

Réalisation d'une expérience de mini-fusée en 1^{re} B

AU LYCEE EUGENE-DELACROIX A MAISONS-ALFORT

Nous remercions M. l'Inspecteur Général PRUNET du bienveillant intérêt qu'il a porté à notre réalisation, ainsi que M. le Proviseur pour l'aide qu'il nous a accordée.

Tous ceux qui ont participé à cette expérience remercient également :

- l'A.N.S.T.J. qui nous a assisté lors du lancement des fusées,
- le photographe et le cinéaste pour les documents photographiques et pour le film réalisé retraçant toute l'expérience.

Les origines de cette réalisation ont été :

- le programme 1979 des Sciences physiques des classes de 1^{re} A et 1^{re} B comportant avions et engins spatiaux : fusées,
- l'article paru au B.U.P. n° 608, oct. - nov. 1978. Expérience au lycée Saint-Exupéry à Saint-Dizier.

Cet article a pour but de donner quelques détails pratiques sur la construction, et de dégager les résultats expérimentaux du vol des fusées.

REALISATION DE L'EXPERIENCE

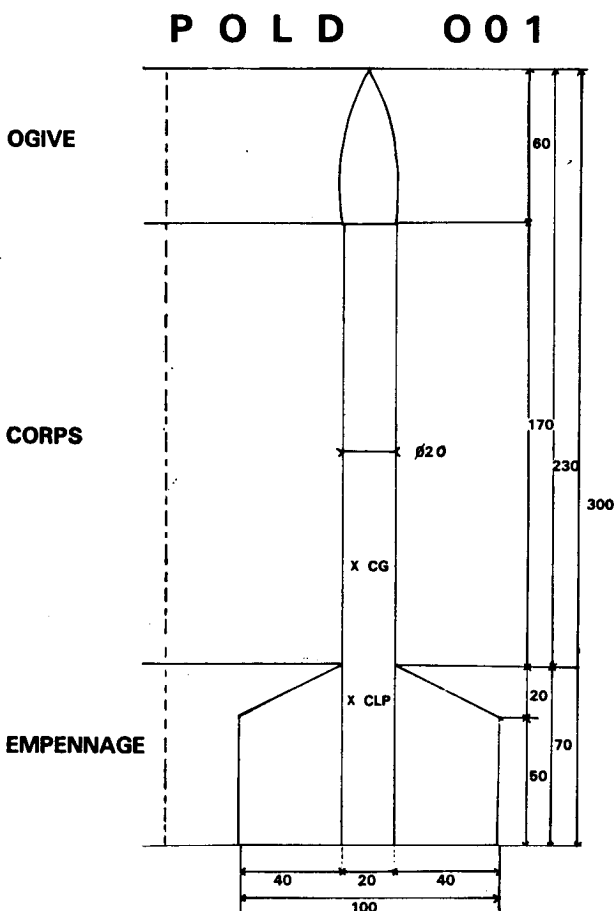
I. MATERIEL.

A) Matériel par groupe de 3 élèves :

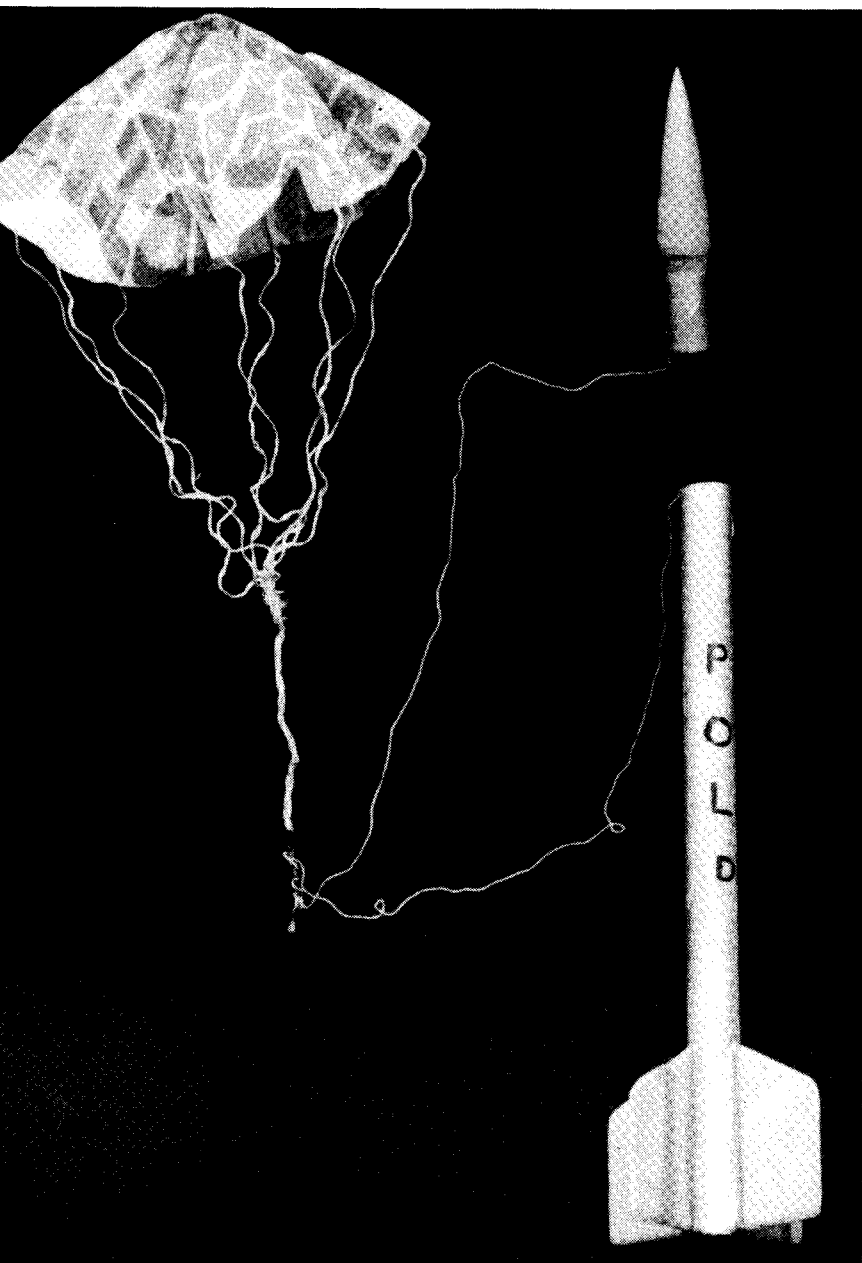
- crayon, gomme, réglet métallique, aiguille, ciseaux,
- papier de verre de différents calibres,
- cutter,
- ruban adhésif ordinaire,
- ruban adhésif électrique,
- coton,
- feuille plastique,
- colle forte instantanée,
- ficelle de boucher,
- peinture.

B) Matériel fourni par le professeur :

- balsa de 1,5 mm d'épaisseur (acheté au menuisier),
- balsa en rondin de 30 mm - tube en carton de diamètre 20 mm,
- perceuse électrique ordinaire en poste fixé avec mandrin équipé d'une vis à bois étêtée,
- moteurs fournis par l'association nationale des clubs aérospatiaux (Palais de la Découverte).

II. CONSTRUCTION.

(cotes en mm)



Après la description des différentes pièces, nous exposerons les principales mises au point à effectuer.

A) Description :

- le corps,
- l'ogive,
- les empennages (3 à 4 ailettes),
- ruban amortisseur,
- un parachute.

L'aspect général d'une fusée et son comportement en vol dépend essentiellement de sa pointe, de son corps, de ses empennages. Leur forme et leur dimension peuvent être quelconques mais l'ensemble doit satisfaire à des critères de stabilité — comportement aérodynamique —, de finition — état de surface — et de poids — légèreté — sur lesquels nous reviendrons plus longuement dans le texte.

B) Détails de construction :

a) LA POINTE :

— Sa forme peut être ogivale, conique ou parabolique. Le rapport de la longueur sur son diamètre peut être choisi autour de 3.

— Elle peut aisément être réalisée en fixant un bloc de balsa sur la vis fixée dans le mandrin de la perceuse ; elle est ajustée par ponçage au papier de verre lors de la rotation, affinée au papier de verre doux manuellement.

— Ajuster la partie qui devra s'adapter dans le corps de la fusée, puis l'entourer d'un joint de ruban adhésif afin de faciliter l'éjection.

b) LE CORPS : cylindrique, ne présentant aucune déformation ou aspérité, il est réalisé dans un tube en carton.

c) MONTAGE DU MOTEUR (peut être effectué en dernier) :

— Enduire l'intérieur du corps de la fusée et le moteur avec de la colle.

— Le moteur (tuyère à l'extérieur) doit s'adapter en force dans la partie inférieure du corps.

— Tandis que la colle sèche, maintenir le tube « nez en haut » afin d'éviter le glissement du moteur.

d) PARACHUTE : réalisé dans des feuilles de matière plastique (sac plastique commercial).

2 modèles sont possibles :

— En ruban de $L = 40$ cm, $l = 10$ cm, auquel on fixe 2 suspentes, il sera roulé pour l'introduire dans le corps de la fusée.

— En disque de diamètre = 25 cm auquel on fixe 6 à 8 suspentes (la longueur de chaque suspente doit être égale au diamètre du parachute), pliage en accordéon.

Dans les 2 cas, le talquage est indispensable afin d'éviter que le parachute ne se colle par effet d'électricité statique.

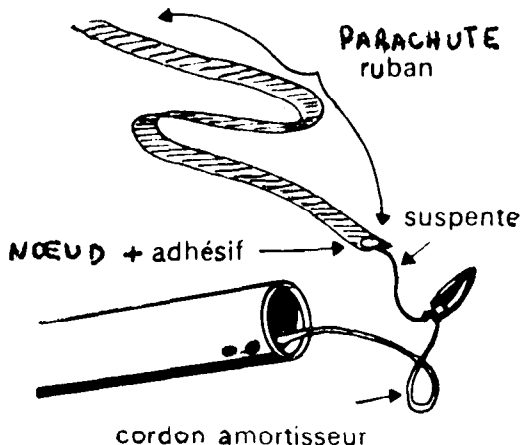
e) CORDONS AMORTISSEURS :

Une ficelle reliant le parachute et l'ogive au corps principal de la fusée assure l'amortissement du choc créé par l'éjection et l'ouverture du parachute.

— Fixer la ficelle sur l'ogive avec de la colle et une pointe de balsa dans le trou laissé par la vis.

— Les suspentes du parachute sont fixées à mi-chemin sur le cordon amortisseur entre l'ogive et le corps de la fusée.

— Le cordon amortisseur est fixé sur le corps : parer 2 trous à 2 cm du bord du corps, y passer le cordon, former un nœud à l'intérieur du corps, mettre un morceau de ruban adhésif (réduction des frottements).



f) EXÉCUTION DES EMPENNAGES :

Ils sont exécutés dans une feuille de balsa.

— S'assurer que le bord d'attaque des ailettes des empennages est parallèle au fil du bois, sinon les ailettes risquent de se casser.

— Faire un patron de même grandeur en papier.

- Positionner ce patron sur la feuille de balsa.
- Tracer le contour de l'ailette à l'aide d'un crayon.
- Le découpage s'effectue avec le cutter guidé par un réglet, celui-ci sera tenu avec un angle de coupe de 45° afin de ne pas arracher le balsa.
- Toutes les arêtes seront arrondies par ponçage, seule celle qui est collée au corps de la fusée, devra rester plane.

g) POSITIONNEMENT DES EMPENNAGES :

- Tracer sur un papier un cercle correspondant au diamètre du tube.
- Placer des repères à 90° (4 ailettes) ou 120° (3 ailettes).
- Placer le tube en carton perpendiculairement à ce cercle.
- Tracer verticalement sur le corps les repères correspondants.
- Puis coller les empennages sur les tracés, utiliser une colle très résistante à séchage rapide, maintenir la fusée.

h) PEINTURE :

- S'assurer que tous les plans soient parfaitement lissés.
- Utiliser soit une peinture à modèle réduit,
soit une peinture pressurisée (meilleur fini).
- Des couleurs vives sont conseillées pour un meilleur repérage dans le ciel.

i) PRÉPARATION DU VOL :

- Lester la fusée pour obtenir la masse voulue.
- Une bourre de coton est introduite dans le corps de manière à occuper une longueur égale à au moins 2 fois le diamètre, afin d'éviter l'inflammation du parachute ou des suspentes lors de la charge d'éjection.
- Le parachute est ensuite placé au-dessus de la bourre de protection, les suspentes et le ruban amortisseur étant disposés au-dessus de lui.
- Mise en place de l'ogive.

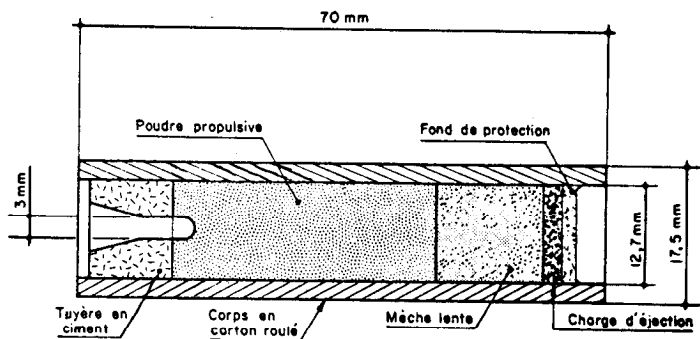
Avec ce matériel préparé de la manière précédemment décrite, 10 fusées furent construites en faisant varier les 4 paramètres suivants :

- la masse,
- le coefficient d'aérodynamisme,
- la propulsion,
- la surface des empennages (cf. tableau).

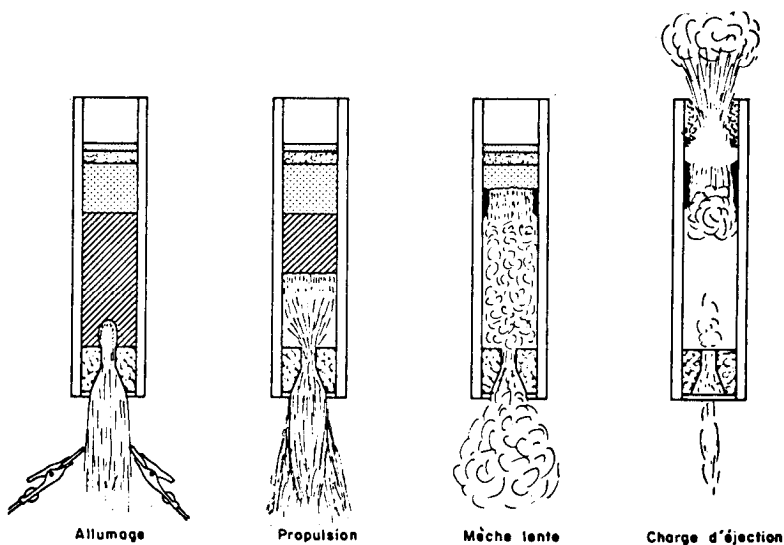
III. MOTEURS UTILISES.

Fournis par l'A.N.S.T.J. Moteurs : A 8, B 14, C 6.5.

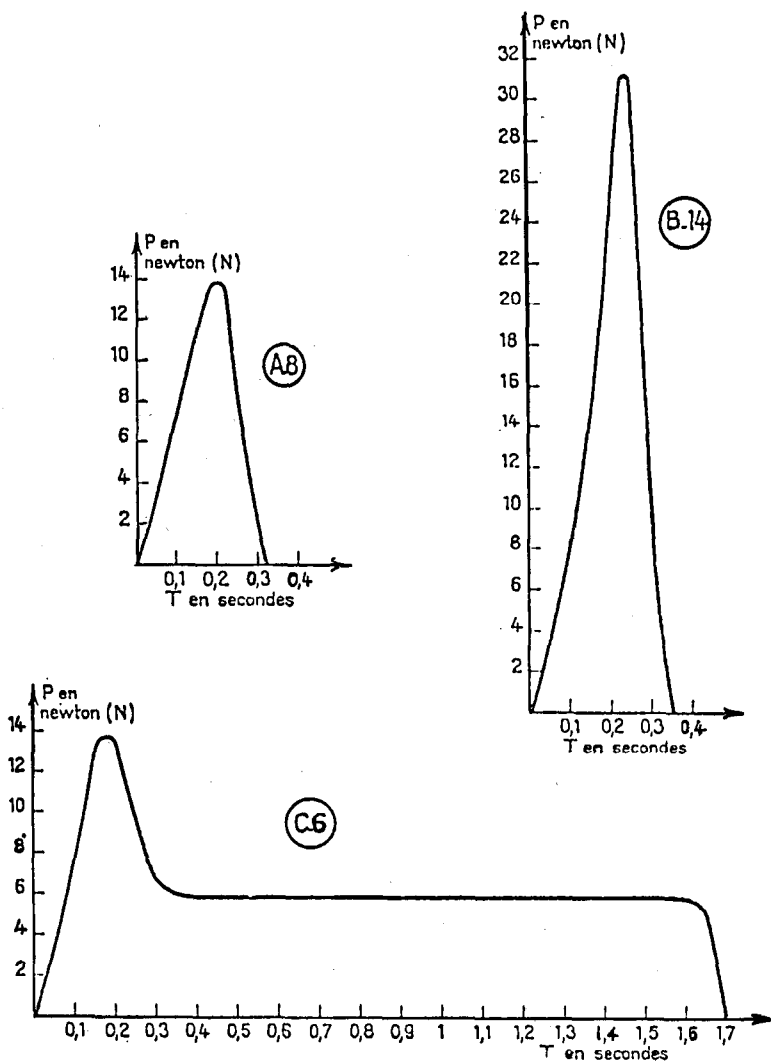
A) Coupe :



B) Fonctionnement :



C) Courbes de poussée en fonction du temps :

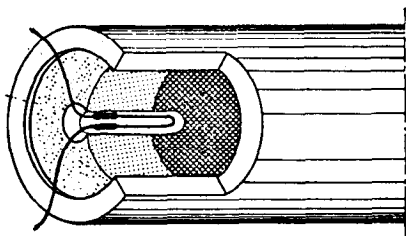


D) Allumage :

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

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

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



e) Sécurité :

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

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

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

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

IV. STABILITE.

Mentionnons tout d'abord les règles de base de nature physique qui permettent de l'assurer avant d'en donner une formulation mathématique.

A) Règles de stabilité :

* En vol libre, un corps tourne autour de son point d'équilibre : le centre de gravité (CG), pivot de toutes les forces

tendant à faire évoluer la fusée. Le centre de gravité peut être aisément déterminé en disposant horizontalement la fusée complète sur une lame de couteau ou en la suspendant à un fil vertical. Lorsqu'elle reste en équilibre, c'est que l'on est au centre de gravité. On le repère alors d'un trait.

* Les forces les plus importantes agissant sur la fusée sont :

- la poussée du moteur,
- l'action de l'air sur l'ogive et sur les empennages dont la résultante est appliquée en un point appelé CENTRE LATÉRAL DE POUSSÉE.

* Toutes ces forces sont amplifiées par la distance séparant leur point d'action du centre de gravité (effet de couple ou de levier).

— Si les forces agissant sur les empennages sont assez grandes pour contrebalancer celles agissant sur l'ogive, la fusée est dite stable et effectuera une trajectoire correcte (le CLP est en arrière du CG). La distance du CG au CLP doit être comprise dans une marge de 1 à 3 fois le diamètre du corps de la fusée pour assurer une trajectoire sans à-coup et insensible au vent vrai de la fusée.

— Si les empennages sont trop près du centre de gravité ou si leur surface est insuffisante, le nez de la fusée aura tendance à osciller et celle-ci va zigzaguer dans le ciel, elle est dite indifférente.

* Dérangées par une influence quelconque (rafale de vent), les forces de déséquilibre vont se découpler. Selon la taille et la forme de l'ogive et des empennages, l'une d'elles s'imposera et la fusée sera déviée. Si ce sont les forces sur l'ogive qui l'emportent, le résultat est catastrophique, la fusée est dite instable. Ce cas est à proscrire.

Première règle.

Utiliser un corps de grande longueur. La longueur du tube devra être au moins égale à dix fois son diamètre. Ainsi, la distance entre le centre de gravité et les empennages sera suffisante.

Deuxième règle.

Prévoir des empennages d'une surface suffisamment grande, afin que la force exercée lors de l'amorce de déviation soit assez importante pour assurer la stabilité.

Troisième règle.

Placer les empennages le plus en arrière possible du corps. Attention : ne jamais placer une ailette en avant du centre de gravité !

Quatrième règle.

Le centre de gravité de la fusée devra être situé en avant des empennages à une distance égale au moins à un huitième de la longueur de la fusée. Les forces agissant sur les empennages auront un bras de levier suffisant pour contrebalancer celles s'exerçant sur l'ogive.

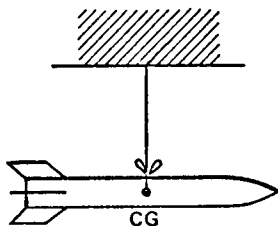
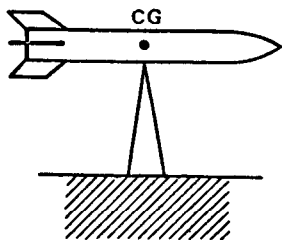
On peut tester la stabilité de l'engin en le faisant évoluer dans les airs, à la manière d'une fronde à l'extrémité d'un fil attaché à son centre de gravité, après avoir donné une impulsion semblable à celle nécessaire au lancement d'un lasso.

Si le résultat n'est pas satisfaisant, on peut :

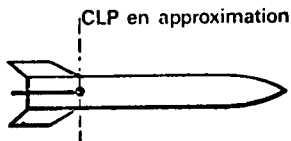
- soit déplacer le centre de gravité vers l'avant en lestant l'ogive ;
- soit en plaçant de plus grands empennages ou en collant au bout de ceux-ci des saumons complémentaires.

B) Détermination de la stabilité :*** POSITION DU CENTRE DE GRAVITÉ C.G.**

Il est situé dans le plan d'équilibre de la fusée.

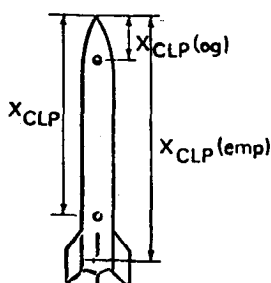
*** POSITION DU CENTRE LATÉRAL DE POUSSÉE C.L.P.**

- *en approximation grossière*, il peut être considéré à l'emplacement avant des empennages ;

**— calculs :**

La position du C.L.P. est obtenue en composant les actions de l'ogive et de l'empennage, en négligeant celle du corps.

$$X_{CLP} = \frac{X_{CLP(og)} \cdot C_{Z(og)} + X_{CLP(emp)} \cdot C_{Z(emp)}}{C_{Z(og)} + C_{Z(emp)}}$$



avec :

- X_{CLP} abscisse du CLP de la fusée,
- $X_{CLP(og)}$ abscisse du CLP de l'ogive,
- $X_{CLP(emp)}$ abscisse du CLP de l'empennage.

Les abscisses sont mesurées du haut de la fusée.

- $C_{Z(og)}$ coefficient de portance de l'ogive,
- $C_{Z(emp)}$ coefficient de portance de l'empennage.

1) CALCUL DES COEFFICIENTS DE PORTANCE :

a) ogive :

Quelle que soit sa forme : $C_{Z(og)} = 2,$

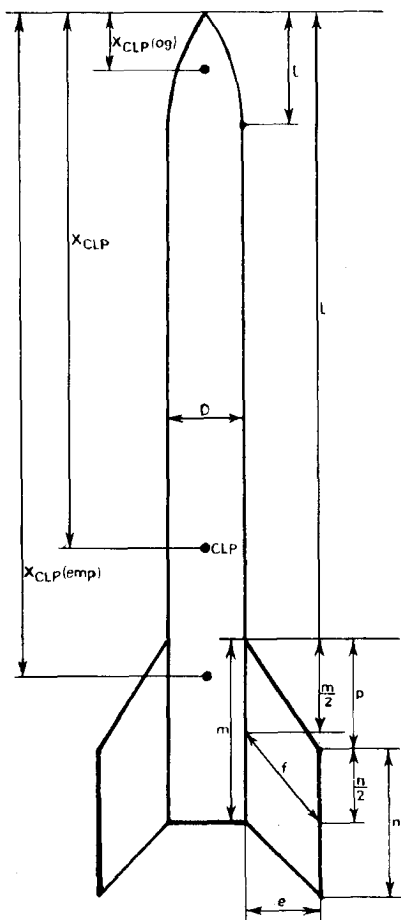
b) empennage :

— Pour 3 ou 4 ailerons, Q étant le nombre d'ailerons :

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

— Pour 6 ailerons :

$$C_{Z(emp)} = 24 \left(\frac{e}{D} \right)^2 \left(1 + \frac{D}{2(2e + D)} \right) \left(\frac{1}{1 + \sqrt{\left(1 + \frac{2f}{m+n} \right)^2}} \right)$$



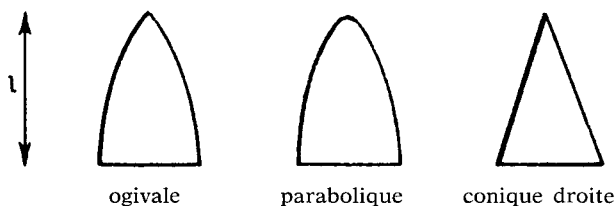
2) CALCUL DE LA POSITION DES CLP :

a) ogive :

$$\text{conique droite : } X_{\text{CLP (og)}} = \frac{2}{3} l$$

$$\text{ogivale : } X_{\text{CLP (og)}} = \frac{3}{15} l$$

$$\text{parabolique : } X_{\text{CLP (og)}} = \frac{1}{2} l.$$



b) empennage :

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

V. LE LANCEMENT.

Le lancement nécessite les opérations suivantes placées sous la responsabilité d'un représentant de l'A.N.S.T.J. :

- installation de l'allumeur (qui est fourni prêt à l'emploi),
- branchement de circuits électriques. Avec clef de sécurité,



- construction de la rampe de lancement. Celle-ci se compose d'une base en bois dur très stable, d'un déflecteur de jet (plaque métallique) et la tige guide. Cette dernière doit coulisser librement dans le tube guide fixé à la fusée,
- aménagement de l'aire de lancement : celle-ci doit être dégagée et très grande pour permettre la récupération de l'engin.

Le lancement des fusées s'est effectué sous un ciel clair avec un soleil parfois gênant et un léger vent irrégulier. Nous lançons sur un hippodrome ce qui nous a permis de récupérer toutes nos fusées.

VI. MESURES D'ALTITUDE.

La méthode la plus sûre et la plus simple est connue sous le nom de triangulation : elle fait appel aux dispositifs les plus élémentaires. A l'aide de ceux-ci, on peut mesurer l'angle entre le sol et la ligne de visée vers la fusée, lorsque celle-ci atteint son altitude maximum.

En connaissant la mesure de cet angle et celle de la distance entre l'observateur et la rampe de lancement, il est aisé de déterminer l'altitude.

Les théodolites.

Le dispositif de triangulation peut être un appareil conçu spécialement. Mais le modéliste peut fabriquer, sans difficulté, son propre théodolite.

Fixer solidement un rapporteur en matière plastique à un piquet enfoncé dans le sol. Au centre du rapporteur est articulée une barre de mire.

On dispose cet appareil afin de lire 0° lorsqu'on vise la fusée sur sa rampe, et 90° lorsqu'on vise à la verticale, il faut s'assurer qu'il est bien calé.

L'observateur en poste lors du lancement suit la fusée durant toute son ascension. Lorsque l'altitude maximum est atteinte, il verrouille le dispositif. Il n'a plus qu'à lire sur l'échelle du rapporteur. La tangente à cet angle est déterminée par tableau. L'altitude est égale à la tangente que multiplie la distance séparant l'observateur de la rampe.

RESULTATS EXPERIMENTAUX ET LES CONCLUSIONS

Précisons que pour mener à bien cette expérience qui a duré 2 heures, 12 heures de préparation réparties en 6 heures de cours théoriques et 6 heures de travaux pratiques, ont été nécessaires.

Chaque groupe a rédigé une fiche technique de sa fusée :

- croquis à l'échelle,
- paramètres étudiés,
- détermination des conditions de vol (influence du vent, trajectoire, ouverture du parachute, récupération).

NOMS	LONGUEUR en cm	MASSE en g	PEINTURE ou VERNIS	SURFACE D'AILLONS en cm ²	MOTEUR	ALTITUDE en m	Angle en °	TEMPS en s.	
								Montée	Descente
POLD 001	30	<u>50</u>	P	96	C6	214	65°	5,9"	32"
ALPHA	30	<u>70</u>	P	96	C6	173	60°	5,1"	30"
NLC	30	<u>90</u>	P	96	C6	142	55°	4,8"	21"
LEO	40	50	P	96	<u>A8</u>	53	28°	3,3"	10"
PAF	40	50	P	96	<u>B14</u>	111	48°	4"	18"
ZOB	40	50	P	96	<u>C6</u>	176	60°	4,62"	25,8"
BITONIAV	25	50	P	90	B14	119	50°	5,2"	34,8"
GOLF	25	50	P	90	B14	119	50°	5,6"	30"
CLOÉ	34	50	P	<u>90</u>	C6	274	70°	5"	20"
PJCB	39	50	P	<u>134</u>	C6	173	60°	4,9"	12,5"

Les conclusions portées en fonction des paramètres étudiés furent les suivantes :

- quand la masse de la fusée croît, l'altitude auquel elle s'élève décroît ;
- les altitudes observées sont proportionnelles à la poussée des moteurs A8 - B14, et le moteur C6 dont la poussée est maintenue dans le temps, permet à la fusée de s'élever à une amplitude supérieure ;
- une surface d'empennage importante oppose une résistance qui nuit à l'élévation de la fusée ;

— le choix — vernie ou peinte — pour l'étude du coefficient d'aérodynamisme n'a pas été judicieux, il faudrait peut-être étudier : fusée non peinte et fusée vernie ou peinte.

D'autres paramètres peuvent être étudiés : forme de la trajectoire, forme des ailerons, etc.



CONCLUSION

Au total et au-delà des données strictement techniques exposées plus haut, nous ne pouvons que confirmer l'avis de notre collègue M. BILLET, de Saint-Dizier, quant à l'intérêt des élèves vis-à-vis de ce genre de réalisation.

En effet, ce projet peu coûteux a suscité chez des élèves littéraires traditionnellement peu motivés, un attrait pour la physique, dans une ambiance de travail souple, par petit groupe, afin de réaliser au mieux une expérience concrète mais appuyée sur un bon acquis scientifique.

Cette expérience de travail valorisant aidera peut-être certains, au-delà du spectaculaire, à être plus confiant vis-à-vis de la recherche pure et à moins mépriser la technique.

Marie-Claude FEORE-FOUCRIER,
(Maisons-Alfort).
