

Projet de Physique P6
STPI/P6/2013 – 9

**AMÉLIORATION DU FONCTIONNEMENT
D'UN AÉROSTAT À AIR CHAUD**



Etudiants :

Basile DUTRONC

Nicola JANHO

Yuqing LI

Hélène MARIE

Nicolas ROMAGNY

Camille SCOTTO D'APOLLONIA

Enseignant-responsable du projet :

Didier Vuillamy

Date de remise du rapport : **17/06/2013**

Référence du projet : **STPI/P6/2013 – 9**

Intitulé du projet : **Amélioration du fonctionnement d'un aérostat à air chaud**

Type de projet : **Expérimentation, modélisation, bibliographie**

Objectifs du projet : **Les objectifs de ce projet étaient d'améliorer le brûleur, le support de lancement ainsi que les capacités isolantes de l'aérostat. Nous avons de plus cherché à mesurer la température à l'intérieur du ballon ainsi que les différentes puissances développées par les brûleurs dont nous disposions.**

Mots-clefs du projet : **Amélioration – Expérimentation – Ballon à air chaud – Groupe**

TABLE DES MATIÈRES

1. Présentation du projet.....	7
1.1. Historique du ballon à air chaud	7
1.1.1. La montgolfière.....	7
1.1.2. Le ballon à gaz.....	7
1.1.3. Le dirigeable.....	7
1.1.4. Le ballon stratosphérique.....	8
1.2. Reprise du projet de l'an passé.....	8
1.3. Objectifs.....	8
2. Organisation du travail.....	9
3. Travail réalisé et améliorations apportées.....	10
3.1. Calculs préliminaires.....	10
3.1.1. Mesure du débit de la bouteille de gaz et calcul de la puissance du brûleur utilisé l'an dernier.....	10
3.1.2. Calcul théorique de la température minimale pour le décollage du ballon.....	11
3.1.3. Trace de la courbe de la poussée en fonction de la température du ballon et de la température ambiante.....	12
3.1.4. Masse soulevée par l'aérostat en fonction du temps.....	13
3.2. Support de lancement.....	13
3.3. Brûleur.....	14
3.3.1. Réalisation du nouveau brûleur	15
3.4. Caméra thermique.....	16
3.5. Couverture de survie.....	17
3.5.1. L'idée.....	17
3.5.2. La réalisation.....	17
3.5.3. Test de résistance de la couverture de survie.....	20
3.6. Caméra embarquée.....	21
3.7. Problèmes rencontrés.....	21
4. Ressentis du groupe et conclusion.....	23
5. Bibliographie.....	26

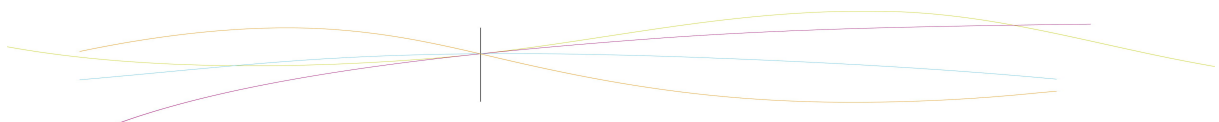
REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions M. Vuillamy pour son aide, ses conseils et sa motivation qui nous ont beaucoup apporté lors de ce projet.

Nous souhaitons ensuite remercier les laborantines de l'INSA de Rouen qui nous ont prêté du matériel, un bec bunsen notamment, et qui nous ont mis du matériel à disposition pour le test sur la couverture de survie.

Nous souhaitons également remercier le comité d'établissement de la SNECMA pour la location de la caméra thermique.

Enfin, nous souhaitons remercier nos amis étudiants qui nous ont soutenus et aidés à utiliser le logiciel Maple que nous ne maîtrisons pas.



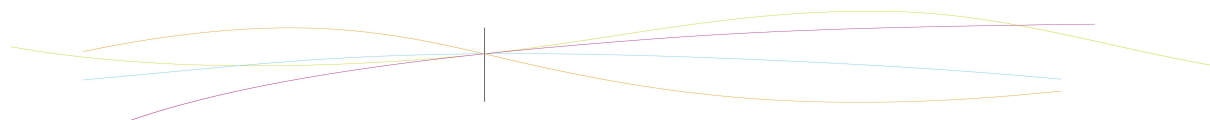


Introduction

Le projet physique de deuxième année en cycle STPI a pour but de confronter les élèves ingénieurs à un problème concret. Il permet ainsi aux étudiants de travailler en groupe tout en exploitant les connaissances de physique acquises jusqu'alors. Ce projet a également comme objectif de les initier à la gestion de projet qui fera partie intégrante de leur futur métier d'ingénieur. Il leur permet ainsi de comprendre à petite échelle la mise en œuvre d'un projet avec l'ensemble des contraintes qui y sont liées.

Notre projet a été d'apporter des améliorations à l'aérostat réalisé l'an dernier par des élèves en STPI 2. Ceux-ci avaient réalisé un travail formidable, en concevant le ballon et le support de celui-ci, puis en testant différentes possibilités concernant le moyen d'y apporter la chaleur.

Dans un premier temps nous présenterons le projet, la notion d'aérostat ainsi que les objectifs que nous nous étions fixés. Nous aborderons ensuite l'organisation du travail, avant de se concentrer sur les améliorations que nous avons apportées à l'aérostat.



1. PRÉSENTATION DU PROJET

1.1. Historique du ballon à air chaud

Un aérostat, ou aéronef, est un appareil qui se maintient dans l'atmosphère grâce à un gaz plus léger que l'air. Le principe est en effet de rendre un objet plus léger que l'air (avec de l'air chaud, ou avec un gaz comme l'hydrogène par exemple).

Il existe différents types d'aérostats :

- la montgolfière ou ballon à air chaud
- le ballon à gaz
- le dirigeable, ballon à gaz muni de moteurs lui permettant de se diriger
- le ballon stratosphérique, ballon à gaz conçu pour monter dans la stratosphère.

1.1.1. La montgolfière

La montgolfière a été inventée en 1782 par les frères Joseph et Etienne Montgolfier. Alors que les effets de variations d'altitude sur un organisme vivant n'étaient pas connus, les frères Montgolfier décidèrent tout d'abord d'envoyer un mouton, un canard et un coq pour le premier vol habité. Celui-ci fut suivi quelques mois plus tard par un vol humain. Les frères Montgolfier ne volèrent pas eux-même car ils avaient promis à leur père qu'ils ne voleraient jamais dans leur ballon. C'est donc Jean-François Pilâtre de Rozier et le Marquis d'Arlandes qui prirent place dans la nacelle le 21 novembre 1783.

1.1.2. Le ballon à gaz

Contrairement à la montgolfière, dont l'enveloppe est gonflée d'air chaud, le ballon à gaz contient un gaz moins dense que l'air à température identique, en général du dihydrogène ou de l'hélium.

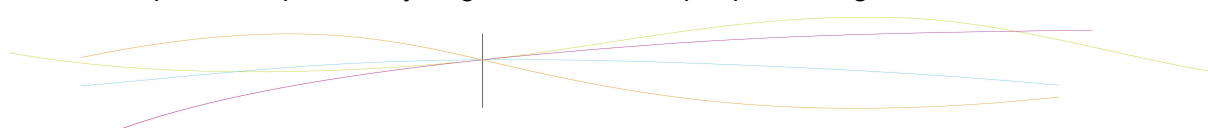
C'est quelques jours après les frères Montgolfier que le physicien Jacques Charles fait voler son ballon, gonflé au dihydrogène. Le dihydrogène étant un gaz extrêmement inflammable, on note quelques accidents, dont la mort de Jean-François Pilâtre de Rozier qui était le premier humain à voler. En effet, son ballon combiné d'air chaud et de dihydrogène, aérostat hybride constitué d'un ballon à gaz enfermé dans une enveloppe de montgolfière prit feu et chuta.

1.1.3. Le dirigeable

Le dirigeable se distingue des autres types de ballons, des montgolfières et des ballons à gaz libres qui subissent les vents et ne sont donc manoeuvrables que verticalement. Pour se déplacer, les dirigeables utilisent la propulsion par hélices. Autrement dit, le dirigeable est un ballon à gaz équipé de moteurs, soit à explosion soit électriques.

Le dirigeable Zeppelin LZ 129 *Hindenburg* était un aéronef allemand; il s'agit du plus grand jamais construit. Son vol inaugural est effectué en 1936. Il est détruit par un incendie, le 6 mai 1937, lors de son atterrissage à Lakehurst dans le New Jersey.

Après un voyage sans incident, l'atterrissage est retardé par un orage et un incendie, alimenté rapidement par le dihydrogène, éclate à la poupe du dirigeable.





1.1.4. Le ballon stratosphérique

Un ballon stratosphérique est un aérostat capable d'atteindre la stratosphère. Il existe deux familles de ballons stratosphériques : les ballons stratosphériques ouverts (constitués d'une enveloppe légère, ils sont ouverts par le bas et permettent ainsi à l'hélium de sortir au fur et à mesure de la montée) et les ballons stratosphériques pressurisés (gonflés à l'hélium et constitués d'une enveloppe rigide les empêchant d'éclater).

Ils sont utilisés notamment dans les domaines de la météorologie et de l'aéronautique comme ballon-sonde pour étudier l'atmosphère.

1.2. Reprise du projet de l'an passé

Notre projet est l'amélioration du fonctionnement d'un aérostat à air chaud, il est la continuité de celui de l'année dernière sur l'étude des aérostats. Nous prenons la suite des étudiants de l'an passé qui nous ont laissé un projet bien avancé mais perfectible en de nombreux points.

Récapitulons rapidement le travail réalisé. Après avoir étudié les caractéristiques des ballons à air chaud, le groupe a réalisé son propre ballon et pratiqué quelques expérimentations sur celui-ci.

En début de projet, nous avons donc à notre disposition :

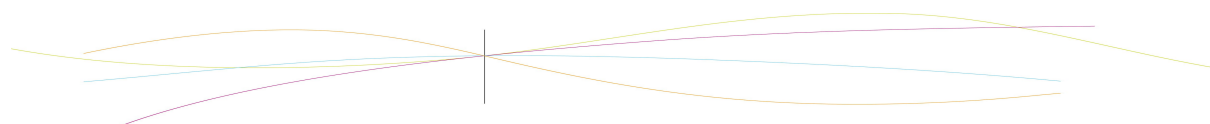
- un ballon réalisé en tissu Skytex 40 composé essentiellement de fibres de nylon. Ce tissu a été choisi pour son faible poids, sa résistance à la température et pour son étanchéité ;
- un brûleur alimenté par un réservoir de gaz de type "Campingaz" ;
- un support de lancement composé d'une perche supportant le ballon par l'intérieur, des barres verticales qui viennent centrer le bas du ballon en assurant un glissement permettant au ballon de s'envoler et d'un tube en aluminium qui permet de transmettre la chaleur directement dans le ballon sans avoir de pertes par les côtés.

Après avoir vu la vidéo du vol du ballon à air chaud lors d'un test de l'année dernière nous avons décidé de poursuivre ce projet ambitieux en apportant des améliorations significatives.

1.3. Objectifs

Comme dans tout projet, il est primordial de se fixer des objectifs afin d'organiser le travail au sein du groupe et dans le temps. Les objectifs forment les résultats que l'on cherche à obtenir. Or, une des conditions *sine qua non* pour atteindre ses objectifs consiste à soigner leur définition : plus les objectifs seront clairement définis, plus on a de chances de l'atteindre. Car comme l'a écrit Sénèque : « *Il n'est point de vent favorable pour celui qui ne sait où il va* ».

Nous avons fixé la plupart des objectifs de notre projet lors des premières séances avant les premiers tests de décollage. Les premières améliorations que nous avons envisagées ont été celles proposées par le groupe de l'année dernière à savoir ajouter un système permettant de manœuvrer le ballon par le biais d'une télécommande et installer une nacelle contenant une caméra qui permettrait de filmer pendant le vol du ballon. M. Vuillamy,





qui avait assisté aux premiers vols du ballon, nous a également fait part du fait que ce dernier ne restait que quelques secondes en l'air après avoir décollé. La première idée que nous avons eue a été d'installer un système de brûleur télécommandé qui se rallumerait et réchaufferait le ballon à l'aide d'une télécommande.

Après avoir effectué quelques recherches, nous avons conclu que la première idée du système de manœuvre télécommandé serait trop difficile à réaliser en une dizaine de semaines, et qu'un brûleur télécommandé serait trop cher et probablement trop lourd pour le ballon. Cependant, nous avons gardé l'idée de la **nacelle** et de la **caméra**. Concernant le temps de vol un peu court, nous avons pensé qu'un moyen de limiter au maximum les pertes d'air chaud pendant le chauffage et pendant le vol serait un bon moyen d'améliorer le ballon. Pour cela nous avons estimé que l'enveloppe du ballon était un élément qui pouvait être amélioré. Nous avons pensé dans un premier temps qu'il serait intéressant de refaire un ballon avec un autre tissu, mais par volonté d'être efficaces, et parce qu'il aurait été difficile de comparer deux modèles probablement un peu différents, nous avons choisi de couvrir la surface intérieure du ballon avec un tissu qui conserve plus la chaleur. C'est ainsi que nous avons pensé à utiliser des **couvertures de survie** composées de Mylar, un polyester notamment utilisé pour la construction des grands ballons d'exploration météorologique.

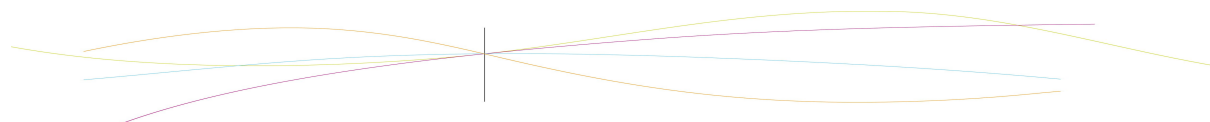
D'autres idées nous sont venues lors des premiers tests de décollage. Tout d'abord, nous avons remarqué que le **système de décollage** n'était pas très pratique à utiliser. Nous avons donc pensé qu'il serait intéressant de le modifier pour plus de facilité d'utilisation. De plus, après des résultats non satisfaisants du **brûleur**, il était nécessaire de le modifier ou même de le remplacer.

Pour que l'on puisse exploiter au mieux nos résultats, il était également nécessaire que l'on ait suffisamment de moyens pour mesurer certaines grandeurs telles que la température. Nous avons donc recherché des appareils de **mesure de température** qui seraient les plus adaptés à notre projet.

2. ORGANISATION DU TRAVAIL

Tout d'abord, la communication ainsi que les discussions entre les membres du groupe s'est faite via réseaux sociaux comme Facebook et essentiellement par mail avec le professeur encadrant. De plus, nous partagions nos rapports et nos résultats sur des sites de partage de fichiers et grâce à des outils de travail collaboratif comme Dropbox et Google Docs. Par conséquent, nous avons pu suivre le progrès de notre projet de n'importe quel endroit avec accès à l'internet. Ce système de communication montre son importance particulièrement pendant nos recherches à la maison.

Nos réunions ont été quasiment systématiques, les vendredis matins sur le créneau dédié au projet et plusieurs samedis après-midi pour les expériences. A chaque réunion nous désignons quelqu'un qui se chargeait de faire un petit compte-rendu de tous les éléments traités, des avancements et des résultats. Nous partagions ensuite le fichier sur la plateforme de travail collaboratif qui nous permettait non seulement de suivre nos progrès, mais aussi cas où quelqu'un était absent, de pouvoir rattraper tout ce qu'il n'avait pas vu pendant la réunion. A la fin de chaque réunion, on se fixait des date limites pour certaines tâches ou certaines recherches à effectuer.





La répartition de travail était faite à chaque séance, de façon à ce que tous les membres du groupe travaillent sur différents aspects de notre projet : la partie des matériaux, le montage, les études théoriques et même la photographie et la documentation. Tout le monde a au moins travaillé une fois dans chacun des aspects cités précédemment.

Voici un diagramme montrant les différentes étapes de notre projet ainsi que le temps que nous avons alloué à chaque étape :

Emploi du temps													
	Semaine												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Recherche Documentaire	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Etude Théorique	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Amélioration Prototype	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Découpage/Collage Mylar	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Tests colle	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Tests Vol	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

figure 1 : Emploi du temps tout au long du projet

3. TRAVAIL RÉALISÉ ET AMÉLIORATIONS APPORTÉES

3.1. Calculs préliminaires

3.1.1. **Mesure du débit de la bouteille de gaz et calcul de la puissance du brûleur utilisé l'an dernier**

Après plusieurs tentatives de vol sans succès de l'aérostat, nous avons décidé de mesurer le débit de gaz de la bouteille, pour déterminer la puissance, pensant que celle-ci était peut-être nettement inférieure à la puissance indiquée par le fabricant. Ainsi, nous avons réalisé l'expérience suivante :

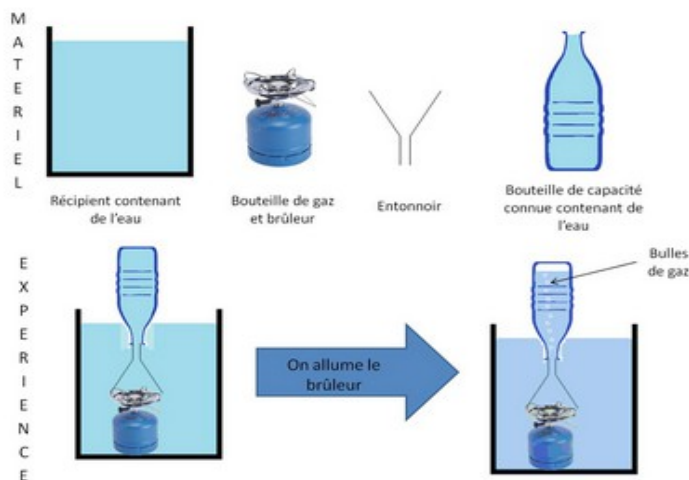
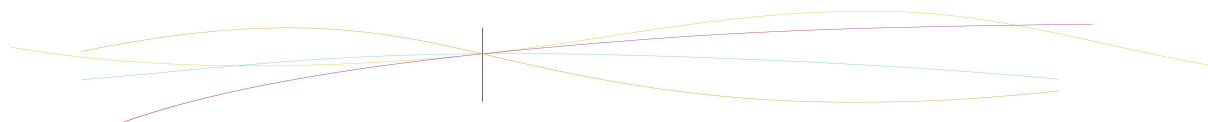


figure 2 : Schéma explicatif de la mesure du débit de gaz





Dès que l'on laisse le gaz s'échapper, on observe des bulles de gaz dans la bouteille en plastique. Celle-ci se vide progressivement, et on mesure le temps que la bouteille met pour se vider.

L'expérience est terminée lorsque la bouteille initialement pleine d'eau est vide et que des bulles de gaz sortent de la bouteille.

Nous avons utilisé une bouteille de capacité 5 litres. Le temps mesuré est de 4 minutes et 1 seconde. Il nous est alors possible de calculer le débit de gaz ainsi que sa puissance et la comparer à celle indiquée par le constructeur.

Données pour le calculs :

$$\begin{aligned} \rho_{\text{butane}} &= 2,48 \text{ kg/m}^3 & 1 \text{ kg (butane)} &\rightarrow 120 \text{ Kcal} \\ m_{\text{ballon}} &= 600 \text{ g} \pm 20 \text{ g} & 0,028 \text{ kg (butane)} &\rightarrow 29,76 \text{ Kcal} = 124,5 \text{ KJ (pour 1L)} \\ V_{\text{ballon}} &= 4,0 \text{ m}^3 & \text{Or Puissance} &= \frac{\text{Energie}}{\Delta \text{temps}} \\ 1 \text{ Kcal} &= 4814 \text{ Joules} & \text{Puissance} &= \frac{124,5 \cdot 10^3}{48,2} = 2,58 \text{ KW} \\ 1 \text{ kg de butane} &= 120\,000 \text{ Kcal} \end{aligned}$$

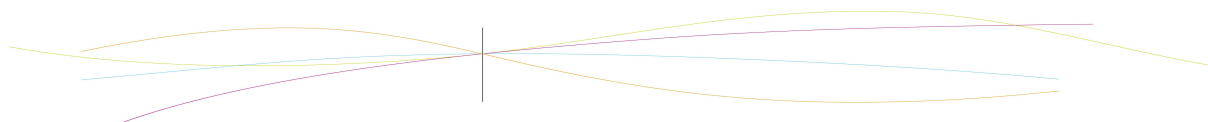
$$\text{Ecart relatif : } \% = (3 - 2,58) \cdot 100 / 3 = 21\%$$



figure 3 : Expérience du débit de gaz

3.1.2. Calcul théorique de la température minimale pour le décollage du ballon.

Lors de nos manipulations du ballon, nous avons mesuré, grâce au capteur de température, que la température à l'intérieur du ballon ne dépassait pas 30°C. Ainsi, nous avons calculé la température minimale à l'intérieur du ballon pour son décollage. Cette température dépend du volume du ballon, de la température ambiante et de la masse du ballon.



$$\rho_{\text{ambient ext}} = 0,029 \text{ kg/mol}^{-1}$$

$$V_{\text{ballon}} = 4,0 \text{ m}^3$$

$$F = \rho V g$$

$$F = \rho_{\text{ballon}} V_{\text{ballon}} (\rho_{\text{ambient ext}} - \rho_{\text{air chaud}}) g$$

$$0,6 = 4,0 * (1,2 - \rho_{\text{air chaud}})$$

$$\Rightarrow \rho_{\text{air chaud}} = 1,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{or } P = \rho \frac{R}{M} T$$

$$10^5 = 1,05 \frac{8,314}{0,029} T$$

$$T = 332 \text{ K} = 59^\circ\text{C}$$

3.1.3. Trace de la courbe de la poussée en fonction de la température du ballon et de la température ambiante

Grâce au logiciel Maple, nous avons pu écrire un programme permettant de tracer l'évolution de la force de poussée en fonction de deux variables : la température du ballon et la température ambiante.

On obtient une courbe surfacique avec des valeurs positives et négatives. Cependant, on ne s'intéresse qu'à la partie positive de la courbe car elle est symétrique.

```

> restart : Vballon := 4 :
  P0 := 1·105 :
  g := 9.81 :
  M := 0.029 :
  R := 8.314 :
> with(plots) : plot3d(
  (( ( ( ( Vballon·P0·g·M ) / R ) · ( 1 / Tambiante - 1 / Tballon ) ) ) , Tballon = 100 ..500, Tambiante
  = 100 ..500 );

```

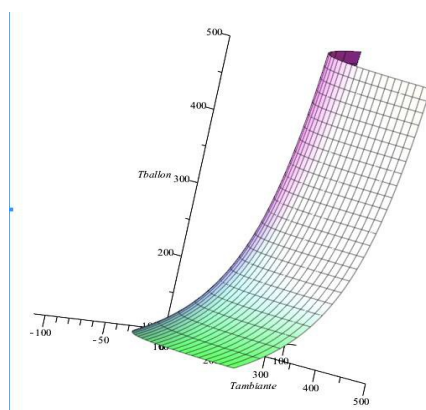
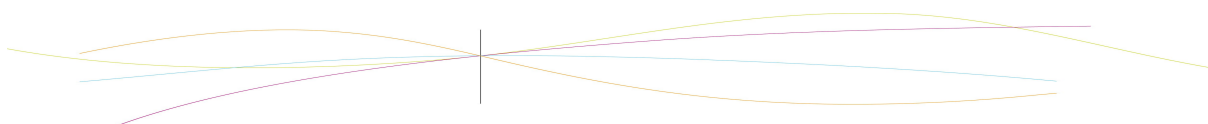
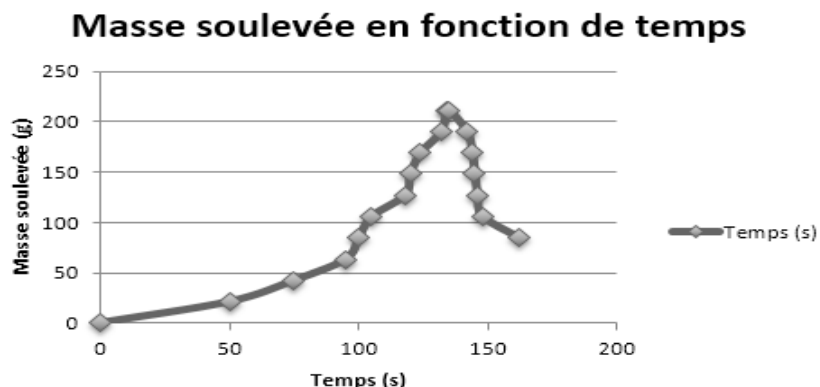


figure 4 : Programme Maple et courbe surfacique représentant l'évolution de la force de poussée en fonction de la température du ballon et de la température ambiante



3.1.4. Masse soulevée par l'aérostat en fonction du temps



Ce graphe représente la masse soulevée par l'aérostat en fonction du temps. Nous l'avons réalisé en attachant une chaîne sous le ballon avant d'allumer le brûleur. Afin de prendre des mesures, nous avons placé des repères réguliers sur la chaîne. Les mesures lors de la montée sont précises car nous avons le temps de noter le temps entre chaque repère. Au contraire, au niveau de la descente du ballon, les intervalles de temps n'étaient pas suffisants pour permettre une mesure précise. Nous n'avons malheureusement pas eu le temps de mettre au point un autre dispositif expérimental plus précis.

De plus, il se peut que la précision des mesures soit affectée lors de la montée par le fait que l'aérostat n'était pas gonflé en début d'expérience. Pour une précision optimale, il aurait fallu que le ballon soit en équilibre et supporte son propre poids dès le début des mesures.

3.2. Support de lancement

Concernant le support de lancement, nous n'avons eu que de petites modifications à effectuer sur le support de lancement. En effet, étant donné que nous avons conservé le prototype de l'année précédente, le support était déjà adapté à notre aérostat. Celui-ci était constitué de trois tiges fixées à une base rectangulaire et d'un trépied surmonté d'une quatrième tige terminée par une planche de bois ayant pour fonction de maintenir le ballon avant que celui-ci ne soit "gonflé". Un tube métallique avait été ajouté au dessus du brûleur afin de conduire la chaleur directement à l'intérieur de l'aérostat.

Nous y avons apporté quelques modifications, notamment au niveau des attaches entre les différentes tiges métalliques que nous avons simplifiées. Nous avons aussi retiré le trépied qui était utilisé dans l'ancien support afin de fixer directement la tige de soutien du ballon à la base de notre support de lancement. En effet, ce trépied n'était pas assez stable, encombrant et n'apportait aucune amélioration significative à la structure. Nous en avons ainsi profité pour remplacer la planche de bois qui servait de support au ballon en une tige surmontée d'un cercle en fil métallique, beaucoup plus pratique et léger. Nous avons fixé cette tige à une des trois autres déjà présentes à l'aide d'attaches en caoutchouc. Ceci a permis une manipulation bien plus aisée de notre support. Finalement, nous avons fixé le tube métallique aux trois tiges avant de le retirer, considérant qu'il ne nous était plus utile avec le nouveau brûleur.

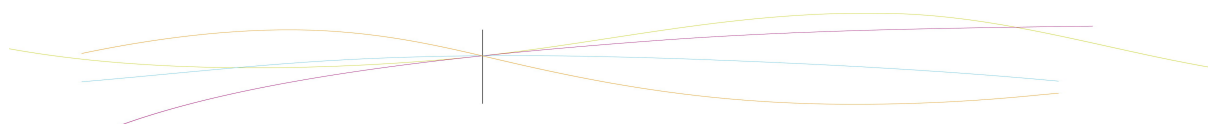




figure 5 : Ancien support de lancement

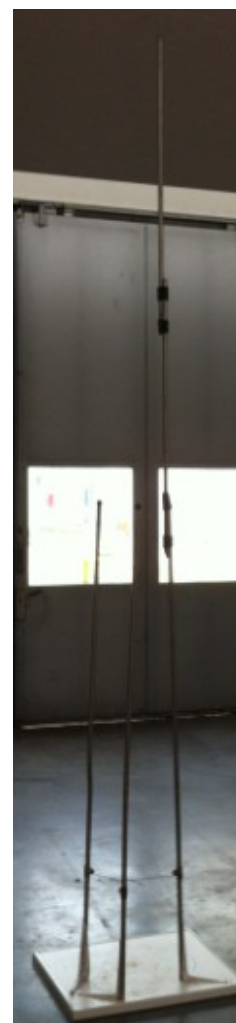


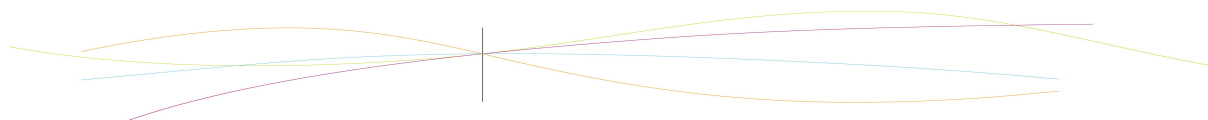
figure 6 : Nouveau support de lancement

3.3. Brûleur

Lors du premier test de vol le ballon n'a pas décollé. Étant donné que le ballon était en parfait état nous avons conclu que le problème venait du brûleur. Nous nous sommes donc proposé de l'améliorer.

Une première amélioration envisagée a été d'augmenter le débit de gaz de ce brûleur en agrandissant la sortie de gaz. Pour cela nous avons demandé l'aide des techniciens du département MECA afin de percer un trou plus large sur celui déjà existant mais cela s'est avéré irréalisable par manque de moyen technique. Nous n'avons pas continué dans cette voie car nous nous sommes dit qu'il était dangereux de modifier un brûleur vendu dans le commerce et qui respecte plusieurs normes de sécurité.

Nous avons donc décidé de remplacer ce brûleur par un nouveau qui aurait un débit de gaz plus important et qui serait donc plus puissant. Deux idées ont été avancées.





Tout d'abord utiliser un bec bunsen de laboratoire de chimie. Cet appareil présentait deux avantages : une flamme plus puissante et une maniabilité importante puisque qu'il n'est pas fixé directement à la bouteille de gaz mais relié à cette dernière par l'intermédiaire d'un tuyau et d'un détendeur. Deux détendeurs de 0.3 kg/heure et 0.5kg/heure ont été achetés pour réaliser le montage. Après un test, le bec bunsen s'est révélé décevant car la flamme ne produisait pas la chaleur attendue. Nous sommes arrivé à penser que le débit de gaz était trop limité par les détendeurs. Un robinet simple sans détendeur a été acheté dans le but de relier directement le bec Bunsen à la bouteille et ainsi obtenir tout le débit de gaz possible.

En parallèle nous avons pensé à utilisé un chalumeau qui à première vue est bien plus puissant. Le bec bunsen a été abandonné.



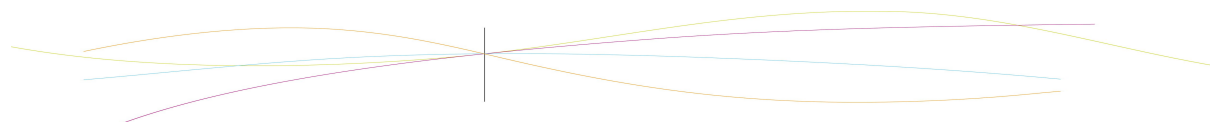
figure 7 : Brûleur type « Campingaz » et bec bunsen

3.3.1. Réalisation du nouveau brûleur

Ce brûleur a été réalisé par M.Vuillamy

Un poste à souder d'une puissance de 5 Kw a été acheté dans une brocante. En tant que tel le poste à souder est tenu à la main. Dans notre système il faut un support fixe pour le maintenir et il faut que ce support oriente convenablement la flamme, c'est-à-dire verticalement.

L'appareil a d'abord été fixé sur une cornière en U et est tenu par un collier métallique ; puis la cornière est fixée sur une plaque de fer à l'aide de quelques vis mécaniques et écrous à oreilles. Cette plaque de fer est pliée pour faire un angle de pliage de l'ordre de 45 degrés. Dans ces conditions l'une des faces étant à l'horizontale, l'autre face présente la pente de 45 degrés et oriente correctement, à la verticale, le bec du brûleur. La face horizontale est fixée sur une plaque en bois à l'aide de 4 vis mécaniques et d'écrous à oreilles, ce qui lui donne sa stabilité.





Par la suite nous nous sommes aperçus que la maniabilité de ce nouveau brûleur était un atout non négligeable puisqu'il permet de placer la flamme bien à l'intérieur du ballon et de réchauffer ce dernier lorsqu'il redescend après un vol.

Le brûleur est très satisfaisant. En effet, grâce à la caméra thermique louée par M.Vuillamy au comité d'établissement de la SNECMA nous avons pu mesurer la température de la flamme produite. Elle est en moyenne de 160°C et atteint 190°C au centre de la flamme.

C'est à ce jour le seul brûleur qui nous a permis de faire décoller le ballon. En effet, lors des derniers tests de vol nous avons réutilisé le 1^{er} brûleur (campinggaz) mais le ballon n'a pas décollé. Le chalumeau est donc un amélioration significative de notre projet.



figure 8 : Brûleur type chalumeau

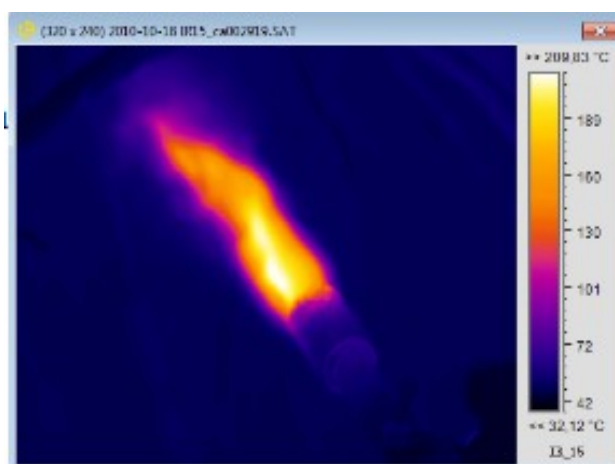
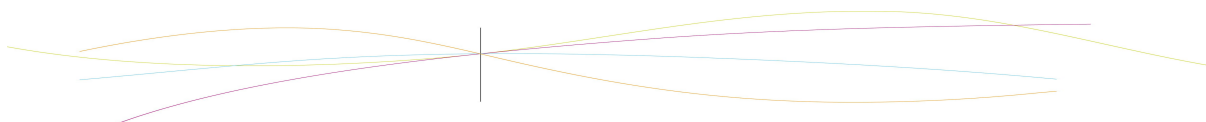


figure 9 : Image de la caméra thermique de la température de la flamme du chalumeau

3.4. Caméra thermique

Il est évident que pour effectuer d'autres expériences, la connaissance de la température du ballon est cruciale. Afin d'estimer l'évolution de la température au sein du ballon, nous avons tout d'abord mesuré la température en quelques points du ballon avec un thermomètre laser acheté par M. Vuillamy. Cependant, nous avons trouvé que les données étaient peu exactes car il était difficile de mesurer un seul et même point plusieurs fois. Pour avoir des données plus précises sur la température du ballon, nous avons utilisé une caméra infrarouge avec l'aide de M.Vuillamy.

Une caméra thermique enregistre les différents rayonnements infrarouge (ondes de chaleur) émis par les corps et qui varient en fonction de leur température. La couleur produite par la caméra est une fausse couleur obtenue en associant une couleur à l'intensité reçue, afin de faciliter la lecture directe de la température : à chaque couleur de l'image correspond une température.





On a mesuré la température du ballon et de la flamme pendant et après le réchauffement. Au début, la flamme a échauffé l'air dans la ballon et la température a augmenté graduellement. On a mesuré que la température du cœur de la flamme était de 209,83°C.

Le ballon se remplit d'air chaud en quelques minutes avec une température élevée. La température en haut du ballon varie de 50°C à 59°C. Après l'arrêt de l'échauffement, la température à l'intérieur du ballon diminue rapidement jusqu'à 44°C. Lors de l'ascension du ballon il nous est impossible de mesurer la température. On le fait donc lorsque le ballon est redescendu. A ce moment sa température descend à environ 40°C.

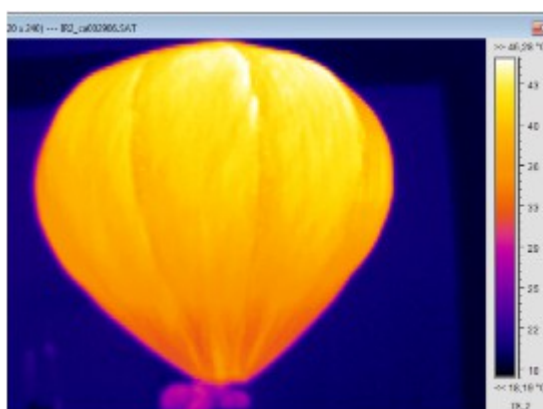


figure 10 : Image de la caméra thermique du ballon

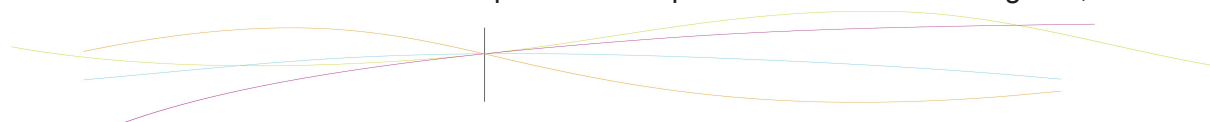
3.5. Couverture de survie

3.5.1. L'idée

Au terme du projet de l'an passé, un constat important était qu'après le décollage, le ballon ne restait que quelques secondes en l'air avant de redescendre rapidement. Un de nos objectifs a donc été de trouver un moyen de conserver la chaleur plus longtemps à l'intérieur de l'enveloppe pour augmenter le temps de vol du ballon. M. Vuillamy nous a parlé d'un plastique couramment appelé Mylar (polytéréphtalate d'éthylène) qui est utilisé pour la construction des grands ballons d'exploration météorologique. Après quelques recherches, nous avons trouvé que le Mylar était également le composant principal des couvertures de survie qui permettent de conserver la chaleur du corps lorsque la température extérieure est très élevée ou très basse. Une première idée a été de réaliser un autre ballon en Mylar. Cependant, ce tissu s'est avéré plus fragile que le Skytex 40, tissu précédemment utilisé. De plus cela nous aurait demandé beaucoup de temps et de moyens. Nous avons finalement décidé que couvrir l'intérieur du ballon de plusieurs fuseaux de couverture de survie était la solution la plus réalisable.

3.5.2. La réalisation

La première étape a été de créer le patron d'un fuseau pour le découpage de la couverture de survie. N'ayant pas récupéré les anciens patrons ni les mesures exactes du ballon du groupe de l'année dernière, il nous a fallu faire preuve d'imagination et d'habileté. A l'aide de petites pinces, nous avons plié le ballon de sorte à obtenir la forme d'un seul fuseau. Ensuite il nous a suffi de le poser bien à plat sur un carton assez grand, de tracer





son contour pour enfin découper le patron. Nous avons constaté après l'avoir découpé, que le patron était légèrement différent des fuseaux du ballon mais qu'il restait tout de même fidèle au modèle.



figure 11 : *Pliage du ballon pour créer le patron*

La seconde étape a été le découpage des fuseaux de couverture de survie. Avant cela, il nous a fallu déterminer le nombre de couvertures de survie dont nous avons besoin. Une couverture de survie classique que l'on trouve à Décathlon est de dimensions 220x140cm et de masse 55g. Il est indiqué qu'elle retient 90% du rayonnement calorifique. Après quelques calculs approximatifs, nous nous sommes rendus compte qu'il nous aurait fallu une couverture de survie pour un fuseau et que les pertes de tissu aurait été trop grandes. Nous avons donc décidé de ne couvrir que le haut du ballon car c'est la zone qui nécessite le plus de garder la chaleur et où les pertes d'air chaud seraient le plus limitées, mais aussi pour limiter le poids que cela ajouterait à l'ensemble du ballon. Ainsi, nous avons pu découper 3 demi fuseaux dans une couverture de survie classique achetée à décathlon. Nous avons également découpé un disque pour le dôme du ballon.

La dernière étape a été le collage. En effet, nous avons choisi cette option à celle de la couture par volonté de gagner de temps. Nous avons effectué plusieurs tests avec différentes colles avant de choisir la colle Néoprène Sader. Nous avons rencontré quelques difficultés lors du collage du premier fuseau car nous n'avons pas réussi à tendre suffisamment l'enveloppe du ballon. Nous avons donc eu l'idée de placer le patron à l'intérieur du ballon retourné afin de pouvoir y fixer, à l'aide des petites pinces, l'enveloppe tendue. Ensuite il nous a fallu superposer un fuseau de couverture de survie à la toile du ballon tendue sur le patron, de la fixer à l'aide des pinces puis enfin de déposer un léger filet de colle au bord des fuseaux.

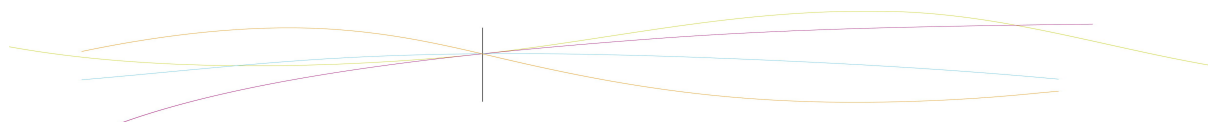




figure 12 : Méthode de collage d'un fuseau de couverture de survie

Le collage des fuseaux nous a pris plusieurs heures car la colle Néoprène demande une dizaine de minutes avant d'être vraiment efficace. Nous avons donc procédé en deux fois. La première fois nous avons collé 3 fuseaux. Nous avons ensuite effectué deux expériences différentes.

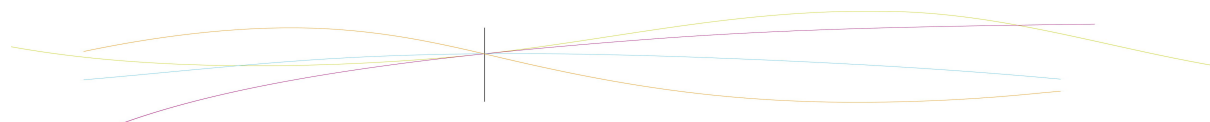
Expérience 1 : Tout d'abord, nous avons voulu tester un décollage simple du ballon, sans charge à soulever. Ce test s'est avéré être très satisfaisant car le temps de chauffe a été d'à peine 3 minutes contre 6 minutes avant le collage de la couverture de survie. De plus, nous avons remarqué que la poussée lors du décollage était considérable et plus forte que lors des test précédents. En effet, le ballon s'est écrasé contre le plafond.

Expérience 2 : Nous avons ensuite effectué un autre test mais cette fois ci pour déterminer la masse que pouvait soulever le ballon. Nous avons donc attaché une bouteille d'eau à l'aide d'une cordelette et de deux crochets fixés sur le bas du ballon. Initialement, nous avons rempli la bouteille avec 1kg d'eau. Nous l'avons vidée progressivement jusqu'à ce que la ballon décolle. Au terme de l'expérience, nous avons pesé la bouteille d'eau qui faisait 300g. Nous en avons donc conclu que le ballon pourrait toujours voler après collage des fuseaux de couverture de survie. En effet, d'après nos estimations, la colle et la couverture de survie n'ajouteraient qu'une dizaine de grammes à la masse totale du ballon.

Enfin, nous avons collé les sept fuseaux restants et le disque du dôme du ballon avant de réaliser d'autres expériences.

Expérience 3 : Nous avons fait un test simple, c'est à dire sans charge à soulever. Le ballon a mis un peu plus de 3 minutes à se remplir avant de décoller mais il n'est resté en l'air que quelques secondes avant de redescendre au sol.

Expérience 4 : Nous avons rempli une bouteille d'eau comme pour l'expérience 2 pour déterminer la charge que pouvait désormais soulever notre ballon. Au décollage, la bouteille d'eau pesait 250g.





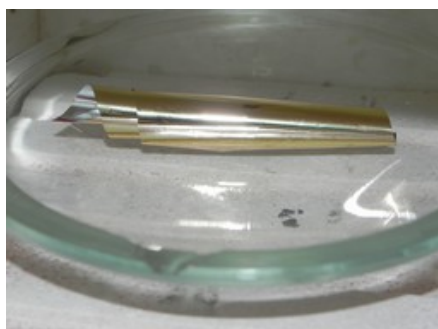
3.5.3. Test de résistance de la couverture de survie

L'intérieur du ballon étant chaud, nous avons testé la résistance à la chaleur de la couverture de survie et ainsi déterminé à quelle température le matériau se déformait et fondait.

Nous nous sommes donc rendus au laboratoire de chimie de l'INSA (bâtiment Darwin) et avons utilisé les fours. La température indiquée par le fabricant des couvertures de survie est de 240 °C.

Observations :

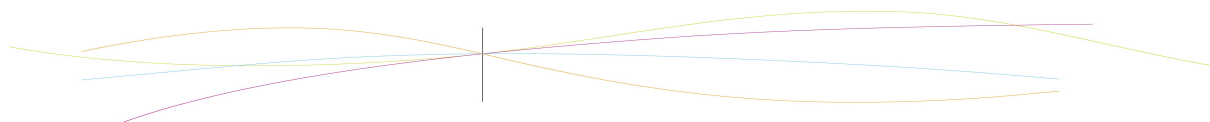
A partir de 180°C, le matériau se déforme et s'enroule autour de lui-même.



A partir d'environ 220°C, le matériau perd ses propriétés élastiques et commence à fondre.



A 400°C, le matériau se rétracte totalement et est fondu.





Dans l'ensemble, nous ne sommes pas aussi satisfaits que nous l'espérons. En effet, l'objectif principal de cette expérience qui était de permettre au ballon de voler plus longtemps n'a pas été atteint. Au terme de l'expérience, notre ballon ne reste en l'air que quelques secondes de plus qu'auparavant, mais l'amélioration n'est pas aussi flagrante ce que nous attendions. Nous pensons que ceci est du notamment au poids qu'ont ajouté la colle et la couverture de survie à l'enveloppe de l'aérostat.

3.6. Caméra embarquée

Après avoir effectué les expériences qui nous ont permis de déterminer la masse que pouvait soulever le ballon en plus de son propre poids pendant plusieurs secondes, il est ressorti qu'il pouvait embarquer une caméra. Pour cela nous avons mis au point un système de caméra embarquée assez rudimentaire : un smartphone assez léger, protégé par une coque composée de mousse, de papier essuie tout et de ruban adhésif. Nous avons attaché le système d'une masse totale de 200g sous le ballon à l'aide de deux crochets et de cordelette.

Nous avons réalisé deux fois cette expérience. La première a été peu concluante. En effet, la vidéo obtenue était de mauvaise qualité car le système a beaucoup bougé pendant le vol. La deuxième en revanche a été très satisfaisante et la qualité de la vidéo très bonne.

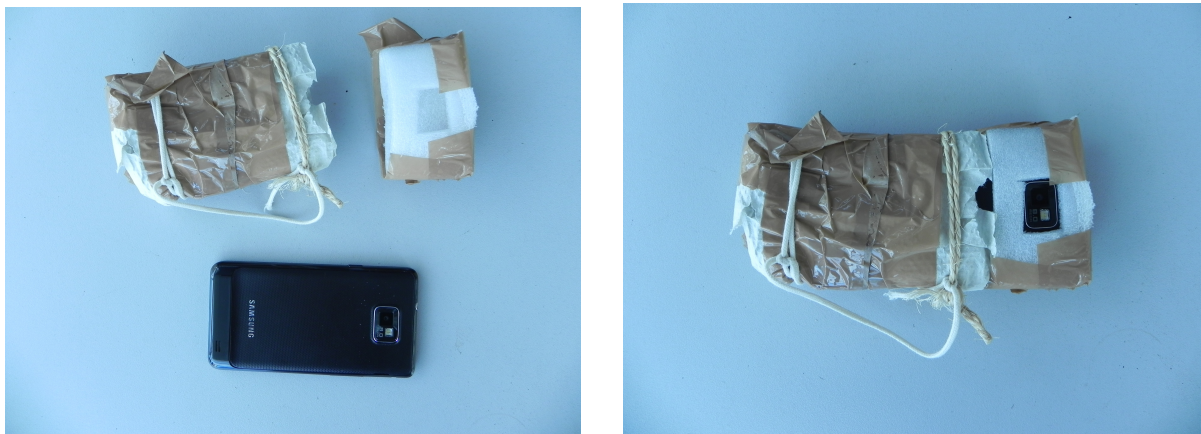
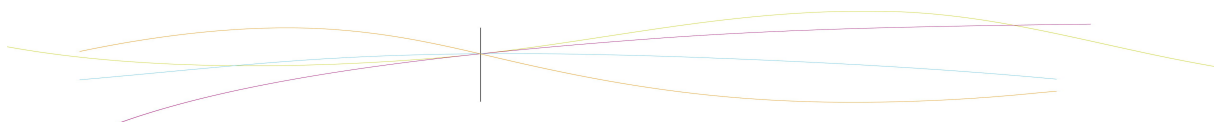


figure 13 : Le smartphone et sa coque de protection

3.7. Problèmes rencontrés

Dans cette partie, nous allons tenter d'expliquer les différents problèmes auxquels nous avons dû faire face au cours de la réalisation de ce projet.

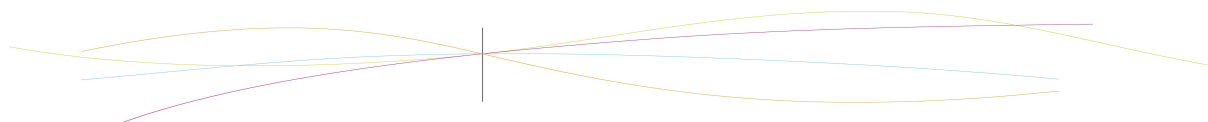
Dans un premier temps, nous avons testé le prototype qui avait été fabriqué l'année précédente. Contrairement à nos attentes, et malgré plusieurs essais, nous n'avons pas pu obtenir un décollage de l'aérostat qui s'était pourtant élevé un an plus tôt. Nous nous l'expliquons par les différences de pressions et de températures ambiantes qui jouent un rôle primordial au niveau de la poussée exercée par l'air chaud dans le ballon. L'autre hypothèse avancée est que la bouteille de gaz que nous utilisions avait déjà été utilisée l'année précédente, ce qui en avait éventuellement altéré le débit.





Nous nous sommes ensuite intéressés aux pertes thermiques de notre aérostat. En effet, le matériau utilisé pour la confection de l'aérostat est suffisamment résistant à la chaleur, mais nous ne connaissons pas ses capacités isolantes. Nous avons donc loué une caméra thermique au comité d'établissement de la SNECMA. Celle-ci nous a permis d'avoir une idée beaucoup plus précise de la température et de sa répartition à l'intérieur de l'aérostat. Cependant, contrairement à nos espérances, elle n'a pas permis de visualiser les pertes thermiques. Nous avons donc tenté une approche plus calculatoire grâce à l'aide de M. Vuillamy. Les résultats furent saisissants ! Les pertes thermiques étaient quasiment équivalentes à la puissance de notre brûleur amélioré. Nous avons alors décidé d'utiliser des couvertures de survies, qui sont très légères et très isolantes. Nous en avons ainsi tapissé la partie supérieure du ballon. Les résultats ne furent cependant pas à la hauteur de nos attentes, l'amélioration de la puissance ascensionnelle de l'aérostat n'étant pas significative.

Nous avons aussi rencontré de nouvelles difficultés avec le changement de brûleur, en effet, délivrant une puissance supérieure au précédent, il a provoqué à deux reprises deux petits trous situés sur le bas du ballon. Nous avons pensé éviter ce problème en mettant un tube qui mènerai la chaleur issue de la flamme immédiatement au milieu de l'aérostat. Cependant, les pertes thermiques au niveau des parois du tube auraient été une nouvelle source de diminution de la puissance ascensionnelle de notre ballon. Un compromis entre sécurité et efficacité est à trouver à ce niveau.



4. RESENTIS DU GROUPE ET CONCLUSION

Basile : *J'ai choisi ce projet car, comme tout le monde je suppose, j'ai toujours rêvé de voler. Évidemment, je savais pertinemment que nous ne volerions pas dans l'aérostat que nous allions améliorer, mais l'idée était rentrée, impossible de s'en détacher ensuite. Cependant, travailler sur ce projet fut une expérience qui m'a beaucoup appris, particulièrement dans le sens où elle m'a montré que travailler sur un projet pour lequel on se passionne est un vrai plaisir. Cela peut paraître évident, car on nous répète depuis des années de choisir un domaine qui nous plaît, que ce soit au niveau scolaire ou dans le monde du travail, mais c'est une chose différente de se l'entendre dire que de s'en rendre compte par soi même.*

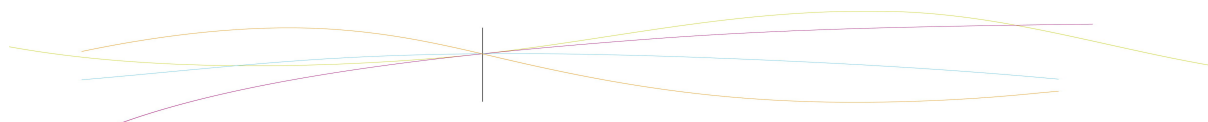
D'ailleurs, je tiens à remercier notre professeur, M. Vuillamy qui est quelqu'un de très passionné, ainsi que chacun des membres du groupe qui se sont tous investis sans compter.

Finalement et contre toute attente, le manque d'installation et de matériel pour réaliser nos expériences fut aussi un des points très positifs de ce projet. En effet, cela nous a obligé à nous débrouiller par nous même et à inventer de nouvelles façons de tester nos hypothèses. En guise de conclusion, je dirais que ce projet sera un véritable atout lors de ma formation d'ingénieur et plus tard, lors de mon insertion dans le monde du travail.

Camille : *J'ai trouvé ce projet très enrichissant à tous les niveaux. En effet, il m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances sur le ballon à air chaud, sujet que l'on n'a pas souvent l'occasion d'étudier et qui m'intéresse beaucoup. Nous avons eu la chance d'avoir un professeur passionné qui nous a beaucoup appris et aidé. Ce projet, nous a également habitués une nouvelle fois au travail de groupe. Nous avons réfléchi ensemble à de nouvelles améliorations pour le ballon, nous nous sommes fixé des objectifs, nous avons surmonté quelques obstacles, et ainsi nous avons pu expérimenter ce à quoi est confronté tout ingénieur au cours de sa carrière.*

Hélène : *J'ai trouvé ce projet très intéressant et très enrichissant. En effet, il permet de s'intéresser à différents domaines variés tels que la chimie, la mécanique ou la thermodynamique. L'expérimentation représente aussi une part importante du projet et cela a rendu l'avancée du projet d'autant plus captivante. Ensuite, ce projet de groupe est une expérience qui permet de confirmer mon choix pour un métier où le travail en équipe est privilégié. Cela permet d'apprendre à être à l'écoute des autres tout en prenant des initiatives.*

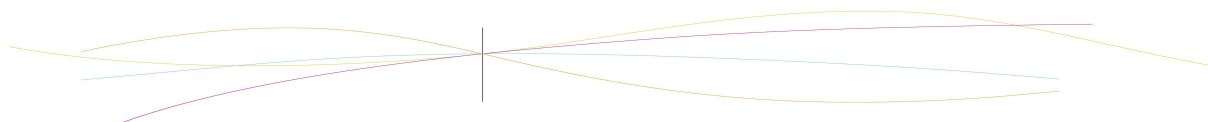
Nicola : *J'ai choisi ce projet car c'est un des seuls projets parmi la liste des projets proposés qui concerne l'aéronautique. Ce projet m'a apporté pas mal d'expérience pas seulement dans le domaine des aérostats mais aussi dans le domaine de la propulsion vu qu'on a étudié différents types de brûleurs, étudier des images en rayonnement infrarouge ainsi que des études de débit. Finalement, je trouve le travail en groupe très important.*





Nicolas : *J'ai apprécié travailler sur ce projet car il était très intéressant, que ce soit du point de vue théorique que du point de vue expérimental. Inventer à plusieurs des expériences pour tester, améliorer et mesurer est très enrichissant. Pour finir, je trouve que nous avons bien réussi notre projet.*

Yuqing : *Je suis heureuse de travailler sur ce projet avec mes camarades pendant ces 13 semaines. J'ai appris beaucoup de fonctionnement d'aérostat et par biais des expérimentations, j'ai fait connaissance du moyen de découvrir les problèmes, de réfléchir, de les résoudre et aussi de coopérer avec les autres. Je pense que il est utile pour mes études futurs.*

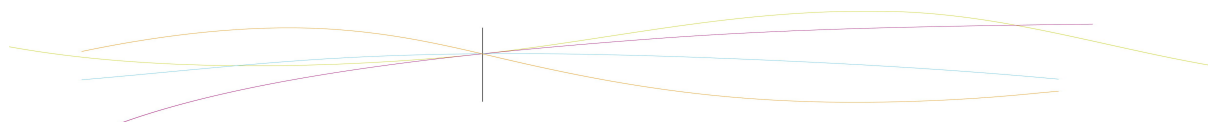


Le projet physique a été une expérience vraiment enrichissante à plusieurs points de vue : nous avons pu découvrir le monde de la physique/mécanique dans un cadre moins scolaire et mettre en application les connaissances et méthodes que l'on a pu acquérir jusqu'ici, mais également partir à la recherche de nouvelles méthodes de travail, d'expérimentation, de réflexion et de recherche d'informations.

Lors de notre cursus en STPI à l'INSA de Rouen, nous avons pu découvrir des bases de mécanique ainsi que de thermodynamique.

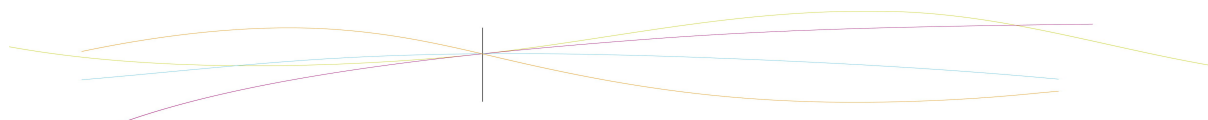
Notre but a été d'améliorer l'aérostat réalisé l'an passé. Nous sommes conscients que notre projet pourrait encore être amélioré. En effet, il reste des éléments que nous n'avons pas réussi à corriger, notamment la durée de temps de vol, ainsi que l'intégration d'un brûleur embarqué. Le collage des couvertures de survie s'est révélé décevant. De plus, il serait sans aucun doute possible de perfectionner encore la structure de décollage afin de ne pas endommager l'aérostat lors de l'envol du ballon. Cependant, nous avons apporté une grande amélioration au brûleur, qui est maintenant bien plus puissant et manipulable que celui utilisé l'an dernier.

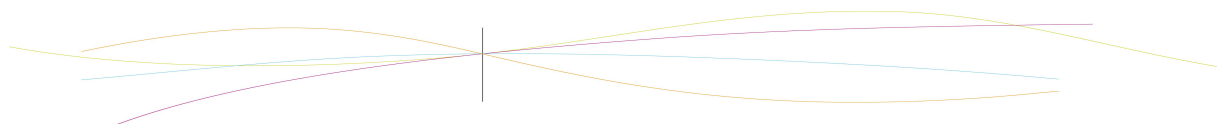
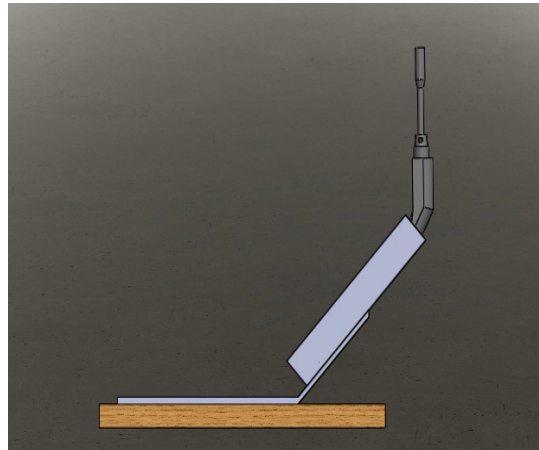
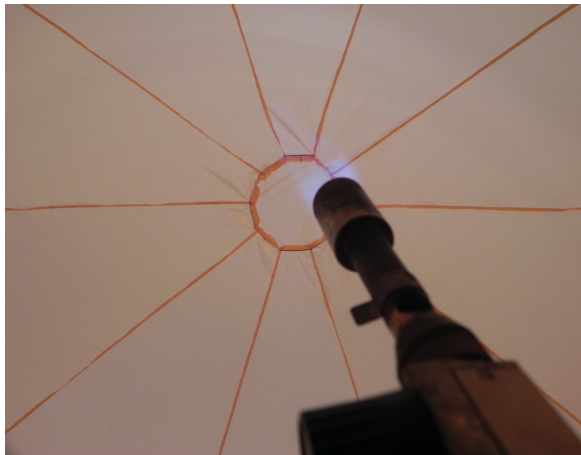
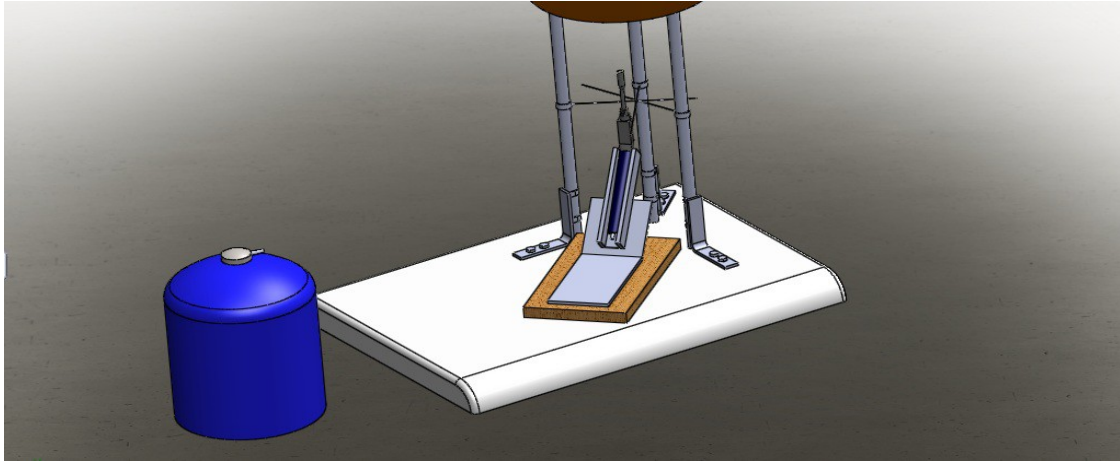
Finalement, ce travail d'équipe nous a beaucoup plu, chacun a su trouver sa place dans le groupe. Nous avons su exploiter au maximum les qualités de chacun et se répartir le travail en conséquence. Tout le monde a apporté sa pierre à l'édifice, que ce soit dans les manipulations ou dans la rédaction du rapport. Ainsi, même si nous n'avons pu apporter toutes les améliorations souhaitées, nous considérons ce projet comme une réussite car l'entente et la répartition des tâches au sein du groupe furent vraiment aisées et ce fut un véritable plaisir pour chacun d'entre nous de travailler ensemble.



5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Aerostat> (valide à la date du 14/06/2013).
- [2] http://fr.wikipedia.org/wiki/Polyt%C3%A9r%C3%A9phtalate_d'%C3%A9thyl%C3%A8ne (valide à la date du 14/06/2013)
- [3] <http://www.campingaz.com/fr/> (valide à la date du 14/06/2013)
- [4] http://www.decathlon.fr/couverture-de-survie-legere-id_1167238.html (valide à la date du 14/06/2013)
- [5] <http://www.air-montgolfiere.com/montgolfiere/historique.htm> (valide à la date du 14/06/2013)
- [6] <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/3547-ballons-stratospheriques.php> (valide à la date du 14/06/2013)
- [7] http://fr.wikipedia.org/wiki/Catastrophe_du_Hindenburg (valide à la date du 14/06/2013)
- [8] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Montgolfi%C3%A8re> (valide à la date du 14/06/2013)





[ANNEXE – CAMERA EMBARQUE / ALTITUDE DE 6 METRES]

