



NETTOYER EN BALLON

Collège Pierre et Marie Curie

Pont-Audemer



Table des matières

I.	Avant de commencer	4
A.	Le contexte	4
B.	Les idées	4
C.	Les contraintes	4
D.	Les choix	4
II.	Dimensionnement	4
A.	La poussée d'Archimède	4
1.	Enoncé	4
2.	Les fluides en présence	6
3.	Correspondance volume-masse	6
B.	Et concrètement ?	6
1.	Le ballon	6
2.	Graphique	6
C.	Conséquences	8
1.	Dimensions	8
2.	Masses	8
III.	L'alimentation en produit nettoyant	9
A.	Prise en compte de la masse	9
1.	Lieu de stockage	9
2.	Cheminement	9
B.	Inconvénient de la hauteur	9
1.	Masse croissante	9
2.	Débit	9
C.	Solutions retenues	10
1.	Type d'alimentation	10
2.	Contourner le problème de masse	10
3.	Limites	10
IV.	La stabilité	11
A.	Les mouvements possibles	11
1.	Les mouvements	11
2.	Les contrôles	12
3.	La solution	12
B.	Prise en compte de la sécurité	12
1.	Les cas envisageables	12
2.	Les limites imposées	12
V.	Cas de la stabilité contrôlée	13

A.	Détection de l'instabilité	13
B.	Idée de gestion	13
1.	Le mouvement de retour	13
2.	L'arrêt de stabilisation	14
C.	La commande des moteurs	14
1.	Le sens de rotation	14
2.	La calibration	14
3.	Contrôler la rotation d'un moteur.....	14
D.	Le 2 en 1	15
1.	Les problèmes	15
2.	La gestion.....	15
3.	La procédure.....	15
VI.	Remerciements	15

I. Avant de commencer

A. Le contexte

La ville de Pont-Audemer a restauré pendant 2 années son église de centre-ville. Un grand chantier ayant nécessité l'intervention de différents corps de métiers et une immense structure d'échafaudages. Cependant, un seul hiver aura suffi pour que réapparaissent des traces vertes sur les façades immaculées.

Notre volonté a été alors de chercher à proposer aux services techniques de la ville un moyen de préserver l'état des façades sans recourir à des structures imposantes et des savoirs faire professionnels. Développer ce projet nous a semblé également profitable pour le ravalement de façades des immeubles. En effet, pouvoir pulvériser un produit retardant les salissures permet d'espacer ces travaux de ravalement et donc de réaliser des économies.

B. Les idées

Au sein du club de mathématiques appliquées, nous avons cherché des solutions envisageables et réalisables. Nous avons également exposé ce projet à différentes classes pour obtenir les idées spontanées de certains de nos camarades.

Parmi celles-ci, nous avons eu :

- Un robot grimpant sur les façades et pulvérisant du produit. L'adhérence à la paroi nous a semblé impossible à réaliser et nous avons mis cette idée de côté.
- Un système de tuyaux percés entourant l'édifice et laissant couler du produit déverdisant. L'idée nous a semblé bonne mais la mise en place des tuyaux ainsi que l'efficacité à traiter l'ensemble de l'édifice à l'architecture complexe a été rédhibitoire.
- Le recours à un drone pulvérisateur nous a semblé la plus concevable et nous sommes partis sur cette idée.

C. Les contraintes

En creusant sur les drones existant par le biais d'internet, il est apparu que le pilotage d'un drone en milieu urbain requérait des compétences professionnelles. Cela ne correspondait pas à nos critères d'accessibilité aux agents techniques de la ville en termes de formation.

Cependant, l'idée d'un nettoyage par les airs nous plaisait bien. Nous avons alors découvert la notion de ballon à gaz captif, permettant une utilisation sans contraintes légales.

D. Les choix

Nous partons donc sur un ballon gonflé à l'hélium, relié au sol et emportant un système de pulvérisation.

II. Dimensionnement

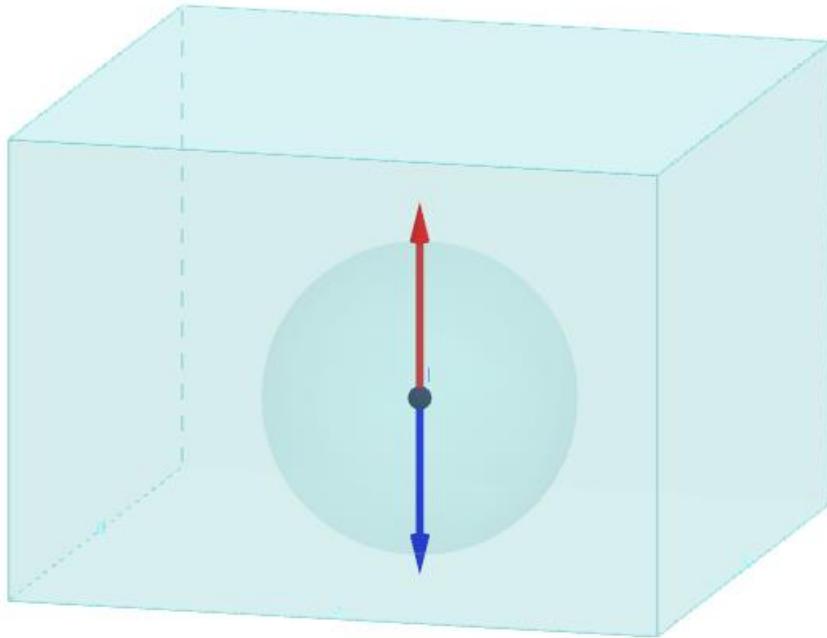
A. La poussée d'Archimède

1. Énoncé

Le ballon gonflé à l'hélium s'élève dans le ciel grâce à la poussée d'Archimède :

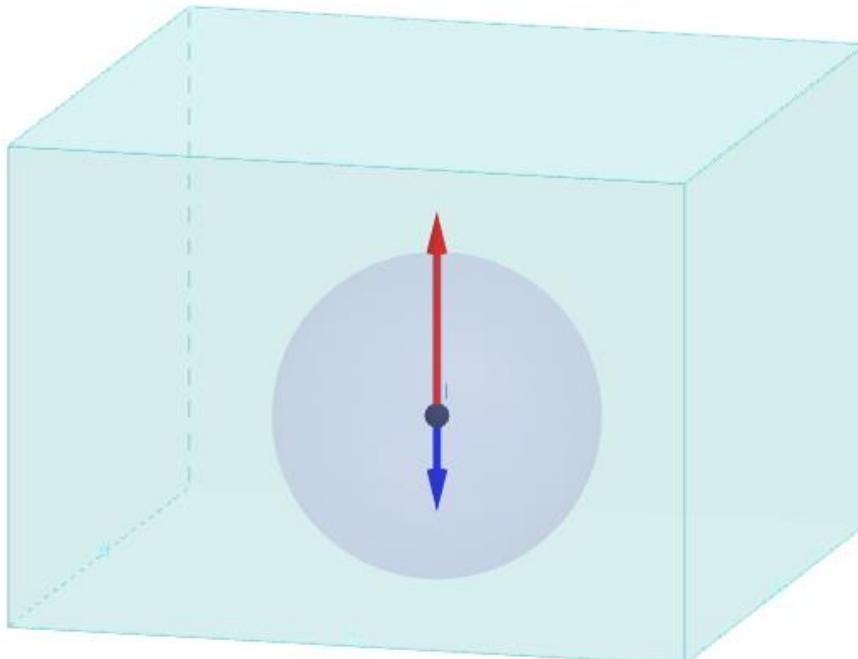
« Tout corps plongé dans un fluide au repos subit de la part de celui-ci une force verticale, ascendante, égale au poids des fluides déplacés. »

Si on veut faire un schéma pour expliquer cela, on peut faire ceci :



Considérons un parallélépipède de fluide et imaginons un volume en forme de boule à l'intérieur. Le liquide de cette boule tient « en suspension » parce que le fluide autour est capable de fournir une force permettant de le soutenir (\rightarrow) en compensation de son poids qui l'entraîne vers le bas (\rightarrow).

Si à présent, nous remplaçons la boule par un autre fluide plus léger :



Le poids est plus faible alors que la force de soutien est constante. La différence d'intensité des forces entraîne l'élévation de la sphère.

2. Les fluides en présence

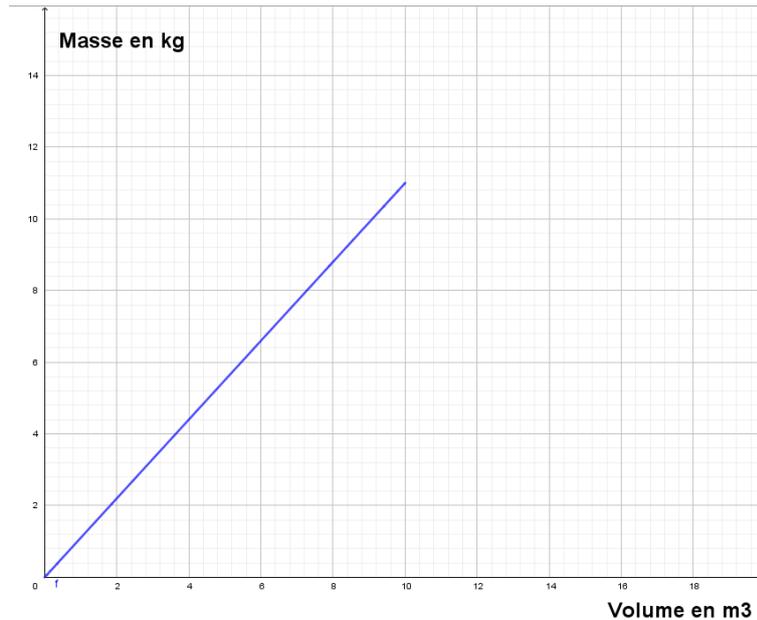
Nous avons comme fluide ambiant l'air de masse volumique $1,20 \text{ kg/m}^3$. Le poids d'un m^3 est donc de $11,77 \text{ N}$ car $1,2 \times 9,81 = 11,772$

Le fluide du ballon est l'hélium de masse volumique $0,18 \text{ kg/m}^3$. Le poids d'un m^3 est donc de $1,77 \text{ N}$ car $0,18 \times 9,81 = 1,7658$

La différence de poids est donc de 10 N ($11,77 - 1,77 = 10$) et par conséquent un m^3 d'air peut soulever environ 1 kg attaché à 1 m^3 d'hélium car $10 : 9,81 \approx 1,02$

3. Correspondance volume-masse

Ce qui nous intéresse ici, c'est d'avoir une correspondance entre le volume du ballon et la masse qu'il peut soulever.



B. Et concrètement ?

1. Le ballon

Nous contactons l'entreprise PHODIA qui vend des ballons publicitaires gonflés à l'hélium. Elle nous informe de plusieurs choses :

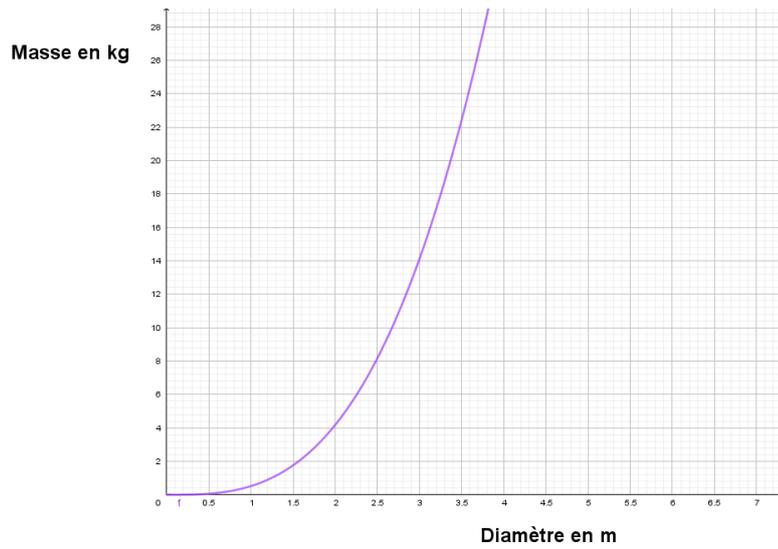
- La taille des ballons est donnée par la donnée du diamètre.
- Les ballons ne s'élèvent que lorsque leur diamètre est supérieur à $1,6 \text{ m}$. En effet, le ballon a une masse qui lui est propre !
- On part du principe qu' 1 m^3 soulève 1 kg .
- Le vent peut empêcher les ballons de s'élever lorsqu'ils sont captifs
- L'hélium fuit du ballon à la vitesse de 10% du volume par jour.

2. Graphique

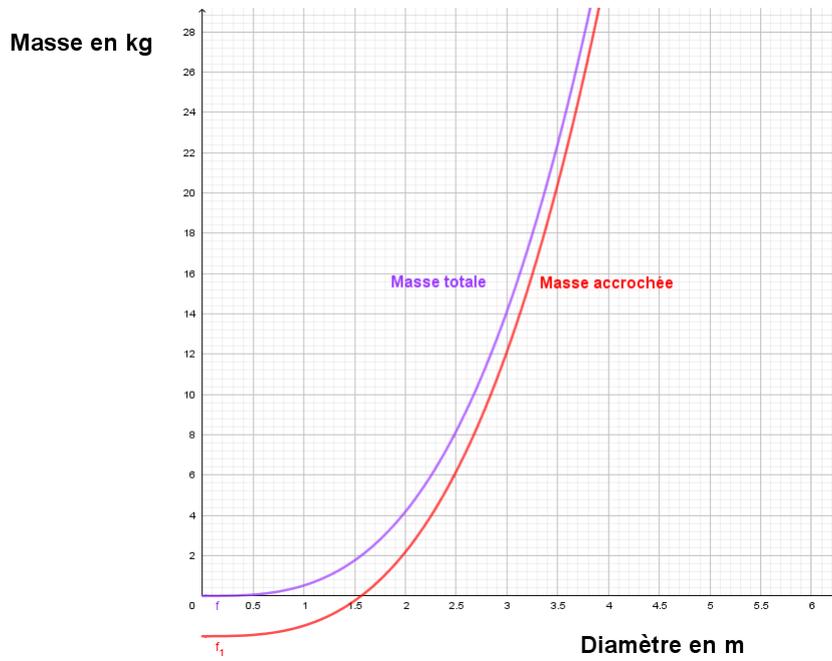
Nous traçons donc le nouveau graphique donnant la masse que nous pouvons accrocher en fonction du diamètre du ballon.

Le volume est donné par $V(d) = \frac{1}{6} \pi d^3$ en fonction du diamètre d .

La correspondance 1 m^3 soulève 1 kg amène le graphique suivant :



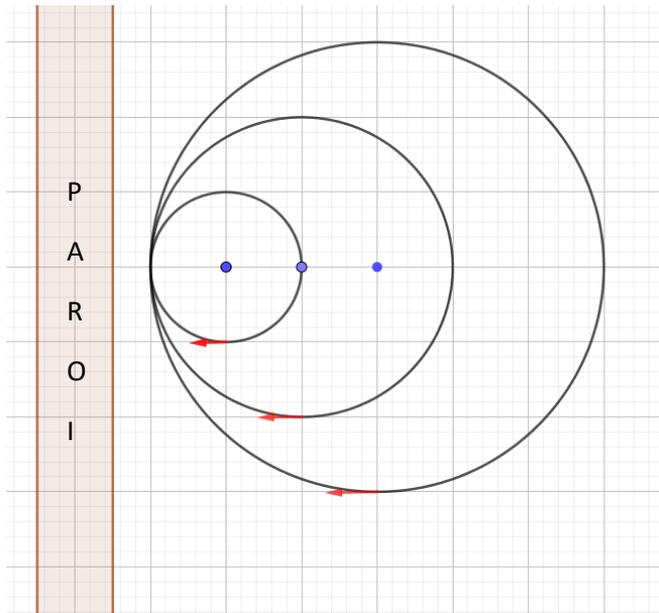
Mais comme un ballon de 1,6 m soulève 0 kg, on a la courbe finale obtenue par une translation de la courbe précédente vers le bas de 2 kg.



C. Conséquences

1. Dimensions

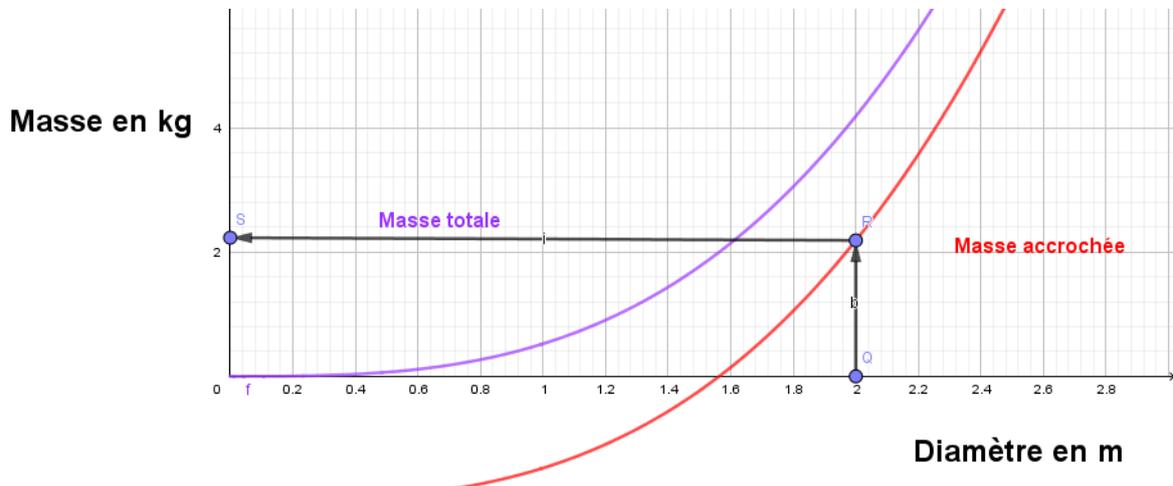
On veut projeter un liquide depuis un ballon. Cependant, la taille du ballon impose que l'on soit à une certaine distance de la paroi.



Plus le diamètre augmente, plus la distance entre le point de pulvérisation (←) et la paroi augmente. Nous décidons de partir sur un ballon de 2m de diamètre, pour être à une distance de 1,5 m du mur (il ne faut pas que le ballon touche la paroi).

2. Masses

Si l'on prend notre graphique, on pourra envisager d'emporter une structure de 2,2 kg



Nous rappelons l'entreprise PHODIA et lui exposons notre choix. Notre interlocuteur nous répond qu'un ballon de 2 m de diamètre pourra emporter au mieux 1,8kg car plus le diamètre du ballon augmente, plus sa masse augmente !

En résumé, les contraintes du projet sont :

- Masse maximale de 1,8kg. Notre structure sera tout en carbone pour alléger au maximum.

- Système fixé à 1,5 m du mur (1m du au ballon et 0,5m de distance pour éviter que le ballon ne touche la paroi)

III. L'alimentation en produit nettoyant

A. Prise en compte de la masse

1. Lieu de stockage

La limitation de masse implique que l'on ne peut pas emporter le produit nettoyant en l'air. Il faut donc le stocker au sol et l'acheminer jusqu'au ballon.

2. Cheminement

Nous allons par conséquent relier le ballon à la réserve de nettoyant. Ce lien en forme de tuyau sera utilisé pour garder le ballon captif. Nous choisissons un tuyau d'arrosage de petit diamètre utilisé pour l'arrosage goutte à goutte par exemple avec des embouts de pulvérisation.



Tuyau de diamètre 4mm interne/6mm externe

Il faut également approcher la pulvérisation du mur donc on fixe les embouts au bout d'une perche (une canne à pêche)

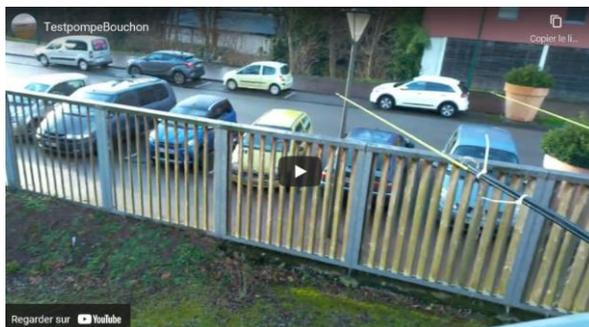
B. Inconvénient de la hauteur

1. Masse croissante

Ce tuyau rempli de liquide apporte une masse supplémentaire, qui croit avec l'altitude. Ceci peut porter préjudice à la hauteur de nettoyage ou à la vitesse d'ascension du ballon.

2. Débit

Nous décidons d'acheminer le produit entre le réservoir et la buse d'éjection à l'aide d'une pompe du type vide-cave. Nous nous plaçons aux extrémités d'un escalier extérieur, la pompe en bas, la sortie de pulvérisation en haut.



Essai avec bouchon

<https://youtu.be/e0htzW7EId4>



Essai sans bouchon

<https://youtu.be/1nrqEH2Ktrs>

Nous pensons utiliser alors une pompe plus puissante. En allant chercher des raccords, nous expliquons au vendeur de chez CEDEO notre montage. Il nous dit être sceptique sur le résultat et nous encourage à choisir plutôt un pulvérisateur standard car c'est selon lui davantage un problème de pression que de capacité à débiter.

C. Solutions retenues

1. Type d'alimentation

Après essai, nous validons donc l'usage du pulvérisateur :



Essai pulvérisateur

<https://youtu.be/SDGbmp-JPlq>

2. Contourner le problème de masse

Pour contourner le problème de masse, nous avons opté pour un réservoir au sol et l'utilisation d'un pulvérisateur. Cependant, la masse grandissant au fur et à mesure de la prise d'altitude, nous envisageons de loger le tuyau d'alimentation dans un tuyau rigide en carbone. La masse sera effectivement plus grande encore mais la rigidité nous permettra de maîtriser la prise de masse et d'espérer pouvoir monter plus haut.

3. Limites

Nous savons à présent pulvériser un produit en hauteur. Cependant, cette pulvérisation doit être contrôlée en direction et la propulsion d'un produit entraîne une réaction se traduisant par un mouvement. De même, le test sans ballon semble également montrer un problème d'équilibrage.



Essai de pulvérisation sur le mur

<https://youtu.be/MuRbHy5rvjw>

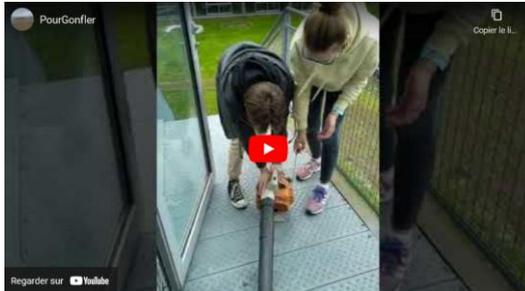
IV. La stabilité

A. Les mouvements possibles

1. Les mouvements

L'expérience précédente montre qu'en simulant le ballon, un problème de stabilité se fait jour.

Nous gonflons les 4000 L du ballon avec de l'air, en utilisant un souffleur de feuilles (merci Monsieur Lefèvre, « géant vert », agent technique du collège pour cette idée génialissime).



Souffleur en action

<https://youtu.be/Fj5TPK32b2Q>

Nous installons le ballon en le suspendant par un point d'accroche situé sur son dessus :



Fixation du ballon



Fixation de la plateforme au ballon

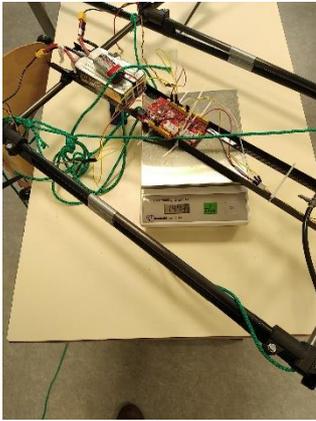
Malgré son point d'attache, le ballon tourne autour d'un axe vertical et le système a également tendance à se balancer d'avant en arrière. Et bien sûr, on peut penser que des mouvements de translations sont possibles.

2. Les contrôles

Pour contrôler ces mouvements, nous pensons que l'utilisation de la perche faite de tuyaux rigides renfermant le tuyau d'alimentation sera idéale. Cependant, le test fait préalablement montre de nombreux déséquilibres.

3. La solution

Nous allons faire en sorte que la traction du ballon, le point d'équilibre du système et le point d'attache de la perche soit alignés verticalement. Nous en profitons pour faire faire à notre système une cure d'amaigrissement :



1473 g avant cure

Cela a été possible en recentrant les masses autour du point de fixation de la perche. Nous arrivons à 902 g !

B. Prise en compte de la sécurité

1. Les cas envisageables

Le seul danger que nous entrevoyons est la chute de l'ensemble suite à une masse trop importante. Cependant, cette surcharge n'est due qu'à la masse accumulée dans le tuyau d'alimentation.

2. Les limites imposées

Nous avons donc une marge de 900 g de masse.

Le tuyau rigide en carbone c'est 64g/ml.

Le tuyau pvc d'arrosage c'est 13g/ml

Si on assimile le produit nettoyant à de l'eau, qui circule dans un tube de 4 mm de diamètre, cela correspond à une masse linéique de 12.5 g/ml car le volume en cm^3 est de $\pi \cdot 0.2^2 \cdot 100 = 12.56 \text{ cm}^3$ et comme 1 cm^3 d'eau a une masse de 1g... on a donc une masse linéique de perche de 90g/ml environ.

900g de marge nous permettent d'atteindre une hauteur de 10m sans risque car $900/90=10$.

Au-delà de ces 10m, la charge fera que le ballon descendra mais avec une vitesse faible. Pour s'en assurer, il vaudra mieux tenter l'expérience. En raison du coût, nous ne pourrions effectuer celle-ci.

Enfin, un mouvement du ballon sera impossible à contrôler à l'aide de la perche, qui plus est parce que celui-ci sera induit par la propulsion du produit. En effet, si le ballon va à droite, gauche, vers l'avant, nous pourrions par des mouvements inverses rétablir le déséquilibre. Mais quid d'un mouvement vers l'arrière ? En effet, on ne pourra pas avancer vers l'avant indéfiniment puisqu'il y a la paroi.



Situation extrême où le ballon est éloigné de la paroi et où il est impossible de la faire aller plus près

V. Cas de la stabilité contrôlée

A. Détection de l'instabilité

L'instabilité doit être détectée puisque nous ne pouvons pas faire de mouvement pour la contrer. Elle donne naissance à un éloignement du ballon par rapport à la paroi. Il nous suffit donc de mettre un télémètre qui donnera la distance entre le ballon et le mur et qui sera source d'alerte si la distance est supérieure à 1,5m.

Nous choisissons le télémètre de droite car il mesure la distance « bien devant lui » contrairement à celui de gauche :



Angle de mesure de 15°



Angle de mesure de 2°

Le site qui le vend met en ligne le programme pour l'utiliser :

https://wiki.seeedstudio.com/Grove-TF_Mini_LiDAR/

La ligne 40 du programme écrit la mesure donnée par le télémètre. On retient donc que la distance se nomme : `SeeedTFLidar.get_distance()`

Cela nous sera utile pour le programme final qui reprendra ce programme en partie.

B. Idée de gestion

1. Le mouvement de retour

Le mouvement retour à la position idéale à 1,5m du mur ce fera à l'aide de moteurs de drone munis d'hélices.

2. L'arrêt de restabilisation

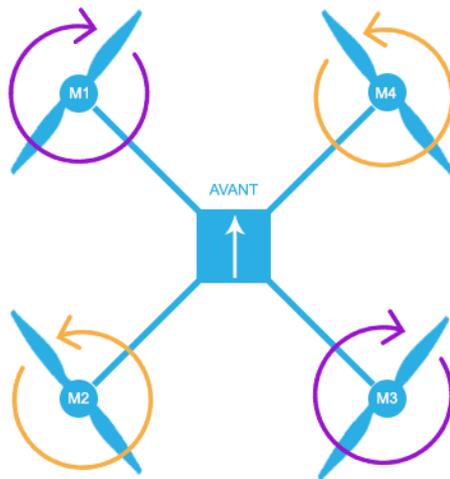
Lorsque la position adéquate sera récupérée, les moteurs s'arrêtent. Cependant, il est possible que l'ensemble ait un élan et poursuive son avancée vers la paroi. Nous prévoyons donc des perches flexibles qui pourront venir en contact avec la paroi pour arrêter le mouvement retour.

Nous prenons deux perches parallèles pour être stable une fois appuyé contre la paroi.

C. La commande des moteurs

1. Le sens de rotation

Un moteur a un sens de rotation. Il existe donc deux types de moteurs : ceux tournant en sens horaire et ceux tournant en sens anti-horaire. Ces sens de rotation entraîne un déséquilibre lors du fonctionnement, en faisant tourner l'appareil qui les utilise. Pour éviter ce problème, les drones disposent les moteurs pour que le mouvement de l'un contre celui de l'autre.



Disposition des moteurs sur un drone

Nous devons donc mettre deux moteurs tournant en sens inverse. Et sachant cela, on s'est trompé en montant les moteurs en les positionnant de façon esthétique, on a provoqué un mouvement de recul alors que l'on voulait avancer.

2. La calibration

A la réception des moteurs, on a reçu des éléments, des ESC, qui permettent de contrôler la vitesse des moteurs avec un micro-contrôleur Arduino. En cherchant sur Internet, nous avons trouvé un exemple pour calibrer les moteurs avec un micro-contrôleur (avec un drone, il faut manipuler la manette des gaz). La calibration, c'est donner l'information au moteur du signal « plein gaz » et du signal « pas de gaz »

Ce site donne la procédure à suivre :

<https://www.firediy.fr/article/calibrer-ses-esc-avec-un-arduino-drone-ch-3>

3. Contrôler la rotation d'un moteur

A travers le programme, nous comprenons que la commande de vitesse se fait par la commande : motA.write(nombre entre 0 et 180)

```

void test()
{
  for (int i=0; i<=100; i++) {
    Serial.print("Speed = ");
    Serial.println(i);

    motA.write(i);
    motB.write(i);
    motC.write(i);
    motD.write(i);

    delay(200);
  }
}

```

D. Le 2 en 1

1. Les problèmes

Une fois les moteurs calibrés, nous avons chargé le programme de distance et de commande moteur en fonction de cette distance. Cependant, les moteurs ne fonctionnaient pas ou alors s'emballaient et finissaient par griller.

2. La gestion

Il nous a donc fallu faire un programme assurant en première partie la calibration puis ensuite la gestion de la puissance des moteurs en fonction de la distance. Les différentes étapes se font en partie manuellement et nous sommes informés par l'allumage de la led.

3. La procédure

On a donc choisi de partir du programme du télémètre et d'y intégrer les éléments propres à la gestion des moteurs en reprenant le code du programme de calibration.

La démarche est la suivante :

1. On envoie la commande plein gaz
2. On allume la led pour signaler le passage de cette commande et pour signaler qu'il faut brancher l'alimentation des moteurs
3. On envoie la commande gaz nul et on éteint la led pour le signaler
4. Les moteurs sont calibrés, on mesure la distance et on en déduit l'écartement au mur (on soustrait 1.5m à la distance mesurée)
 - a. Si l'écart est entre 0 et 75 cm, on met les gaz entre 0 et 75
 - b. Si l'écart est inférieur à 0 ou supérieur à 75 cm on éteint (supérieur à 75 cm, stabilisation ratée, danger)

VI. Remerciements

Nous tenions à remercier le personnel du collège qui après les séances de club de mathématiques appliquées remettent du propre après nos nettoyages.

Nous tenions à remercier le géant vert qui est toujours disponible pour nous donner un coup de main ou alimenter notre réflexion.

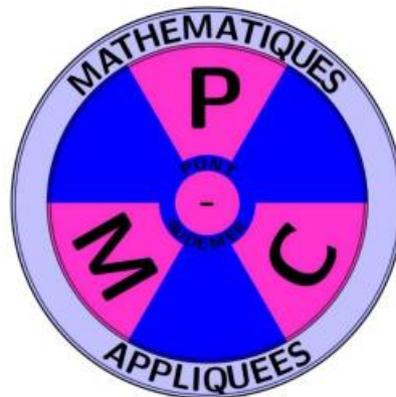
Nous remercions les entreprises PHODIA et CEDEO qui nous ont permis de passer des caps qui nous semblaient infranchissables.

Nous remercions également l'intendance du collège qui nous permet d'avoir rapidement les fournitures qui nous manquent après quelques séances d'expérimentation.

Un très grand merci pour le soutien financier du Crédit Agricole qui nous fait toujours confiance après plusieurs années.

Enfin, nous remercions le FSE et en particulier Monsieur DETOURBE qui nous permet de gérer notre budget en nous faisant confiance.

Enfin, nous remercions le laboratoire ECODIV de l'université de Rouen qui nous a permis d'avoir accès à la quantité d'hélium suffisante pour mener à bien les portes ouvertes et le concours C.Génial.



Dans la vie, rien n'est à craindre, tout est à comprendre.

Marie CURIE