

Atelier scientifique et technique

Conquête spatiale

Yohan Mauger Vincent Brault Aurélien Marie Alexandre Perdereau Rémi Charretier Guillaume Brahim Fabien Louvel

Mr Tresarrieu



Maxence Sebert

Joshua De Almeida Lopes

Baptiste Maillard

Baptiste Fresnaye

Thibaud Le Gall

Nathalie Brichard

Esther Chedor

Alice Gagez

Collège Saint Exupéry – Alençon

année 2004/2005

Présentation

Le thème de cet atelier scientifique et technique concerne l'une des plus formidables avancées humaines du vingtième siècle :

la conquête de l'espace

Le premier problème posé aux scientifiques et aux ingénieurs fut de trouver le moyen de vaincre l'attraction terrestre. Au cours de cette année 2004-2005, un groupe de 15 élèves du collège Saint-Exupéry d'Alençon eut le même problème à résoudre!

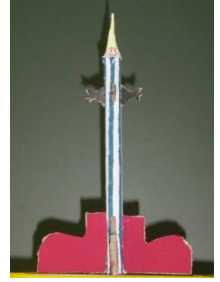
Nous pouvons d'ores et déjà vous annoncer qu'aucun objet n'a pour le moment été satellisé... Mais notre objectif, dès l'origine, n'était pas aussi ambitieux. Nous voulions « simplement » réussir à construire des fusées miniatures s'élevant verticalement dans les airs.

Pour ce faire, nous avons débuté par la fabrication de plusieurs fusées de petite taille, des micro-fusées, que nous avons lancées depuis un stade proche du collège. Nos études sur les conditions garantissant la stabilité du vol étant achevées, nous nous sommes lancés dans la conception et la fabrication de mini-fusées (de taille supérieure et de réalisation nettement plus complexe).

Pour parfaire nos connaissances sur l'espace, nous nous sommes aussi intéressés à l'astronomie et nous avons effectué deux voyages à Paris. Le premier a eu lieu le 06 janvier à la Cité des Sciences et de l'Industrie de la [Villette](#), le second le 24 mars au Musée de l'Air et de l'Espace du [Bourget](#) (il fait plus chaud sous la tuyère d'Ariane 5 !).



Les micro-fusées



Etape 1

Nous avons fabriqué ([compléments](#)) notre première série de micro-fusées (1 pour 2 élèves) en nous basant sur notre imagination et sur ce que nous savions déjà sur les fusées.

Résultat du [lancement](#): des vrilles, des loopings, des trajectoires horizontales, des fusées disloquées... rien de bien vertical et rectiligne !...([compte rendu](#))
Restait à trouver les raisons d'un tel échec.

Etape 2

A la suite de cette première campagne de lancement nous nous sommes donc posés plusieurs questions.

D'une part, pour qu'une fusée aille haut et bien droit (pour qu'elle soit stable),

- Faut-il des ailerons ?
- Si oui, combien ? Quelles doivent être alors leur position, leurs dimensions, leur forme ?
- La fusée doit elle avoir un équilibre particulier (y a-t-il une position privilégiée du centre de gravité) ?

D'autre part, quand nous aurons réussi à construire une fusée ayant une trajectoire verticale et rectiligne, comment pourrons nous connaître l'altitude atteinte ?

Pour réaliser l'étude de la stabilité des fusées, nous avons constitué des groupes, chacun étudiant un [paramètre](#) précis.

Concernant l'estimation de la hauteur, c'est Madame Lusseau, professeur de mathématiques, qui nous a donné la [solution](#) ; et c'est Monsieur Lesourd, assistant de laboratoire, qui nous a fabriqué [l'ustensile indispensable](#).

Nous avons ensuite procédé à un second lancement, duquel nous avons tiré les enseignements suivants.

Une fusée est stable si :

- Elle possède un minimum de 3 ailerons, répartis symétriquement autour du corps.
- Les ailerons sont situés vers le bas et ont des dimensions en correspondance avec la longueur du corps et la position du centre de gravité ([compléments sur la stabilité](#)). La forme des ailerons n'a pas d'importance.

Les mini-fusées

Introduction :

La fabrication de mini-fusées est la partie la plus importante et la plus délicate de notre projet. Nous fabriquons (encore en ce moment, leur lancement ayant lieu le 24 mai) cinq mini-fusées, soit une pour trois élèves.

Ces fusées ont des dimensions et des performances supérieures aux micro-fusées d'où **la nécessité de garantir les deux points suivants :**

- Un vol, lors de la phase ascensionnelle, stable.
- Un système de récupération (type parachute) efficace, se déclenchant lorsque la fusée atteint son point culminant. Ceci impose l'utilisation d'un système de chronométrage du temps de vol, le propulseur de mini-fusée n'étant pas muni d'une charge de dépotage comme sur les micro-fusées.

Les critères à respecter concernant ces deux aspects, ainsi que quelques généralités, sont définis dans le cahier des charges fourni par Planète Sciences (disponible sur www.planete-sciences.org/espace en cliquant sur l'onglet *publications*). On trouve également en annexe de ce document 13 fiches techniques qui fournissent par exemple des détails sur le montage du propulseur ou la solidité du parachute.

Réalisation des mini-fusées :

Fin octobre, Stéphane Busbocq, notre suiveur de Planète Sciences Normandie, est venu nous présenter le projet mini-fusées (déroulement sur l'année, cahier des charges, quelques conseils pour bien démarrer,...).

A la suite de cette visite, nous avons établi un document résumant tous les points à travailler puis un tableau de bord a été affiché de façon à suivre l'avancement de nos projets.

1. le système d'éjection :

Ensuite, chaque groupe a choisi un système d'éjection :

Nom fusée	Mode de sortie	Technologie	Fonctionnement
Saperliposalopette	ogive	électroaimant	L'électroaimant (attracteur) maintient 3 ressorts comprimés. Le courant est coupé ce qui libère les ressorts et pousse le parachute et l'ogive à l'extérieur (détails)
Ze game	trappe latérale	électroaimant	L'électroaimant maintient la trappe fermée.
RAG3L	trappe latérale	pyrotechnique	Un inflammateur (type perle de poudre des micro-fusées) brûle une ficelle qui retient la trappe
Booster	trappe latérale	servomoteur	Le servomoteur tourne et libère un crochet retenant la trappe (photo)
Souvenir	trappe latérale	moteur	Une lame de cutter est soudée sur l'axe du moteur. Elle vient couper une ficelle retenant la trappe (photo)

Nous avons alors commencé à tracer des [plans](#), actualisés au fur et à mesure de l'arrivée du matériel (servomoteur un peu encombrant par exemple), parfois modifiés compte tenu des contraintes lors de la fabrication.

2. La minuterie :

Nous avons opté pour des minuterie électronique. Même si elles diffèrent selon le système d'éjection, elles sont toutes conçues autour du même montage de base : **un condensateur en série avec une résistance**. En effet, lorsque ce circuit est alimenté, la tension aux bornes du condensateur augmente progressivement (il se charge). Un circuit intégré va comparer cette tension à une valeur de référence fixée, ce qui déclenchera l'éjection. La durée mise par la tension pour atteindre la valeur de référence sera déterminée à l'aide d'un logiciel dédié aux mini-fusées (*Trajec*, téléchargeable sur le site de Planète Sciences) et réglée à l'avance.

[Exemple de minuterie](#)

Mais comment indiquer à la minuterie quand doit commencer son décompte ?

Le condensateur est préalablement court-circuité (ceci empêche sa charge). Le décompte débute donc lorsqu'on supprime le court-circuit, ce qui est réalisé au décollage : le court-circuit, lié au sol, est arraché ([initialisateur](#))

La conception des circuits est trop compliquée pour nous, par contre nous avons réalisé l'implantation des composants et les [soudures](#) sur des « [plaques à trous](#) ».

Pour finir concernant l'électronique, ajoutons qu'il faut une source d'énergie pour alimenter les circuits : la pile est la plus adaptée. La mise en fonction des différents systèmes (éventuellement visualisée par des DEL) est assurée par des interrupteurs (visibles ci-dessus sur [initialisateur.doc](#))

3. Les autres éléments :

➤ Le corps

Il s'agit, pour tous les groupes, d'un tube de carton épais, pas toujours évident à trouver compte tenu de quelques contraintes : longueur (1m), diamètre (5 à 6 cm), épaisseur (2 à 3 mm), résistance, courbure (flèche 1%)

➤ L'ogive

Deux solutions ont été envisagées.

La première utilise de la mousse polyuréthane, emprisonnée dans une bouteille plastique pour la préformer, puis taillée aux dimensions voulues. La seconde solution met en œuvre du polystyrène extrudé pour l'isolation, taillé lui aussi.

Dans les deux cas, les [ogives](#) sont peintes et vernies.

➤ Les ailerons

Ils sont fabriqués à la fin pour pouvoir adapter leurs dimensions aux caractéristiques déjà établies comme la masse de la fusée, la longueur du corps, la position du centre de gravité. C'est à nouveau le logiciel [Trajec](#) qui permet de déterminer les dimensions des ailerons.

L'ISPA (Institut Supérieur de Plasturgie d'Alençon) nous ayant gracieusement fourni des plaques de PVC, c'est ce matériau que nous utilisons pour leur [fabrication](#).

Remarque :

L'intérieur du corps de la fusée étant très peu accessible (par le haut ou le bas uniquement, par la trappe s'il y en a une) tous les systèmes internes (éjection, minuterie, ...) doivent constituer un seul [bloc](#) fabriqué à l'extérieur et inséré en dernière minute.

Lancement du 24 mai 2005 à Espins :

1. La qualification des fusées :

Avant de pouvoir projeter les fusées dans les airs, il faut qu'elles soient qualifiées. La [qualification](#), qui consiste à vérifier que les fusées sont conformes au cahier des charges, a été réalisée par trois « lanceurs » de Planète Sciences (ce sont aussi eux qui organisent ensuite le lancement). Elle a duré toute la matinée, et n'a pas été sans stress pour certain(e)s à cause de soucis divers.

- Pour RAG3L et Souvenir, aucun problème.
- Pour Booster, une trappe s'ouvrant un peu trop facilement et risquant donc d'être éjectée au cours de l'ascension de la fusée. Une légère modification de la position du crochet retenant la trappe et quelques renforts ont suffi.
- Pour Ze Game, des ailerons de largeur juste à la limite acceptable ont dû être un peu allongés (carton + colle forte + ruban adhésif en renfort)
- Pour Saperliposalopette, Alice, Esther et Nathalie ont eu de sérieuses inquiétudes. L'éjection du parachute par l'ogive n'était pas suffisamment fiable. En effet, il risquait de se bloquer dans son logement, d'autant qu'il était plié serré compte tenu du peu de place disponible. Les filles avaient pourtant pensé à un petit « [parachute d'extraction](#) », qui tirerait le parachute principal. Pas satisfaisant. C'est alors qu'Olivier, le lanceur qui contrôlait cette fusée, est intervenu. Muni de son expérience, il a trouvé une [solution](#) : quelques cales en mousse pour rehausser le parachute dans son logement et garantir ainsi une éjection parfaite. 13h30 sonnait (les contrôles auraient dû être terminés vers midi !) et les filles étaient soulagées... merci Olivier !

4. Le lancement :

Nous voilà fin prêts sur l'aire de lancement.



- *La première fusée* sur le [pas de tir](#) fut RAG3L; peut-être la plus fiable lors des nombreux tests préliminaires... Elle n'est toutefois pas partie : l'inflamateur a brûlé inopinément alors qu'elle était encore au sol. Retour parmi le public pour remettre un nouvel inflamateur et vérifier la minuterie.
- *Seconde fusée* : Souvenir. Retour aussi pour un fil maintenant la trappe, tendu trop fort, qui s'est rompu au sol (un peu de stress pourrait-il expliquer ceci ?)
- *Troisième fusée* : Ze Game. Là aussi, faux départ. Mais ce n'était pas de notre faute, c'est le propulseur qui n'a pas démarré. Les lanceurs ont réglé le problème et enfin Ze Game a [décollé](#) pour un vol parfait (on dit nominal, c'est à dire avec ascension verticale puis déploiement correct du parachute). Il était temps, le public commençait à s'impatienter. (c'est ça les technologies de pointe, ça ne marche pas toujours du premier coup !)
- *Quatrième fusée* : celle des filles. Beaucoup d'inquiétudes le matin... pour un vol nominal exceptionnel ! ([la descente](#))
- *Cinquième fusée* : Booster. Une belle ascension mais une trappe qui ne s'ouvre pas (on a du trop bien la fixer le matin). C'est un vol dit « balistique », et une fusée de 650g qui tombe sans son parachute d'une petite centaine de mètres, ça donne [ce résultat là](#).

Mais n'oublions pas RAG3L et Souvenir ([photo](#) à l'issue du vol), qui après leur remise en état ont effectué des vols nominaux magnifiques.

Hauteurs atteintes (en m):

Booster	RAG3L	Ze game	souvenir	saperlipo
145	157	112	145	95

[Détail des calculs](#)

5. Bilan de cette journée :

Les qualifications furent angoissantes, les dysfonctionnements sur le pas de tir encore plus éprouvants. Mais nous retiendrons l'essentiel: 4 vols nominaux sur 5. Sachant que la réussite habituelle est plutôt de l'ordre de 50%, nous sommes fiers du travail réalisé au cours de l'année !

Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes suivantes:

- Stéphane Busbocq, notre suiveur de Planète Sciences, pour ses multiples conseils.
- Mr Lefevre et Mr Adde, de la mairie d'Alençon, pour nous avoir permis de lancer nos micro-fusées au stade J. Fould.
- Mr Cauret, de l'Institut Supérieur de Plasturgie d'Alençon, pour nous avoir donné des plaques de PVC.
- Mr Lesourd, l'assistant du collège, pour ses conseils concernant l'usinage de nombreuses pièces et sa disponibilité.
- Les professeurs qui nous ont aidés (Mme Lusseau, Mr Frileux, Mr Müller)

Si vous souhaitez obtenir certains documents au format word ou open office, n'hésitez pas à contacter l'enseignant responsable de cet atelier scientifique à l'adresse suivante: julien.tresarrieu-besincq@ac-caen.fr

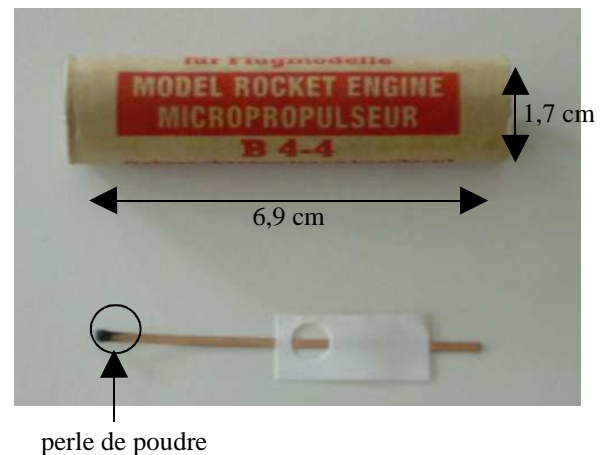
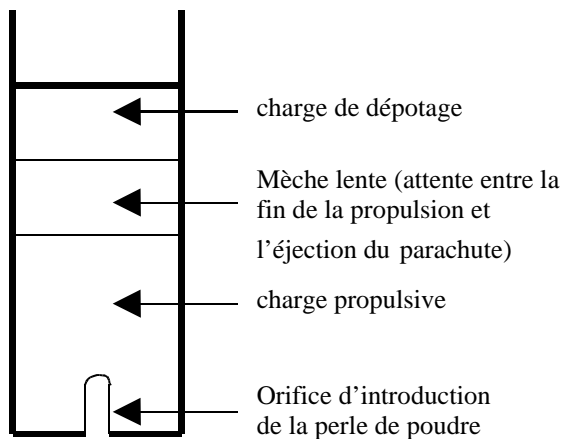
Annexes

La fabrication des micro-fusées

La réalisation d'une micro-fusée est assez simple.

- Pour le corps, il faut un tube du bon diamètre, c'est à dire légèrement supérieur à celui des propulseurs. Le CNES, par l'intermédiaire de Planète-Sciences, fournit des tubes en carton épais ajustés pour cette utilisation (2cm de diamètre).
- Les ailerons sont généralement en matière plastique ou en carton, découpés au cutter, puis collés sur le corps.
- L'ogive peut être en papier, mais on utilise plutôt le balsa, auquel on peut facilement donner la forme souhaitée.
- Une micro-fusée est munie d'un petit parachute, pour la ralentir à la descente, mais surtout pour la repérer et la récupérer après son retour au sol. Il est éjecté vers le haut, en poussant l'ogive à l'extérieur, grâce à une faible charge de poudre (dite de dépotage) entrant en combustion en fin de phase propulsive.
- Les propulseurs, également disponibles auprès de Planète-Sciences, sont mis en œuvre à distance grâce à une perle de poudre introduite dans le propulseur, elle même mise à feu par un court-circuit.

Les propulseurs



Les propulseurs peuvent avoir des caractéristiques différentes (puissance et durée de propulsion, durée de mèche lente) mais ont tous les mêmes dimensions extérieures.

La ligne de mise à feu

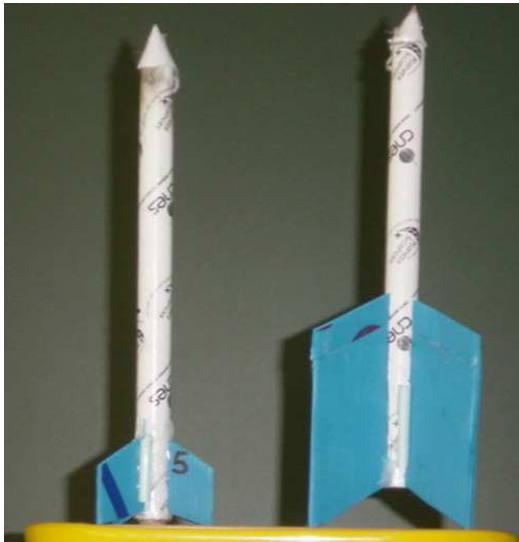


Photos de la première campagne de lancements



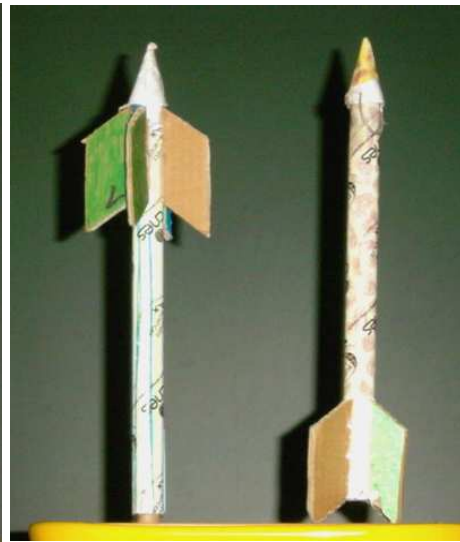
Etude des paramètres de stabilité

Dimension des ailerons



Même forme et même position des ailerons - même longueur de corps

Position des ailerons



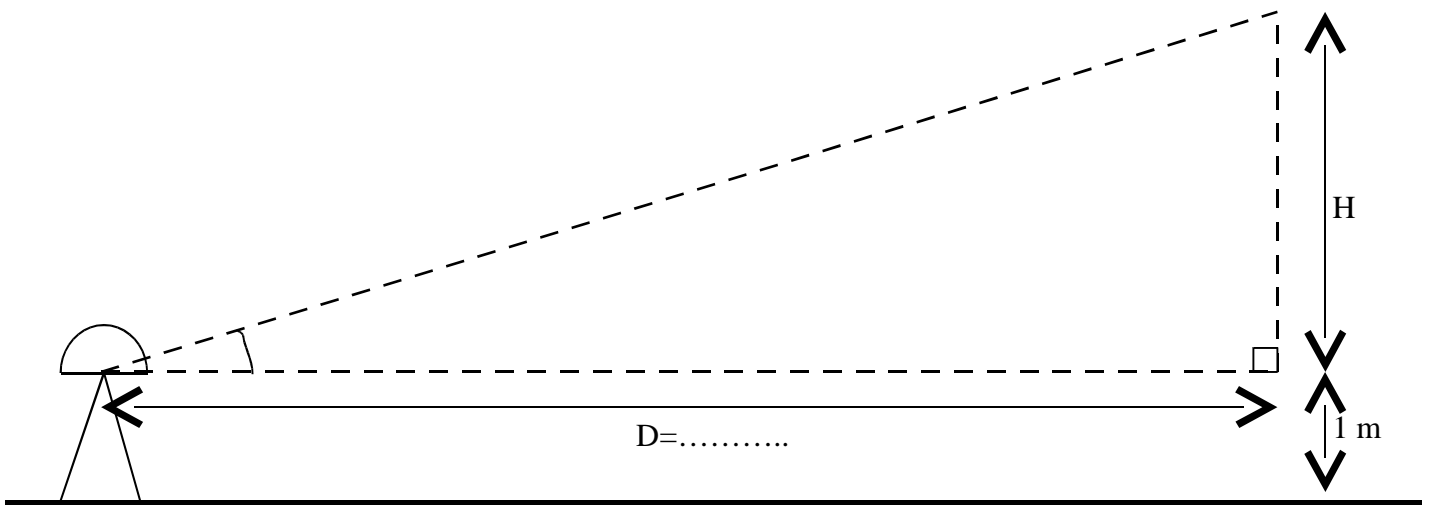
Même forme et même surface des ailerons - même longueur de corps

Forme des ailerons



Même surface et même position des ailerons - même longueur de corps

DETERMINATION DE LA HAUTEUR ATTEINTE PAR LA FUSEE

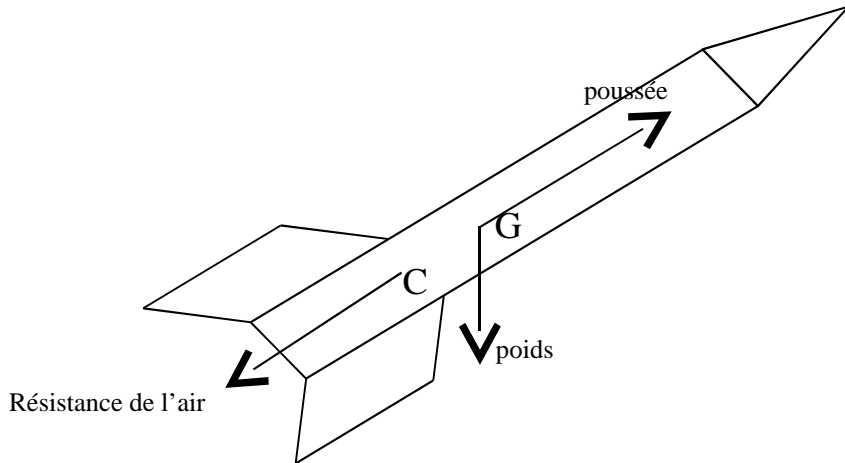


	Angle (°)	Tangente	Hauteur : $H = D \times \tan()$
Fusée 1			
Fusée 2			
Fusée 3			
Fusée 4			
Fusée 5			
Fusée 6			
Fusée 7			
Fusée 8			
Fusée 9			
Fusée 10			

Conditions de vol stable d'une fusée

Définition : Une fusée est stable si elle retrouve naturellement sa position initiale lorsqu'elle en a été éloignée à cause d'une perturbation (vent par exemple). Dans la pratique, une fusée stable a une trajectoire droite et quasi verticale.

Pour définir les critères de stabilité, il faut s'intéresser aux forces appliquées à la fusée en cours de vol.



G : centre de gravité (point d'équilibre des masses)

C : centre de poussée aérodynamique (centre des surfaces, qui est l'équivalent du centre de gravité, mais pour les surfaces. On pourrait dire « point d'équilibre des surfaces »)

Ces 2 points d'application C et G ne sont pas confondus. Pour qu'une fusée soit stable, il y a 2 conditions sur leur position :

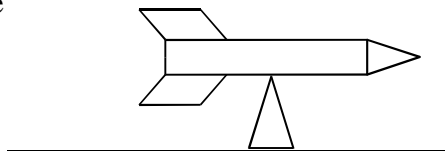
1. Le centre des surfaces C doit être **sous** le centre de gravité **G**.
2. Il doit y avoir un certain écart entre eux. Cet écart est appelé Marge Statique et noté **MS** (c'est donc en fait la distance entre C et G)
 - Ainsi, une fusée est stable si **$1 \times \text{diamètre}_{\text{tube}} < MS < 3 \times \text{diamètre}_{\text{tube}}$**
 - Une fusée est **instable** si $MS < 1 \times \text{diamètre}_{\text{tube}}$ (cas d'une **fusée se retournant continuellement**)
 - Une fusée est **surstable** si $MS > 3 \times \text{diamètre}_{\text{tube}}$ (cas d'une **fusée oscillant fortement puis se couchant à l'horizontal**)

En pratique, pour une micro-fusée, sachant que le $\text{diamètre}_{\text{tube}} = 2\text{cm}$, il faut :

1. C sous G
2. $2 \text{ cm} < MS (= \text{distance entre C et G}) < 6 \text{ cm}$

Détermination de la position de G :

En cherchant l'équilibre



Détermination de la position de C :

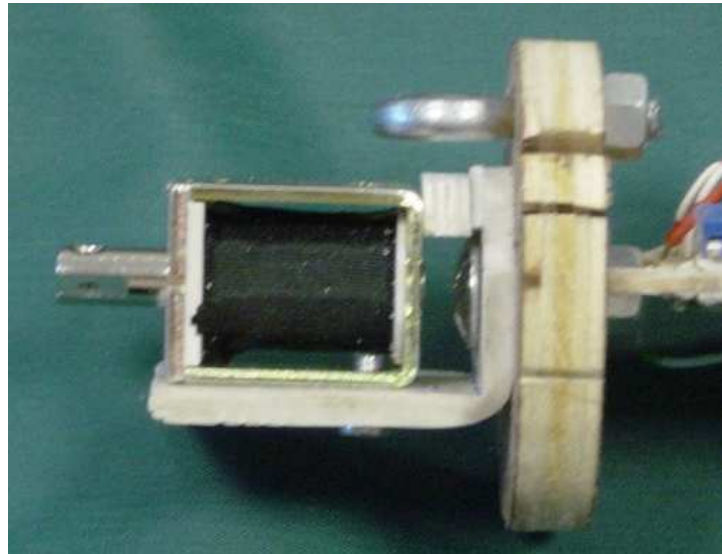
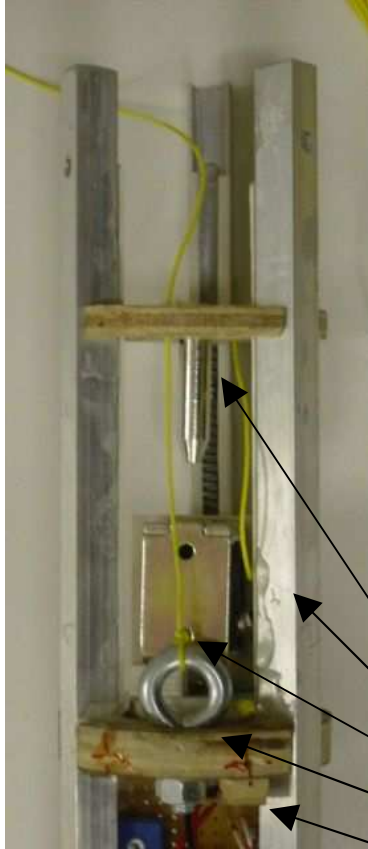
« A la main », grâce à l'expérience acquise, ou à l'aide d'un logiciel informatique (nommé **Carina** pour les micro-fusées). Le détail des calculs ainsi que le logiciel sont disponibles sur le site www.planete-sciences.org/espace en cliquant sur l'onglet *publications*.

Remarque : la réalité est plus complexe. En effet, le propulseur se vide de sa poudre au cours du vol, le centre de gravité se déplace donc ...

Fiche de suivi mini-fusées

		Ze Gam e	Sape rlisal opett e	RA G3L	Boo ster	Sou veni r
Architecture générale	Conception					
	Réalisation					
Cloisons	Conception					
	Réalisation					
Actionneur éjection (fixation, emplacement ...)	Conception					
	Réalisation					
Rangement parachute	Conception					
	Réalisation					
Plaque poussée	Conception					
	Réalisation					
Minuterie	Conception					
	Réalisation					
Interrupteurs et DEL	Conception					
	Réalisation					
Piles (implantation, fixation)	Conception					
	Réalisation					
Fixation parachute	Conception					
	Réalisation					
Ailerons	Conception					
	Réalisation					
Ogive	Conception					
	Réalisation					
Trappe	Conception					
	Réalisation					
Corps	Conception					
	Réalisation					
Initialisateur	Conception					
	Réalisation					

Electroaimant



- Plaque support du parachute
- Tube en U en aluminium (un ressort est logé dans chacun d'eux)
- Electroaimant
- Crochet auquel sont accrochés l'ogive et le parachute
- Plaque liée au corps de la fusée

Exemple de minuterie (système pyrotechnique)

schéma électrique

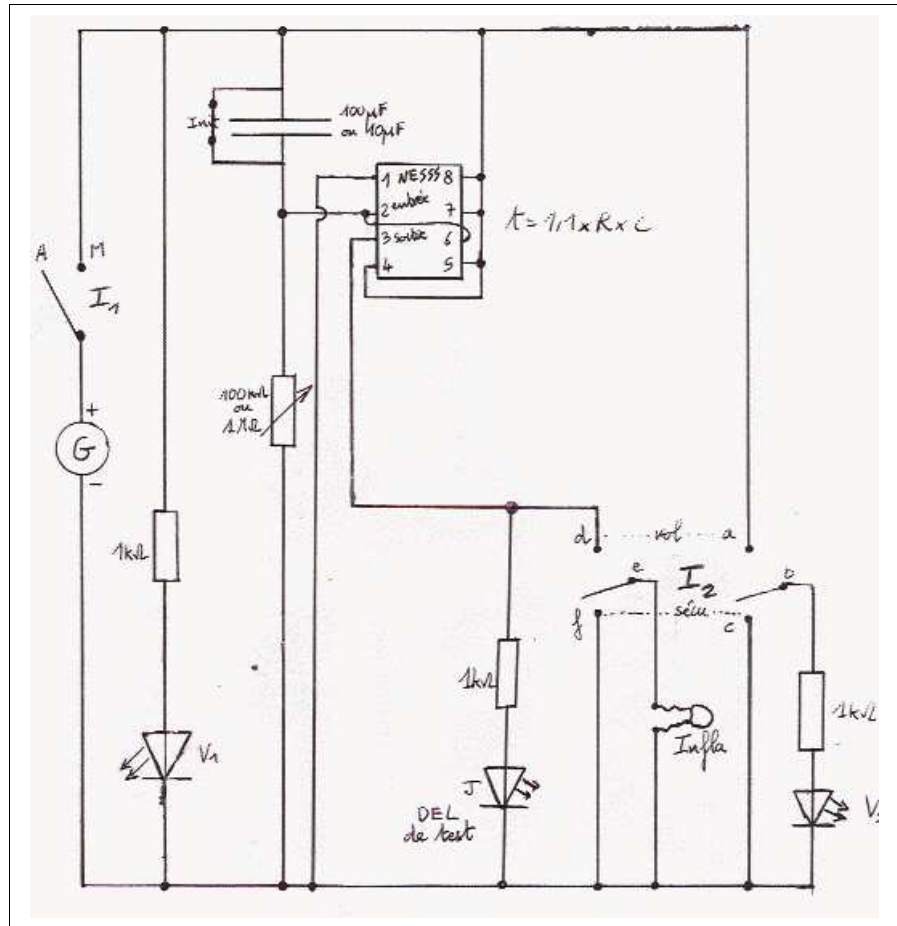
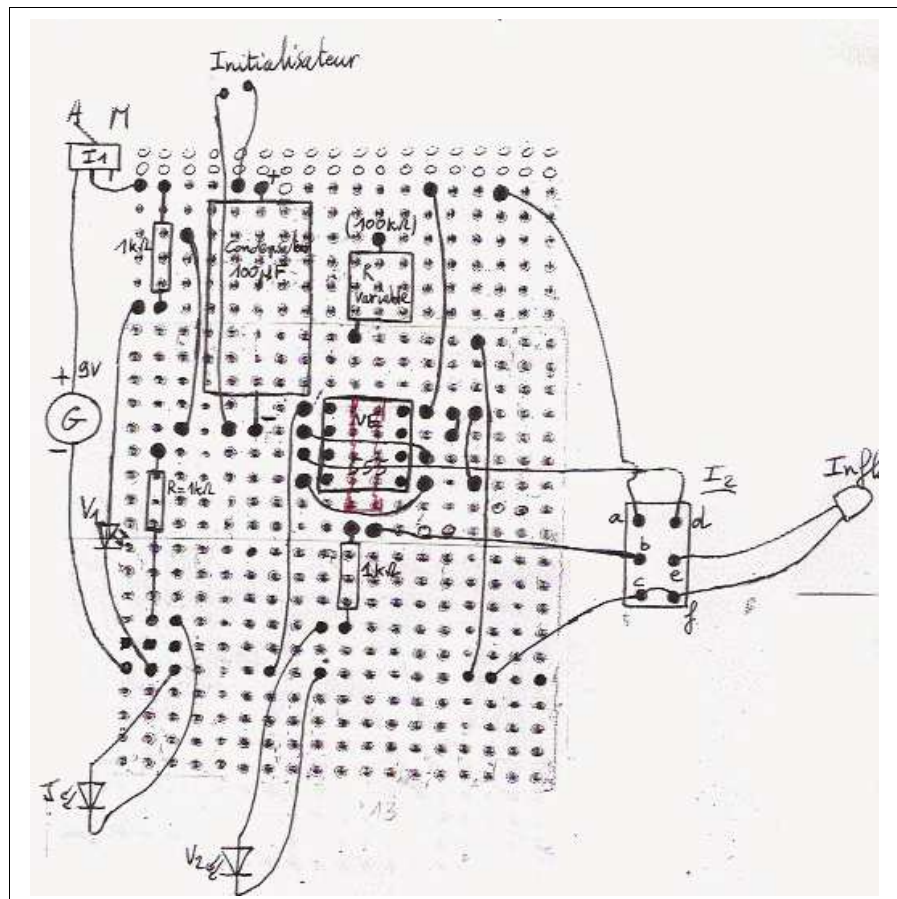
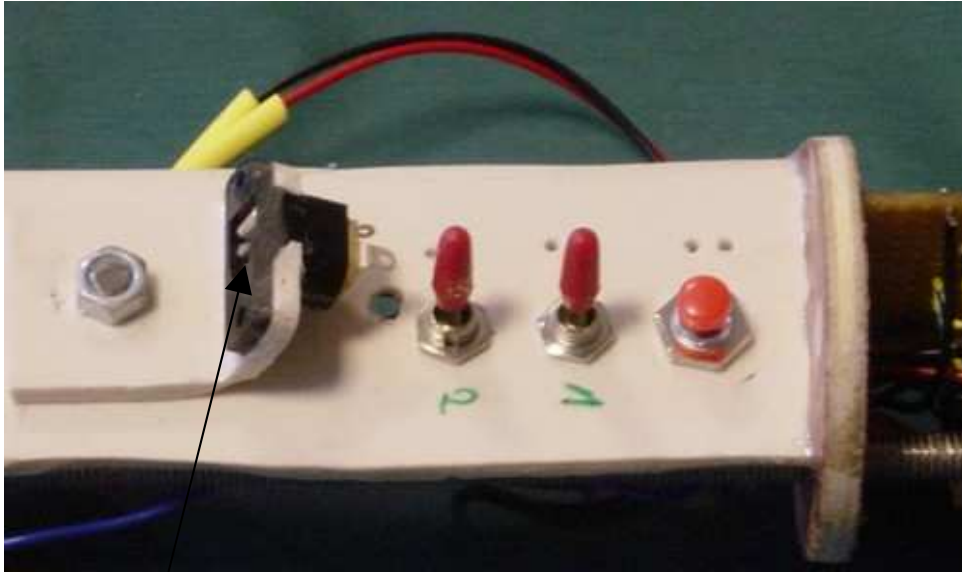


schéma d'implantation des composants



Initialisateur



Partie mâle d'une fiche
d'alimentation, reliée aux bornes du
condensateur.
La partie femelle, liée au sol, produit
le court-circuit

Mardi 24 mai 2005

Compte rendu de la campagne de lancés de fusées.

I – Etude théorique

L'idée est de collecter quelques données afin de déterminer la hauteur h qui correspond à la distance du point de culmination au sol. Les données sont :

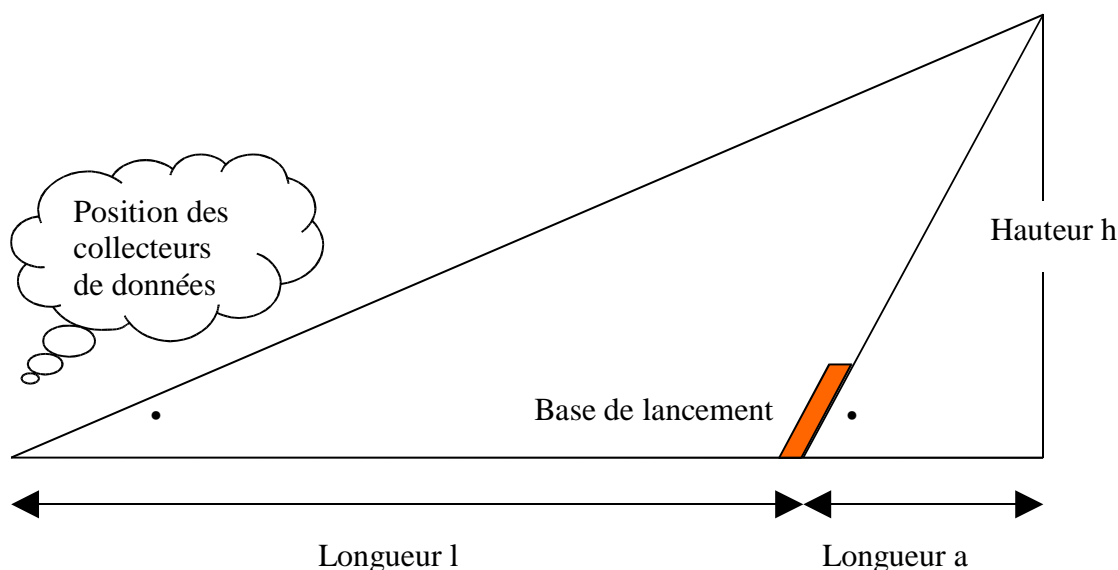
L'angle de mesure α que fait l'axe « position des observateurs – point de culmination » avec l'horizontale.

L'angle de mesure β que fait l'axe « position base de lancement – point de culmination » avec l'horizontale.

La longueur l correspondant à la distance du point de position des observateurs au point de position de la base de lancement.

La longueur x qui correspond à la distance du point de position de la base de lancement au pied de la hauteur passant par le point de culmination.

Bien sûr, il aurait fallu se positionner comme sur le schéma ci-dessous c'est-à-dire exactement dans le plan défini par les points position des collecteurs, point de position du lanceur et le pied de la hauteur. Pour des raisons de sécurités et des contraintes de terrains nous n'avons pu respecter ces conditions ce qui aura une incidence sur les résultats



$$\tan \alpha = h / (l+a) \text{ et } \tan \beta = h / a, \text{ d'où, après quelques lignes, } h = l \times (\tan \alpha \times \tan \beta) / (\tan \alpha - \tan \beta)$$

II – Techniques de mesure :

Pour mesurer l'angle α nous disposons d'un appareil ingénieusement fabriqué avec un rapporteur mobile selon deux plans (plan horizontal et plan vertical) et équipé d'un système de visée.

L'angle α nous était donné par la personne qui effectuait le lancement. Cette valeur dépend de la vitesse du vent.

La longueur l est déterminée par la connaissance des coordonnées géodésiques du point « position de collecteurs » et du point de la base de lancement. Ces coordonnées ont été collectées avec un GPS.

III – Données et calculs

Coordonnées géodésiques :

De la base de lancement : $49^{\circ} 01' 29,8''$ N ; $0^{\circ} 27' 5,2''$ W

De la position des collecteurs de données : $49^{\circ} 01' 29''$ N ; $0^{\circ} 27' 0,5''$ W

Calcul de la distance, notée l , de la base à la position des collecteurs :

1 minute d'angle (soit 60 secondes) vaut 1 NM (1 mille nautique) soit 1852 m.

un produit en croix donne alors $(29,8-29) \times 1852/60 = 25$ m sur l'axe nord-sud et $(5,2-0,5) \times 1852/60 = 145$ m sur l'axe est-ouest.

il faut alors appliquer le théorème de Pythagore pour avoir l :

$$l^2 = 145^2 + 25^2 \text{ d'où } l = \underline{147 \text{ m}}$$

Nom de la fusée	Angle • (en °)	Angle • (en °)	Hauteur (en m) non corrigée
Booster (grise)	40	80	145
RAG 3L (bleue)	42	80	157
Ze game (orange)	34	80	112
Souvenir (rouge)	40	80	145
Saperlipo (jaune)	30	80	95

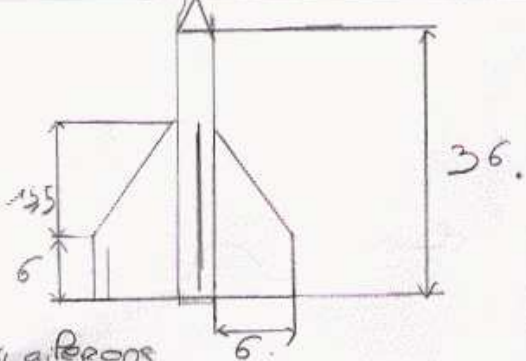

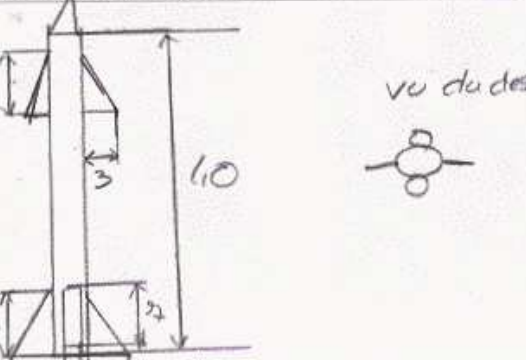
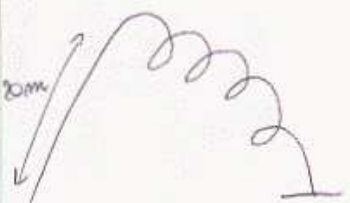
Mesures réalisées par Tristan Barbé et Maxime Leblanc, élèves de 3^{ème}

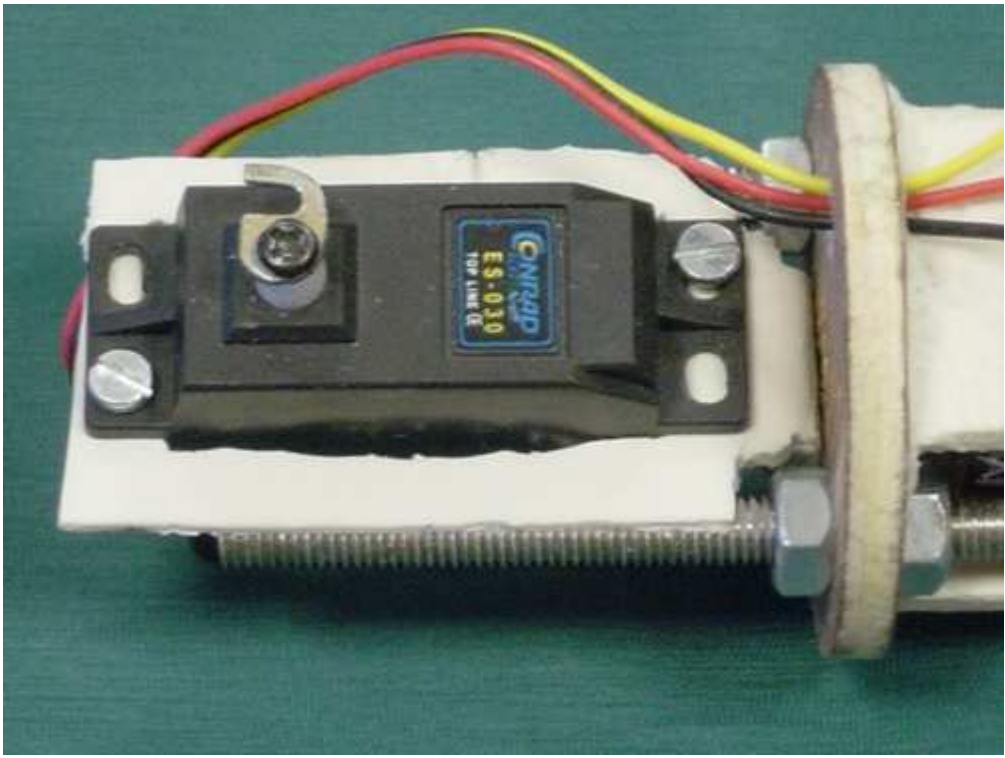
Document rédigé par Mr Frileux, professeur de mathématiques

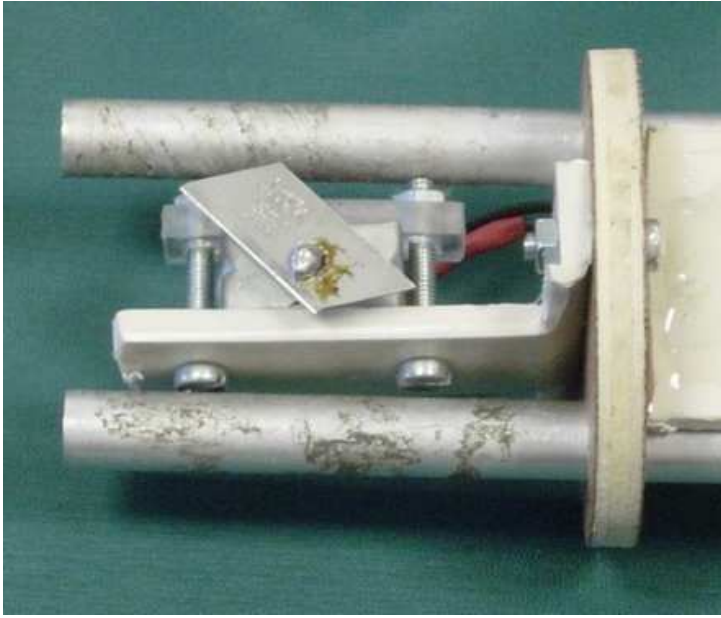


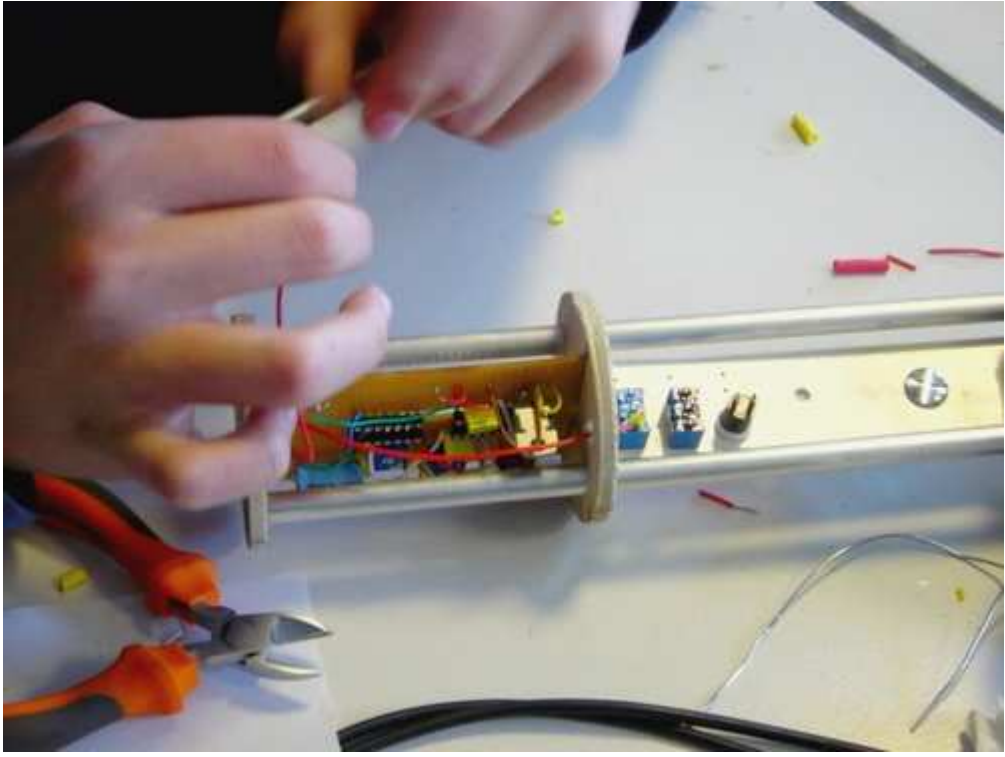


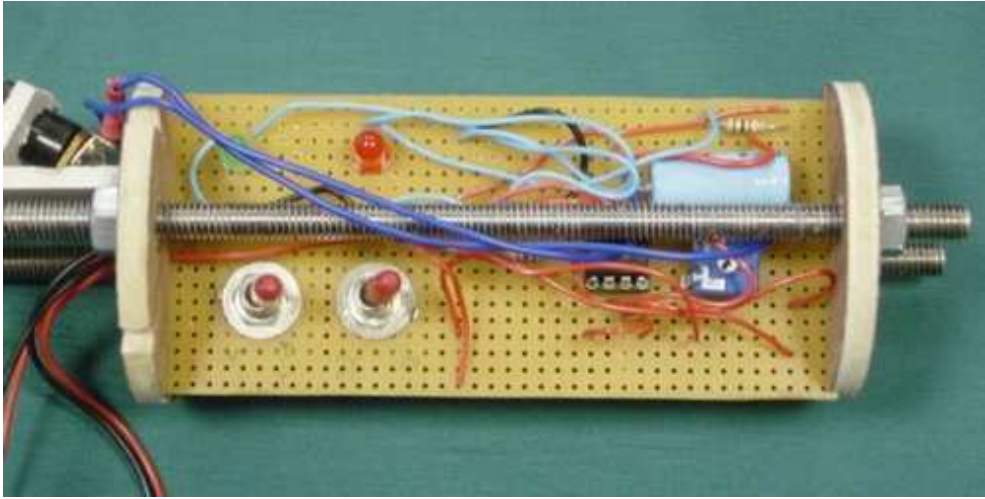
COMPTE-RENDU DE LANCEMENT 1

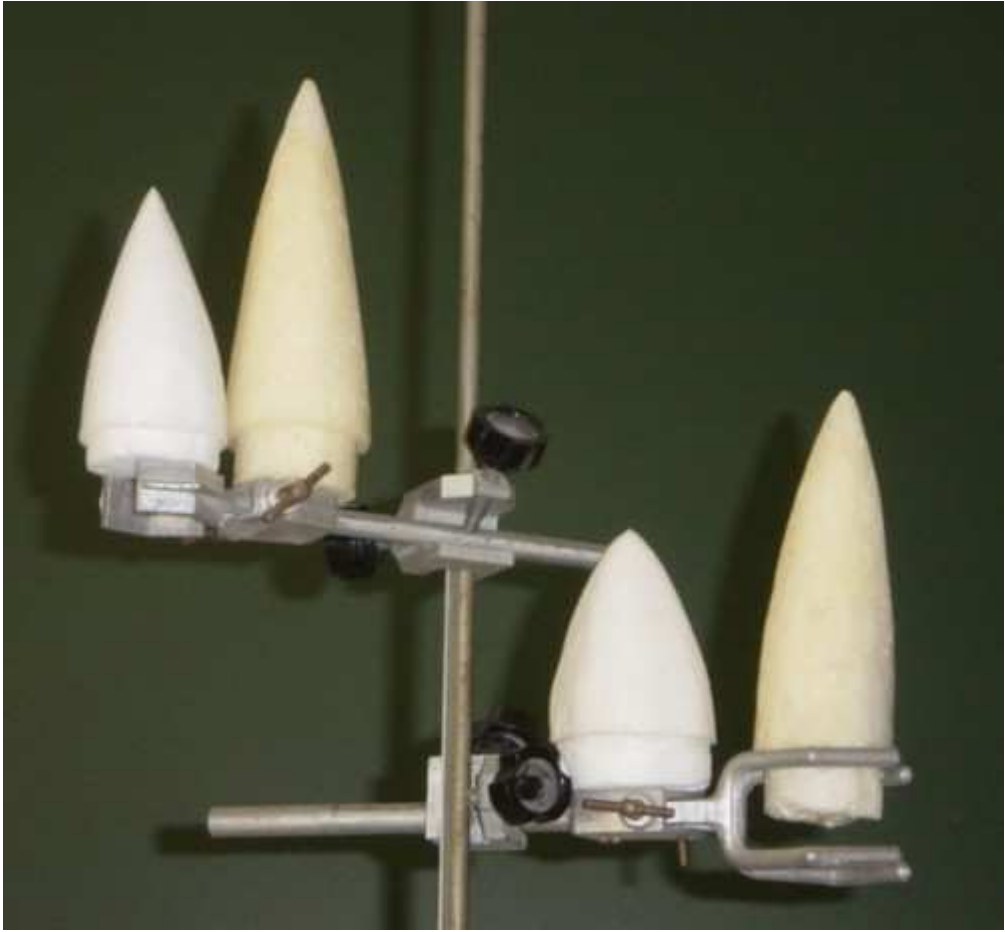
Schéma et dimensions	Trajectoire	Commentaires sur le vol
 <p>4 ailerons constructeurs Alexandre</p>		<ul style="list-style-type: none"> - montée courte - vol horizontal en tonneaux. - une fois horizontal assez "correct"
 <p>vu du dessus</p> <p>constructeurs Tubus / Eubron</p>		<ul style="list-style-type: none"> - courte montée verticale - la fusée se couche puis tombe en vrille - dépôtage au sol



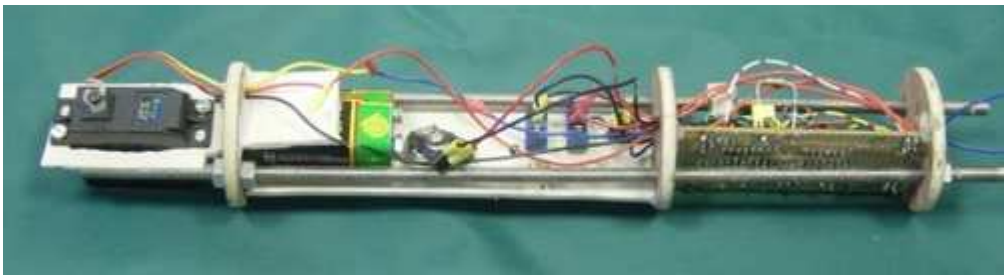
















Nous sommes sérieux et un peu stressés !



2 élèves de 4^{ème}, déjà inscrits à l'atelier de l'an prochain, qui espionnent leurs aînés !

Olivier : un des 3 lanceurs

Thibaud et Baptiste : les constructeurs



Les tournevis de précision... sans eux, pas de fusées !



Il faut au moins six mains pour un parachute !



Olivier, notre sauveur !

← Cale en mousse





Suivez mon beau panache blanc !



On a bien cru qu'on ne le verrait jamais
s'ouvrir ce parachute !



Stéphane, notre suiveur
tout au long de l'année

Un des lanceurs, qui remplit le
compte-rendu destiné au CNES



A l'intérieur, tout est déchiqueté. Même la pile a été déformée !