs à usage civil
Arrêté ministériel du 25 mars 1992		Relatif au stockage momentané de pièces et feux d'artifices en vue d'un tir, à proximité du lieu de ce tir.
Arrêté du 24/04/94	J.O n° 114 du 18/05/94 page 7293	Relatif au classement des artifices de divertissement
Courrier DM/E n° 282 du 29/11/94		Courrier du département des explosifs, explosions, incendie du Ministère de l'Industrie assimilant les propulseurs de fusée à des artifices de divertissement.
Arrêté du 29/08/96	J.O n° 213 du 12/08/96 page 13634	Modifiant l'arrêté du 1 <sup>er</sup> juillet 1991
Décret du 96-1046 du 28/10/96	JO n° 283 du 05/12/96 page 17695	Transposition française de la directive CE/93-15 du 5 avril 1993 modifiant le Décret 90-153 du 16/02/90 et Décret 71-753 du 10/09/71
Arrêté du 21/05/97	JO n° 119 du 24/05/97 page 7835	Fixant la liste des produits explosifs soumis au marquage CE pris pour l'application de l'article 1 <sup>er</sup> du décret n° 90-153 du 16 février 1990 modifié.
Arrêté du 10/02/98	J.O. n° 62 du 14/03/98 page 3827	Relatif à l'agrément technique des installations de produits explosifs pris pour l'application de l'article 18 du décret n° 90-153 du 16 février 1990 modifié portant diverses dispositions relatives au régime des produits explosifs.
Décret 99-766 du 01/09/99	JO n° 208 du 08/09/99 page 13473	Modification Décret n° 90-897 du 1er octobre 1990
Arrêté ministériel du 28 août 2000		Pris pour l'application de l'article 2 du décret n° 71-753 du 10 septembre 1971, fixant les conditions dans lesquelles des poudres et substances explosives destinées à des fins militaires sont autorisées pour un usage civil.
Arrêté du 10 mars 2003		Relatif aux formalités applicables à la production, la vente, l'importation, l'exportation et le transfert des poudres et substances explosives.
Directive CE/2004/57 du 23 avril 2004		Mise à jour de la directive CE/93-15 relative à l'harmonisation des dispositions de mise sur le marché et contrôles des explosifs à usage civil.  Etablit la liste exhaustive des produits à classer comme articles pyrotechniques (les autres produits étant de fait considérés comme explosifs)
Directive 2007/23/CE du 23 mai 2007		Mise sur le marché d'articles pyrotechniques.

La passion de l'espace peut se déclencher très tôt et se cultiver tout au long d'une vie. C'est pourquoi le CNES, notamment grâce au partenariat privilégié avec le réseau Planète Sciences, s'est toujours tenu proche des jeunes et des enseignants en leur proposant de nombreuses possibilités d'expérimentation et de découverte de l'espace.

## L'espace à portée de main

*A l'école ou en club, du cycle 3 au lycée : des supports de pratique adaptés au cadre scolaire, favorisant l'approche expérimentale et l'apprentissage du travail en équipe.*

**Les ballons** : construire une nacelle qui emporte les expériences conçues et réalisées par les jeunes à environ 30 000 mètres d'altitude.

**L'Airbus zéro G** : embarquer une expérience à bord de l'Airbus Zéro G qui offre une vingtaine de secondes de micropesanteur à chaque parabole effectuée.

**Les fusées** : de la fusée à eau à la fusée expérimentale, de quelques dizaines de mètres à 1 500 mètres de hauteur pour les plus puissantes, les premiers pas dans la conquête de l'espace.

**Argonautica** : grâce aux satellites, comprendre le rôle joué par les océans dans l'évolution de notre climat.

**Calisph'air** : réaliser des mesures atmosphériques (aérosols...) pour mieux saisir les grands enjeux de la protection de l'environnement et le rôle joué par les satellites dans ce domaine.

## A l'école de l'espace

*Pour les professeurs des écoles, des collèges et des lycées, de la physique à la géographie : des stages de formation aux techniques spatiales et à l'utilisation des outils expérimentaux.*

**Les Rencontres Espace-Éducation** : une semaine pour faire le plein d'espace (conférences, ateliers scientifiques et pédagogiques...).

**Les Mercredis de l'espace** : des conférences pour mettre à jour ses connaissances sur les grands sujets liés à l'espace.

**La formation à l'utilisation des outils expérimentaux** : des stages pour maîtriser tous les aspects techniques et méthodologiques des minifusées, ballons, bouées dérivantes, etc.

## L'espace pour tous

*Du DVD à l'Internet, du livre à l'exposition, une gamme d'outils favorisant la découverte et l'information sur les activités spatiales et des rendez-vous avec le public en région.*

**Un site Internet** dédié aux jeunes et aux éducateurs : [www.cnes-edu.org](http://www.cnes-edu.org)

**Des expositions, des supports documentaires et pédagogiques.**

**Des rendez-vous réguliers** : les Festiciels, l'Espace dans ma ville, le Forum des jeunes et de l'espace...

## Contact :

CNES - Service Culture Spatiale  
18, avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9  
[education.jeunesse@cnes.fr](mailto:education.jeunesse@cnes.fr)  
Pour en savoir plus : [www.cnes-edu.fr](http://www.cnes-edu.fr)

L'Association est née en 1962 (sous le nom d' ANCS), à l'initiative d'enseignants et de scientifiques proches des activités du Palais de la découverte et des clubs Jean Perrin, notamment pour encadrer les constructions de fusées de jeunes avec le soutien du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales).

Le développement de projets en équipes, propres aux activités spatiales, a ensuite été appliqué à d'autres domaines d'expérimentation : l'astronomie, l'environnement, la météorologie, l'énergie, l'informatique, la robotique et la télédétection.

Planète Sciences et ses 10 délégations territoriales (Atlantique, Bretagne, Ile-de-France, Languedoc-Roussillon, Méditerranée, Midi-Pyrénées, Normandie, Picardie, Rhône-Alpes et Sarthe), fortes de leurs 1 000 animateurs spécialisés, soutiennent près de 700 clubs scientifiques, interviennent auprès de plus de 350 établissements scolaires et organisent des séjours et des animations durant les vacances pour plus de 20 000 jeunes. Elles s'attachent également à développer la culture scientifique et technique par la formation d'animateurs et d'enseignants.

Avec plus de 100 000 participants chaque année, Planète Sciences poursuit son objectif : rendre la pratique des sciences et des techniques accessible au plus grand nombre.

## Les cadres d'activité

### ***Les séjours de vacances et chantiers de jeunes : un projet partagé entre amis***

Le temps de quelques semaines, découvrez et pratiquez une ou plusieurs activités scientifiques. Les animateurs spécialisés conjuguent astucieusement : sports, jeux, activités de plein air, sciences et détente pour les 7 à 18 ans.

### ***Le club scientifique : un projet mené par toute une équipe***

Planète Sciences vous aide à rejoindre le club le plus proche de chez vous ou à créer le vôtre, pour concevoir et réaliser vos projets en autonomie.

### ***Les activités à l'école : la classe transformée en laboratoire***

Enseignants et animateurs soutiennent les élèves dans leurs réalisations. Classes de découvertes, classes sciences, ateliers, opérations "Un Ballon pour l'Ecole", "Un Bon Plant pour l'Air", "Une Fusée à l'Ecole", "Collèges et Lycées de Nuit", "Concours de Robotique" ... permettent à plus de 700 classes de participer à l'aventure scientifique.

### ***Les activités de loisirs : découvrir le plaisir des sciences***

En quelques heures ou quelques jours, prendre contact ou approfondir une activité. Les ateliers, Scientificobus, Caravanes des sciences et autres Salles de découvertes s'adaptent à tout type de lieux.

### ***La culture scientifique et technique pour tous***

Fêtes de l'espace, Nuits des Etoiles, Coupes et Trophées de Robotique, Eurobot, Rencontres sciences et techniques de l'environnement, Rencontre Météo Jeunes, Exposciences, Fête de la science, Journées de l'environnement... sont des manifestations incontournables, co-organisées ou initiées par Planète Sciences.

### ***Les stages de formation : échanger et acquérir de nouvelles compétences***

BAFA, week-ends techniques, stages d'action culturelle... permettent d'acquérir des notions, des techniques et des méthodes pour soutenir ou animer tout projet. Ouverts à tous les animateurs et enseignants.

### ***Des supports à intégrer à vos projets***

Pour pratiquer ou animer les sciences, Planète Sciences propose des outils et des équipements : Télescope Jean-Marc Salomon, espaces multimédia, salles de découvertes, Point Info Energies, sites et forums internet, malles pédagogiques, notes techniques, espaces naturels et pédagogiques...

### ***Les sciences : une ouverture à l'Europe***

En lien avec de nombreux partenaires, Planète Sciences incite à la mise en place de projets et d'échanges dans différents pays et favorise une pratique interculturelle, pour les jeunes européens.

## Contact :

Secteur Espace - 16 place Jacques Brel, 91130 Ris-Orangis  
espace@planete-sciences.org  
Pour en savoir plus : [www.planete-sciences.org](http://www.planete-sciences.org)