

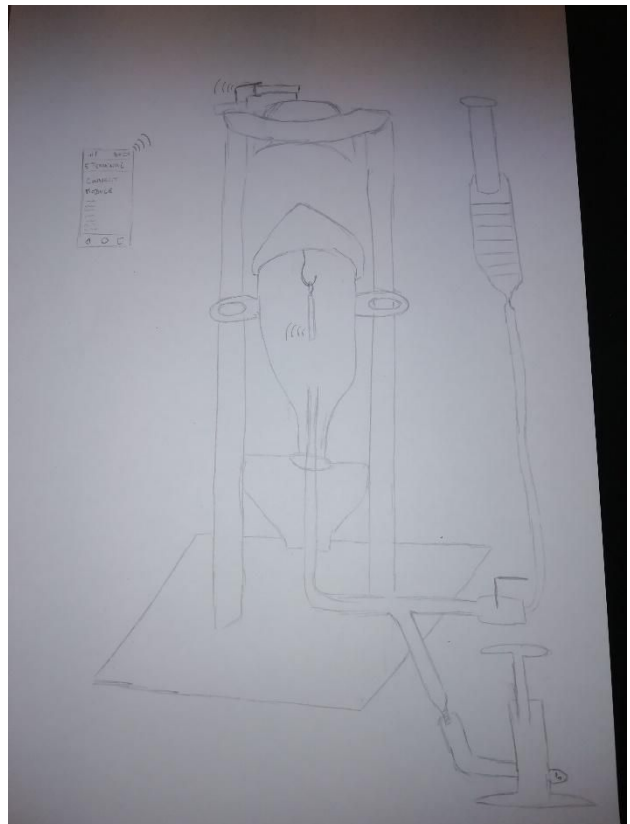
Olympiades de physique  
2019-2020

Année :

## UNE BOUTEILLE AU BANC D'ESSAI



Réalisé par NOGUIERA Mathieu,  
COUTHIER Quentin et HLASNY Kylian en  
classe de terminale



## Résumé du projet

Nous souhaitons concevoir un appareil permettant d'étudier la poussée d'un moteur à eau en fonction de plusieurs paramètres. Pour des raisons de délais et de coûts, nous avons souhaité que le banc d'essai permette également le lancement des fusées.

Nous avons donc dans un premier temps identifié les paramètres intéressants et mesurables qui pouvaient avoir une incidence sur la poussée puis nous avons réfléchi au dispositif permettant de faire varier la plupart des grandeurs et de collecter les données mesurées. La théorie nous semblait simple, nous étions prêts à décoller... la pratique nous a vite ramené les pieds sur terre !

Après un long travail de mise au point, la phase d'acquisition puis d'exploitation des données doit nous amener à trouver une combinaison idéale aboutissant au vol le plus long, loin, haut, puissant...

Enfin, une fois la partie réacteur dominée, nous souhaitons nous pencher sur la structure de la fusée afin de tirer le meilleur profit du moteur optimisé.

# PLAN

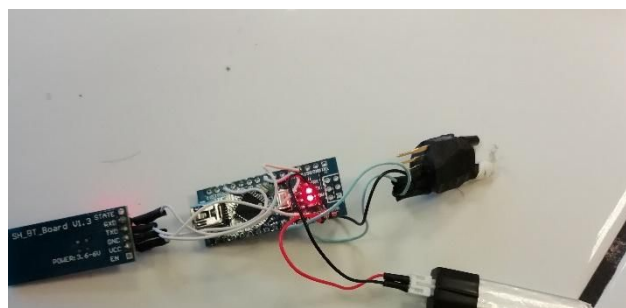
## I. ORIGINE DU PROJET

## II. ETUDE PRÉLIMINAIRE

## III. LA CONCEPTION

## IV. LES MESURES

## V. CONCLUSION



# I. ORIGINE DU PROJET

## L'histoire de la fusée

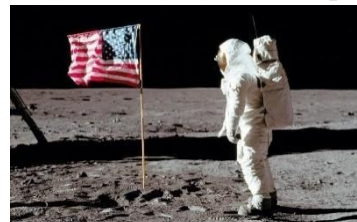
La fusée est née pendant la seconde guerre mondiale avec l'apparition du missile V2 par les allemands qui était à la base un projet non militaire qui avait pour but de faire voyager des personnes dans l'espace. A la sortie de la seconde guerre mondiale l'URSS et les Etats Unis se disputent les ingénieurs



allemands qui travaillait sur ce projet, l'objectif était d'aller dans l'espace et cela va être appelé la conquête de l'espace qui va opposer ces deux camps l'URSS et les américains dans une compétition acharnée durant la guerre froide. En 1957 le premier satellite nommé Spoutnik est envoyé en orbite autour de la terre par les soviétiques et en 1969 les américains envoient un homme sur la Lune pour la toute première



fois. Aujourd'hui les astrophysiciens ne cherchent plus à aller sur la Lune mais sur Mars qui est la planète la plus proche de la Terre. De plus, depuis les années 70 de nombreux lanceurs sont créés dans le but d'envoyer des satellites un peu partout dans l'espace pour effectuer des recherches scientifiques.



Le lanceur, plus communément appelé fusée est un véhicule motorisé de très grande puissance qui est nécessaire pour s'échapper de l'attraction terrestre. Il permet l'accès à l'espace pour envoyer des satellites, observer l'univers, explorer le système solaire. Le décollage de la fusée se fait grâce à un moteur à propulsion c'est à dire qu'il éjecte de la matière.

## Le choix du projet

Fascinés par l'espace depuis notre enfance, nous aimons tout ce qui touche à l'aéronautique, des avions aux fusées, de leurs caractéristiques à leur fonctionnement. Nous avons notamment étudié les lancements du lanceur européen Ariane. Donc pour nous, créer une fusée avait à la fois un côté ludique indéniable, mais cela nous permettait aussi de renforcer nos connaissances et nos compétences dans les matières dominantes de notre filière SSI.



Cependant, dès les premières réflexions à propos de notre projet, nous ne souhaitons pas simplement faire décoller une fusée et étudier son vol a posteriori. Notre objectif était de valider par l'expérience au sol un certains nombres de conditions (déterminées par des paramètres) et de lois physiques

puis de combiner nos résultats afin de “produire” le meilleur propulseur pour notre fusée. En d’autres termes nous devons réaliser un banc d’essai pour moteur à eau sous pression. Certes un moteur à eau pourrait sembler moins passionnant qu’un propulseur à propergol solide, mais dans le cadre du club de science du lycée, il n’était pas possible d’accéder à une autre technologie et notre moteur ainsi que son optimisation se révéleront suffisamment passionnants.

## Notre problématique

Dans quelles mesures peut-on prévoir les performances d’une fusée à eau et optimiser ces dernières grâce à une étude détaillée du moteur sur un banc d’essai.

## II. ETUDE PRÉLIMINAIRE

### 1. Les grandeurs physiques à mesurer

Dans un premier temps, nous avons identifié les **grandeurs physiques à mesurer**.

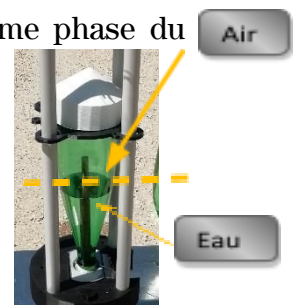
- le poids de la bouteille qui est composé de l’enveloppe de la bouteille ainsi que de l’eau et l’air qu’elle contient auxquels on peut ajouter les accessoires de mesures internes ainsi qu’une tuyère.
- la pression à l’intérieur de la bouteille  $P_{\text{int}}$ .
- la force de poussée de la fusée.
- quatrième grandeur, à mesurer et exploiter dans la deuxième phase du projet, l’accélération et la vitesse suivant l’axe verticale de la fusée, quand cette dernière sera libérée du banc d’essai.

Ensuite nous avons imaginé les paramètres à faire varier pour déduire

leur influence sur les grandeurs précédentes. Nous avons souhaité travailler avec une même bouteille pour faciliter la mise au point d’un banc d’essai. Par conséquent tous les paramètres liés à la structure de la bouteille seront fixés, sauf peut-être la résistance du plastique qui pourra être renforcée par de la bande adhésive.

Ainsi les paramètres que nous souhaitons faire varier sont :

- la masse d’eau à l’intérieur de la bouteille
- le diamètre (et plus spécifiquement la surface) de la tuyère
- la pression interne initiale



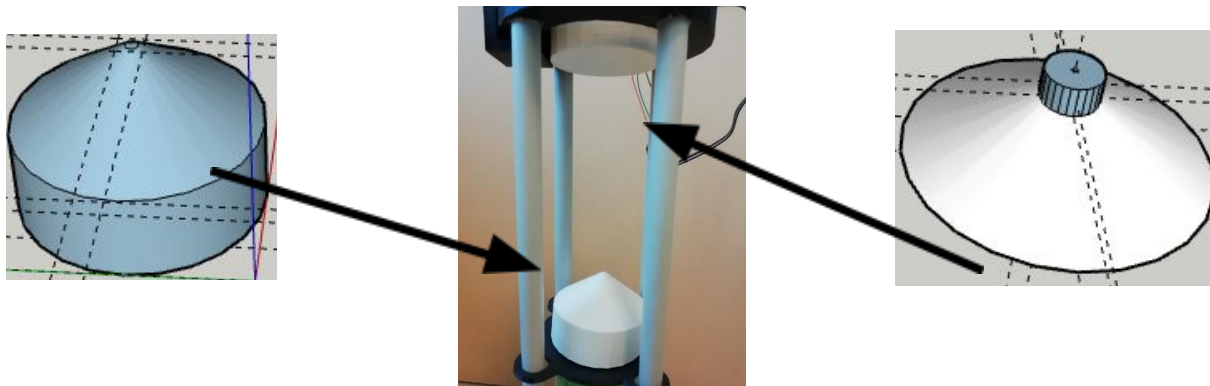


## 2. Comment accéder aux grandeurs

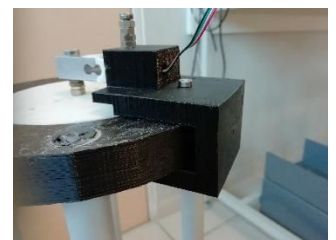
### - Mesurer la poussée de la fusée.

Pour collecter les valeurs de la poussée de la bouteille nous avons testé plusieurs solutions techniques. Tout d'abord nous voulions mesurer la force en accrochant quatre ficelles à quatre coins équidistants de l'anneau de la bouteille. Ces ficelles se seraient rejointes en une seule qui tirerait sur un capteur de force à jauge de contrainte combiné à une carte Arduino. Le problème de cette solution était de diriger les ficelles et de les réunir en un seul sans atténuer la force. Une autre solution était d'installer des ressorts sur l'anneau supérieur et ainsi grâce au disque autour de la bouteille qui viendrait s'écraser sur les ressorts on pourrait calculer la force en fonction de leur écrasement. Cependant il paraissait difficile dans ce cas d'enregistrer les données

Donc nous avons décidé d'installer un premier capteur de force de 50N qui est fixé au disque supérieur par des vis. A l'autre extrémité du capteur nous avons installé un cône inversé qui permet de s'emboîter avec l'autre cône de même dimension qui se trouve au-dessus de la fusée permettant de la guider jusqu'au capteur. Les deux pièces sont dessinées sur SketchUp et imprimé à l'imprimante 3D.



Au départ le capteur de force était simplement fixé par des vis, cependant lors de notre premier test nous avons largement sous-estimé la force de la fusée qui a complètement déformé et arraché le capteur. Il convient également de préciser que nous avons également dépassé les recommandations de pression maximale fixées par notre professeur...



Nous avons donc dessiné une pièce qui serait capable de mieux résister à la poussée et qui permettrait d'emboîter le capteur de force à l'intérieur. Et nous avons également opté pour un capteur de 500N.

### - Mesurer la pression de l'air à l'intérieur de la fusée

Compte tenu de nos contraintes, nous avons choisi un capteur de pression MPX5500AP très facile à mettre en oeuvre avec un microcontrôleur type Arduino. Dans la conception nous avons

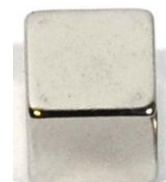


travaillé sur la capture de pression de l'air à l'intérieur de la bouteille. Pour cela il nous fallait un système électronique qui devait se déclencher au moment du lancement de la fusée (pour éviter le déchargement trop rapide de la batterie). Il devait également être étanche puisque l'eau et l'électronique ne s'apprécient pas forcément. Cela faisait deux problèmes à résoudre sur la prise de la pression de l'air. De plus il fallait que le système soit à bord de la bouteille car nous voulons avoir l'évolution de la pression sur le banc, mais aussi en vol. Une solution simple et rapide aurait pu être de percer un trou dans la bouteille et connecter le capteur, mais cette opération aurait détruit la rigidité globale de la bouteille et augmenté nos problèmes d'étanchéité récurrents.

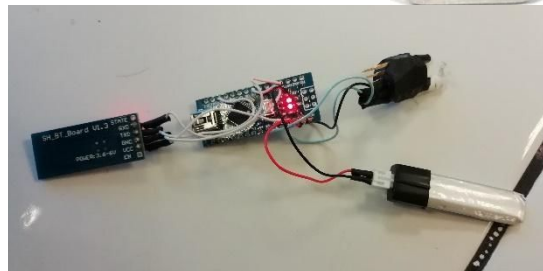
Tout d'abord pour déclencher l'acquisition nous voulions utiliser un système lumineux, à l'aide d'un laser, or cela demandait d'embarquer un capteur de lumière, et ajoutait donc des câbles. Surtout qu'il fallait être précis pour viser un capteur photosensible de 4 mm de côté, d'autant plus que nous n'avions pas de témoins pour savoir si l'acquisition était lancée.



Puis nous avons pensé à un champ magnétique, lorsque l'on plaçait un tout petit aimant sur la fusée en dessous de cône, il y aurait un champ magnétique entre ce petit aimant et celui placé dans la capsule que nous verrons après.



Nous avons fini par choisir que le début de l'acquisition se ferait lorsqu'un seuil de pression serait dépassé par la pression dans la bouteille. De plus les données sont envoyées en direct et stockée grâce à un module Bluetooth que l'on a rajouté au système. Nous verrons la transmission de ces informations et le fonctionnement par la suite.



Pour embarquer le système à l'intérieur de la bouteille il fallait que la capsule contenant la bouteille soit étanche c'est-à-dire que l'eau ne devait pas pouvoir rentrer pour éviter d'abîmer le composant électronique. Au départ nous avons dessiné un tube qui était tenu au fond de la bouteille grâce à un champ magnétique, en disposant un aimant de chaque côté de la paroi, mais les aimant bien qu'il soit très attractif entre eux leur force n'était pas suffisante lors de la propulsion de la fusée, de plus le système électronique était mouillé. Nous avons donc remplacé l'aimant par un crochet collé au fond de la bouteille et qui est beaucoup plus solide. C'est la solution technique choisie pour tenir la capsule.



Pour ce qui est de la capsule nous avons ensuite essayé de mettre le circuit dans un gant en plastique or ce fut un échec car le gant a été percé par un

composant pointu (probablement le capteur de pression). Ensuite, nous avons pris un ballon de baudruche qui possède une plus grosse épaisseur, mais il sera aussi percé. La prise de la pression a été peut-être la plus grosse difficulté de notre projet car si on veut voir la pression évoluer au cours du temps nous devons arriver à faire passer une capsule comprenant un microcontrôleur, un module Bluetooth, une batterie pour alimenter le tout et un capteur de pression dans un goulot de bouteille de seulement 22 mm de diamètre. Finalement nous avons imprimé une seconde capsule qui cette fois possède un bouchon permettant de la fermer pour l'isoler de l'eau mais pas hermétiquement car le capteur doit être en contact avec l'air de la bouteille... Un vrai casse tête..

- **Mesurer le volume d'eau introduit dans la bouteille**

graduer la bouteille -> permet de déduire le volume d'air

- **Mesurer l'accélération lors du vol**

A venir...

### **3. La théorie pour prévoir...**

Ou comment les lois de la mécanique nous permettent d'estimer l'évolution de la pression et de la poussée.

#### La Propulsion

Le principe de propulsion d'une fusée repose sur la loi de la conservation de la quantité de mouvement.

La quantité de mouvement d'un système est le produit de sa masse  $m$  par sa vitesse  $v$ .

La conservation de la quantité de mouvement d'un système impose qu'elle soit nulle ou demeure constante si les forces extérieures qui lui sont appliquées ont une résultante nulle.

Comme il y a conservation de la quantité de mouvement du système, on a

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m \cdot v = 0 \text{ et donc } v_1 = -v_2 \cdot (m_2/m_1).$$

Donc, pour une fusée, la règle du jeu consiste à éjecter une masse de matière (gazeuse ou liquide) avec une vitesse suffisante pour propulser l'engin dans l'autre sens et vaincre la gravité.

Dans une fusée à eau, la matière propulsive est de l'eau éjectée par la mise sous pression du réservoir.

### Calcul de la poussée

Supposons que la fusée est non soumise à des forces extérieures (poids et résistance de l'air), à un instant  $t$  après le décollage, la masse de la fusée vaut  $m$ , sa vitesse  $v$  et la vitesse d'éjection de l'eau est  $v_e$  (dans le référentiel terrestre la vitesse de l'eau est  $v - v_e$ ).

Un instant plus tard infiniment petit  $t + dt$ , une certaine masse d'eau  $dm_e$  va être éjectée, donc la masse de la fusée aura diminuée de  $dm_e$ , mais sa vitesse aura augmentée de  $dv_f$ .

La quantité de mouvement de la fusée, à ce moment, sera de  $(m - dm_e)(v + dv_f)$ , tandis que la quantité de mouvement de la masse d'eau éjectée est  $dm_e(v - v_e)$ .

La conservation de la quantité de mouvement impose :

$$(m - dm_e)(v + dv_f) + dm_e(v - v_e) = mv$$

(Quantité de mouvement à  $t + dt$  = Quantité de mouvement à  $t$ )

avec un terme  $dt$  suffisamment petit le terme  $dm_e * dv_f$  est très petit devant les autres, on obtient donc  $m * dv_f = dm_e * v_e$

Le débit massique d'eau  $q = dm_e/dt$ , on a  $dm_e = q * dt$ , d'où :

$m * dv_f = q * dt * v_e$  soit encore  $m * (dv_f/dt) = q * v_e$  or  $dv_f/dt$  est l'accélération de la fusée et donc selon le principe fondamental de la dynamique  $m * (dv/dt)$  représente la force générée par l'éjection de l'eau : la poussée  $P$ . On voit d'après la formule ci dessus que cette poussée est proportionnelle à la masse d'eau éjectée par seconde multipliée par la vitesse d'éjection de cette eau :

$$P = q * v_e .$$

De plus  $q$  est aussi égal au produit de la masse volumique  $\rho$  par le volume éjecté par seconde. Ce dernier est égal au produit de la surface d'éjection par la vitesse d'éjection. d'où la nouvelle équation de la poussée :

$$P = \rho * S * v_e^2$$

La détermination de la poussée passe par le calcul de la vitesse d'éjection de l'eau, le théorème de Bernoulli. s'applique pour un liquide incompressible et non visqueux. L'énergie mécanique du fluide considéré se conserve en régime permanent. L'énergie mécanique est la somme des énergies cinétique, potentielle et de pression. Entre deux points 1 et 2 d'un filet fluide, on a la relation :

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + h_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + h_2$$

Dans la fusée, à la surface de séparation entre l'eau et l'air sous pression, à un instant donné, on a une pression  $P_1$ , une surface  $S_1$  et une vitesse  $v_1$ .



A la sortie de la tuyère, au même instant, on a une pression  $P_2$  qui est la pression atmosphérique  $P_{atm}$ , une surface  $S_2$  (celle de la tuyère) et une vitesse  $v_2$ .

on nomme  $h$  la différence d'altitude entre les surfaces 1 et 2.

Le liquide étant incompressible, le débit en 1 est égal au débit en 2, donc

$$S_1 * v_1 = S_2 * v_2 \text{ et } v_1 = v_2 * \frac{S_2}{S_1}$$

Dans l'équation du théorème de Bernoulli, nous aurons alors :

$$\frac{(v_2 * \frac{S_2}{S_1})^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + h = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_{atm}}{\rho g} \text{ en isolant } v_2^2 :$$

$$v_2^2 = \frac{2}{1 - (\frac{S_2}{S_1})^2} * \frac{P_1 - P_{atm}}{\rho} + hg$$

En simplifiant ce résultat car on peut considérer que  $(\frac{S_2}{S_1})^2$  est petit devant 1, et que  $hg$  est très petit devant  $\frac{P_1 - P_{atm}}{\rho}$ .

l'équation devient donc :  $v_2^2 = 2 \frac{P_1 - P_{atm}}{\rho}$

Si maintenant on utilise ce résultat dans l'expression de la poussée trouvée plus haut on obtient :

$$\text{l'expression de la poussée initiale } P = 2 \frac{P_1 - P_{atm}}{\rho} S_2$$

Conclusion :

L'étude théorique nous conduit après quelques approximations à une relation simple que l'on espère vérifier grâce à notre dispositif expérimental.

On remarque en particulier que

- la poussée est indépendante de la quantité d'eau
- la poussée est proportionnelle à la différence de pression  $P_1 - P_{atm}$
- la poussée est proportionnelle à la surface de la tuyère

Notre choix instinctif de faire varier ces 3 grandeurs n'était donc pas si mal à part pour l'eau qui aura sans doute une influence sur le vol de la fusée.

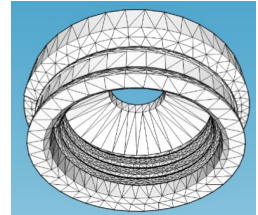
Cette dépendance simple avec la surface nous permettra, si les délais nous l'autorisent, de tester des formes de tuyères différentes avec une surface constante.

### III. LA CONCEPTION

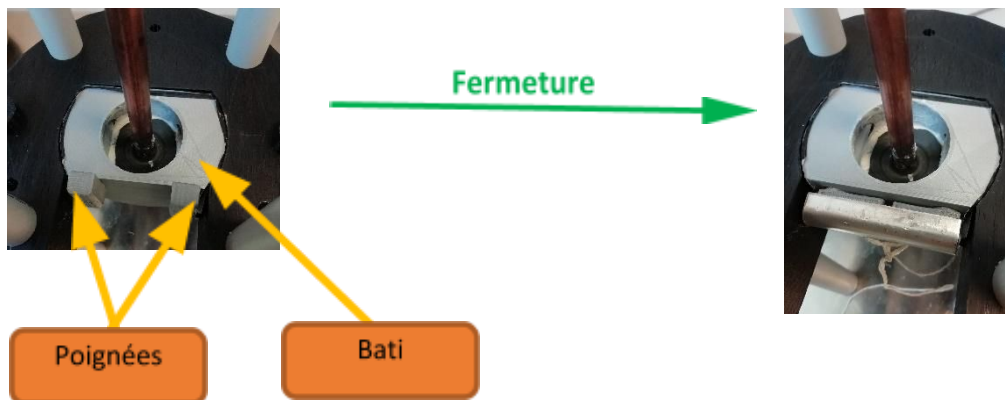
La phase de conception doit nous permettre de mesurer l'ensemble des grandeurs identifiées et faire varier les paramètres choisis. C'est de loin la phase dans laquelle nous avons rencontré le plus de difficultés...

#### - Fixer la bouteille, pouvoir la libérer :

Notre toute première difficulté a été de devoir fixer la bouteille et l'empêcher de décoller lors de son remplissage en eau et de sa mise en pression. De plus la fusée étant une bouteille d'eau il fallait que le blocage se fasse par le goulot, car grâce au pas de visse pour le bouchon nous pouvions l'agripper. Nous avons donc dessiné plusieurs pièces qui fonctionnent comme des bouchons c'est-à-dire qu'ils ont un pas, ce qui leur permet de se visser au goulot de la bouteille.



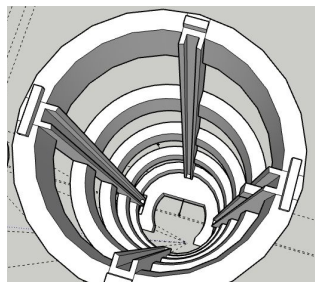
Et on va ensuite dessiner un pas de tire qui permettra d'insérer le bouchon à l'intérieur et qui sera bloqué par deux poignées de chaque côté lorsqu'elles sont rabattues. Les pièces sont toutes dessinées sur SketchUp puis imprimées sur imprimante 3D. Elles sont donc en plastique dur car elles sont pleines à 80%.



Une pièce en U les maintient en position bloquée (horizontale)

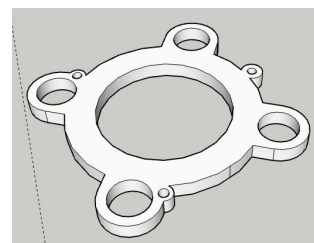
#### - Guider la fusée lors de son décollage jusqu'au capteur :

Une autre étape de notre travail était de guider la fusée lors de son départ. Pour cela nous avons déjà le pas de tir qui bloque la fusée droite donc tant qu'il la maintient elle est droite cependant au moment d'être éjectée elle peut se pencher. Pour résoudre cela nous voulions au départ installer quatre ailerons de chaque côté de la bouteille qui pourrait permettre de la stabiliser, cependant ils ne se révélèrent pas suffisamment efficaces. Nous avons donc ensuite pensé à mettre quatre rails or l'inconvénient est que les pièces étaient trop grandes pour les imprimantes 3D, elle devait mesurer au minimum 50 cm.



Cette pièce ne sera  
donc jamais imprimée

Nous avons donc gardé l'idée que la bouteille qui devait être guidée par quatre points et nous avons décidé d'installer quatre tubes de 50cm en pvc qui étaient parfaitement lisse. Puis nous avons dessiné un grand disque qui permettrait de prendre la bouteille en force pour éviter qu'elle s'échappe et qui est muni de quatre petits disques vident de chaque côté et qui coulisseront le long des tubes. Ainsi les frottements seront minimisés car les disques seront un peu plus grands que le diamètre des tubes, ils ne frotteront donc pas en continu.



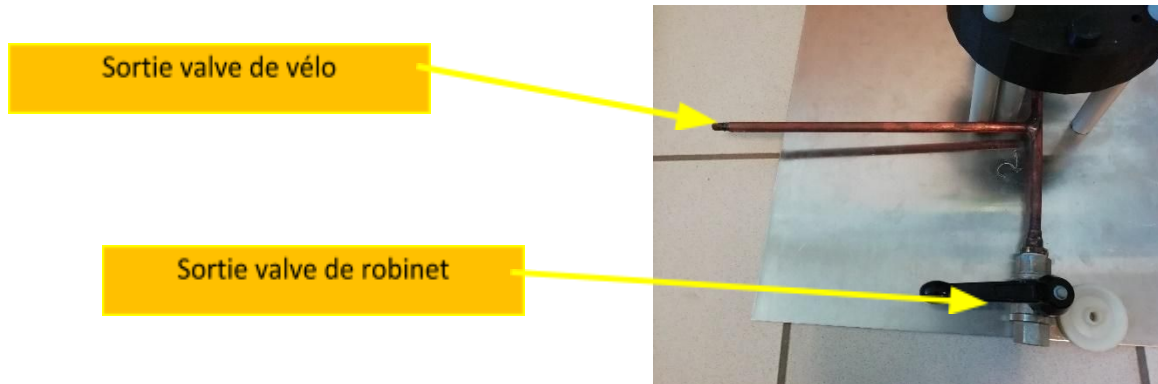
### - Remplir la fusée d'eau et la mettre sous pression

Nous nous sommes ensuite attaqués à l'une des plus grosses difficultés de notre projet qui était de faire rentrer l'air ainsi que l'eau dans la fusée le tout avec un dispositif qui permet de faire varier le diamètre de la tuyère... Le goulot de la bouteille se trouvant vers le bas. Il faut donc faire rentrer l'eau et l'air dans la bouteille sans qu'ils ne puissent s'échapper.

Cependant pour parer à cela nous pouvions percer un second trou au-dessus de la bouteille or cela aurait détruit l'étanchéité de la bouteille. Pour résoudre ce problème, de nombreuses solutions ont été envisagées mais aucune ne fonctionnaient. Par exemple, nous voulions remplir la bouteille d'eau dans le bon sens puis la retourner, le problème est que l'on ne peut pas connaître le volume exact d'eau dans la bouteille car même si nous connaissons le volume de départ dès lors que l'on retourne la bouteille de l'eau s'échappe et ce volume-là est inconnu. Une autre solution était de retourner totalement la rampe or cela n'était pas du tout pratique.

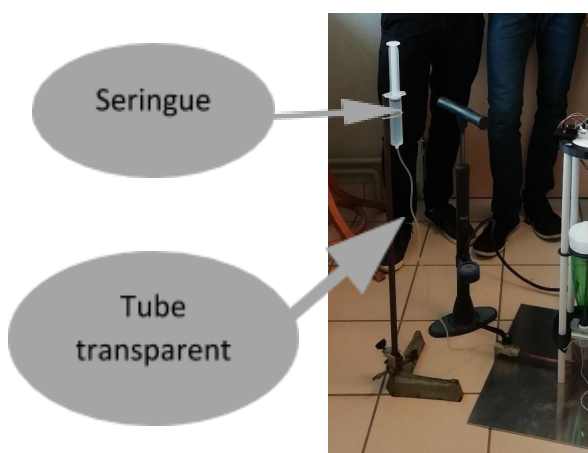
Nous avons ensuite réfléchi au moyen de faire rentrer de l'air, or il fallait réussir à faire rentrer de l'air dans la bouteille sans qu'elle ne s'échappe. Nous avons donc tout de suite envisagé le système d'un tuyau en cuivre qui passerait par le trou dans le bouchon imprimé qui ressort à l'extérieur de la base de lancement. A chaque extrémité du tuyau nous voulions installer des valves de chambre à air pour vélo qui permette de faire passer l'air que d'un seul sens.

C'est donc par le tuyau que nous allons faire rentrer l'eau. Nous avons demandé au plombier du lycée de nous faire un pont en T en soudant un deuxième tuyau au premier ce qui permet d'avoir deux sorties. Sur l'une d'elle est donc installé une valve de chambre à air de vélo, ce sera notre entrée pour l'air. L'autre sortie est terminée par une valve de robinet qui permet d'ouvrir ou de fermer l'entrée d'un tuyau à l'aide d'une poignée.

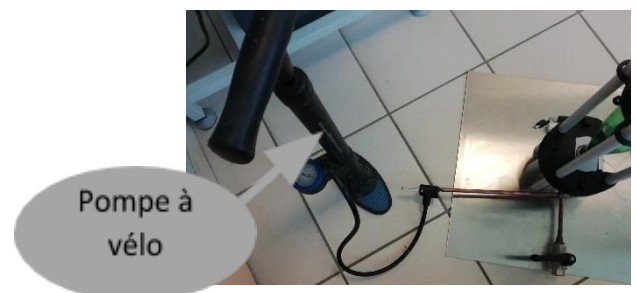


Ainsi pour remplir la fusée d'eau nous ouvrons la valve de type robinet, puis on fait passer un petit tuyau en plastique (comme ceux utilisés pour transporter le sang dans des poches dans les hôpitaux lors des prises de sang) que l'on fait glisser dans tout le tuyau en cuivre. Dont une extrémité se trouvera dans la bouteille tandis que l'autre sera relié à une seringue qui permet d'introduire le volume désiré. Et pour mettre la bouteille en pression nous utilisons une pompe à vélo qui se fixe sur la valve à vélo après avoir rempli avec la quantité d'eau souhaité

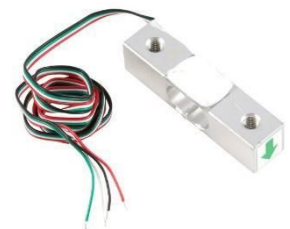
**Remplissage d'eau**



**Remplissage d'air**



Pour que la fusée soit totalement étanche et qu'il n'y est pas de fuite nous avons rajouté du silicone ainsi que du caoutchouc et du ruban imperméable.



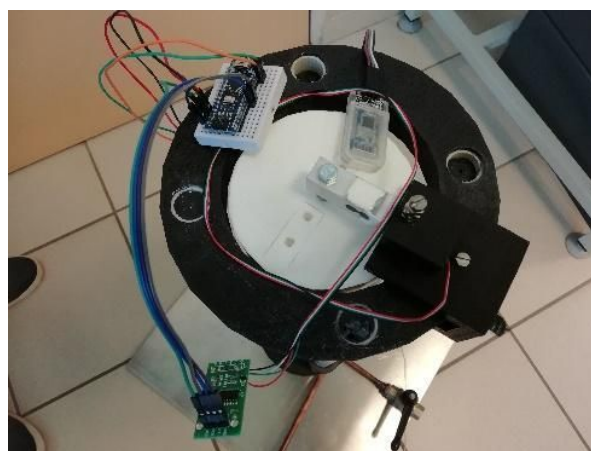
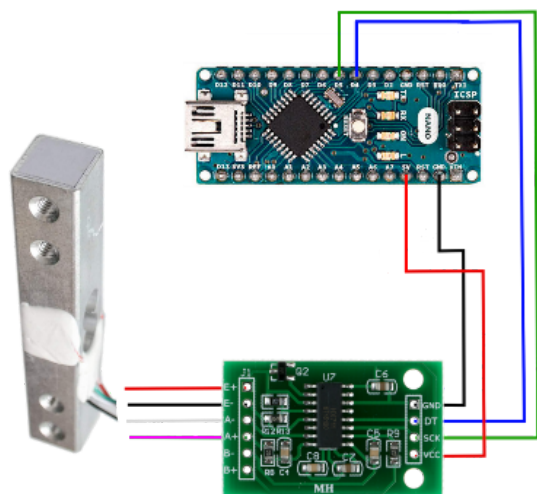
## La mise en oeuvre des capteurs



## -Le capteur de force

Tout d'abord, avant d'utiliser le capteur de force il fallait en choisir un, il nous en fallait un qui soit sous forme de barre métallique pour l'installation adéquate. De plus il fallait qu'il résiste (le premier était de 50N cela était insuffisant), le capteur choisi fait donc 500N.

Ensuite pour que le capteur fonctionne et qu'il puisse communiquer avec l'utilisateur, le capteur est mis dans un circuit composé d'un microcontrôleur qui gère toutes les informations, d'une batterie de tension de 3.3V, et d'un module Bluetooth.



Ensuite lorsque toutes les connexions du circuit ont été soudées (nous remercions l'électricien du laboratoire de physique pour ces soudures de qualités) il a été nécessaire d'étalonner le capteur de force. Tout d'abord car le cône inversé qui est accroché au bout du capteur exerce une certaine force vers le sol, il a été nécessaire de faire une tare au début du programme pour déduire sa contribution, et n'avoir que la force réelle de la fusée. Donc pour l'étalonner nous avons utilisé plusieurs masse différentes (100g, 500g, 1kg, 2kg et 5kg pour obtenir des points et ainsi tracé une courbe de la tension en fonction de la masse. Grâce à cette courbe on peut en déduire le coefficient directeur de la droite et le coefficient à introduire dans le capteur.



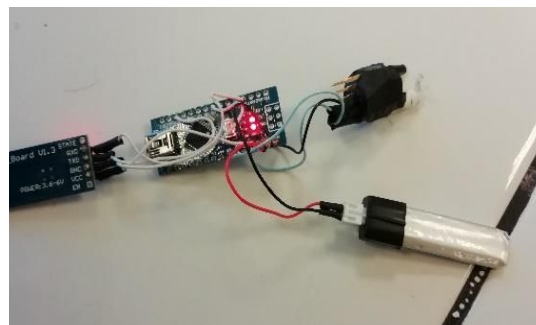
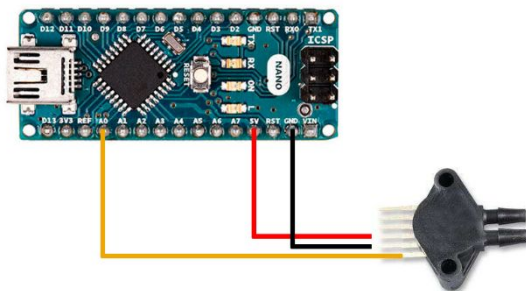
Une fois que le capteur était calibré nous l'avons programmé pour qu'il puisse mesurer la force de poussée de la fusée peu de temps après avoir quitté la base.

## - Le capteur de pression

Comme précisé plus haut, la pression à l'intérieure de la bouteille est un paramètre crucial Nous voulions lors de ce projet étudier la pression à l'intérieur de la bouteille en fonction du temps, pour nous permettre d'accéder à la poussée

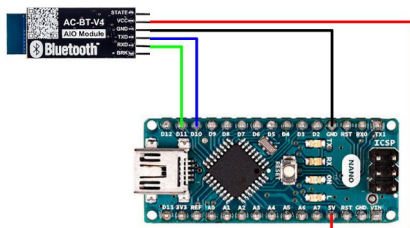
expérimentale. Pour cela nous avons utilisé un capteur de pression qui est capable de mesurer des grandes pressions jusqu'à 5,5 bars avec une bonne résolution.

Après l'avoir choisi nous avons créé son circuit contenant une batterie de 3,3 V, également un module Bluetooth comme pour le capteur de force et enfin un microcontrôleur. Cela va permettre de mesurer la pression dans la fusée, sur le banc et plus tard pendant le vol de la fusée (sur 10 m environs la portée du bluetooth).



Pour commencer, comme pour le capteur de force, nous avons dû initialiser le capteur de pression à l'air ambiant. Puis nous l'avons programmé dans le but d'avoir la pression interne.

## -Les modules Bluetooth



Enfin, il nous était nécessaire que les valeurs mesurées nous soient transférées pour les enregistrer. Pour cela nous avons décidé d'utiliser des modules Bluetooth qui sont présents dans les circuits électriques des deux capteurs (de pression et de force). Les deux modules sont en communication lors d'un essai sur banc ou pendant le vol de la fusée avec nos téléphones. Pour cela nous avons installé une application qui se nomme Serial Bluetooth Terminal. Ainsi nos téléphone et le modules pouvaient communiquer par Bluetooth.

Nous avons donc dû programmer les deux module avec des programmes relativement similaires, afin qu'ils envoient des donnée sur nos téléphones.

```

pression

int rawValue; // A/D readings
int offset = 101.325; // zero pressure adjust
float v = 0; // max pressure (span) adjust
float pressure; // final pressure

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  rawValue = analogRead(A0);
  Serial.print("Raw A/D is ");
  Serial.println(rawValue);
  v=rawValue*5.000/1023;
  Serial.println(v);
  pressure = (v-0.1711)/0.00900 + offset; // pr
  Serial.print(" The pressure is ");
  Serial.print(pressure, 1); // no decimal plac
  Serial.println(" kPa");
  delay(500); // delays readings
}

```

```

14:42:36.265 0.00
14:42:36.385 15.00
14:42:36.506 18.00
14:42:36.585 22.00
14:42:36.706 34.00
14:42:36.825 49.00
14:42:36.905 49.00
14:42:37.025 46.00
14:42:37.145 33.00
14:42:37.225 26.00
14:42:37.345 16.00
14:42:37.465 2.00
14:42:37.545 0.00
14:42:37.665 0.00
14:42:37.785 0.00
14:42:37.865 0.00
14:42:37.985 0.00
14:42:38.105 0.00
14:42:38.185 0.00

```

Force de poussée mesurée (en  
N) envoyée sur le téléphone

```

09:09:23.997 103.17
09:09:24.513 103.17
09:09:25.035 103.17
09:09:25.557 103.71
09:09:26.034 104.25
09:09:26.554 105.34
09:09:27.076 105.34
09:09:27.595 105.88
09:09:28.115 106.97
09:09:28.593 107.51
09:09:29.114 125.43
09:09:29.633 167.25
09:09:30.114 198.75
09:09:30.673 229.16
09:09:31.154 256.31
09:09:31.676 272.60
09:09:32.154 293.24
09:09:32.675 303.02
09:09:33.237 299.76
09:09:33.717 298.13
09:09:34.194 298.67
09:09:34.713 303.02

```

Pression mesurée (en kPa)  
envoyée sur le téléphone

## IV. LES MESURES

Compte tenu des difficultés de mise au point du dispositif et des divers casses auxquelles nous avons été confrontées (la densité des pièces imprimées en plastique), il ne nous a pas été possible d'acquérir des données exploitables. Nous allons donc présenter les tableaux de mesures vierges avec les valeurs théoriques quand ces dernières sont calculables.

Evolution de la pression interne et de la poussée au cours du temps

t (ms)	0	10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
pression(Pa)												
poussée(N)												

Influence de la surface de la tuyère

Avec 500 mL, 700 mL et 900 mL d'eau

diamètre tuyère(mm)	8	10	12	14	15	16
poussée maximum(N)						

Influence de la pression initiale, de la forme de la tuyère...

## V. CONCLUSION

La partie « mesures » est tristement vide compte tenu du nombre incroyable de problèmes et de casses que nous avons subis. Loin de nous décourager, ces événements nous ont donné encore plus envie d'extraire enfin des données de notre dispositif que nous pensons désormais opérationnel. Il nous reste d'ailleurs une semaine pour l'éprouver et nous espérons arriver à LYON avec quelques séries de mesures encourageantes.

Un point positif de ces déboires que nous souhaitions relever dans cette conclusion, c'est le traitement théorique, que nous avons été "contraint" de développer après avoir cassé le banc. Il nous ont permis d'estimer la force de poussée, de redimensionner nos capteur et réajuster la pression initiale. Ces calculs nous donc ont été précieux. Cette étude a encore beaucoup à donner et nous espérons pouvoir vous en convaincre.

Avec l'aide de :

Olivier CLÉMENCE enseignant

Pierre ADROGUER enseignant

Pascal LANGLOIS assistant ingénieur du lycée Eiffel

Les personnels techniques du laboratoire

Adeline, Nadine et Nour

et le magasinier

Pascal