



académie  
d'Orléans-Tours

jeunesse  
éducation  
recherche

# Concevoir un véhicule à propulsion hydraulique

Projet mené par les élèves de la Classe passerelle  
Collège Voltaire / Itep Chantoiseau



## Table des matières

Introduction

Problématique

Notre source d'énergie : de l'air comprimé... et un peu d'eau.

Quelques connaissances théoriques

L'expérience de base

Utilisation d'eau

Amélioration du système de gonflage

Premier véhicule : la voiture à propulsion hydraulique

Description du véhicule

Expérience avec le VPH : distance parcourue en fonction de la quantité d'eau

Axe de progression : choix d'un autre type de véhicule

## Deuxième véhicule : le téléphérique à propulsion hydraulique

Description du TPH1

Expérience 1 : distance parcourue en fonction du volume d'eau (à 4 Bar)

Expérience 1 : distance parcourue en fonction du volume d'eau (à 8 Bar)

Conclusions des expériences menées avec le TPH1

Présentation de notre TPH1 et pistes de réflexion.

## Troisième véhicule : le téléphérique à propulsion hydraulique (2ème version)

Description du TPH2

Expérience : distance parcourue en fonction du volume d'eau (à 8 Bar)

Interprétation des résultats et conclusion

## Introduction

L'année passée, dans le cadre d'un projet sur le ciel et l'Espace, nous avons fabriqué des fusées à eau. En utilisant des bouteilles en PET (polyéthylène téréphtalate) ainsi qu'une pompe et un peu d'eau, nous sommes parvenus à projeter nos fusées à plus de 50 mètres de distance. Malheureusement, nous n'avons pas réussi à fabriquer des fusées qui puissent suivre une trajectoire précise. A plusieurs reprises, nous en avons perdues (dans des rivières par exemple) ou alors elles ont atterri très dangereusement. De plus, nos mesures d'altitude et de vitesse n'étaient pas très précises et dépendaient de l'orientation et de la force du vent.

Malgré tout, ces expériences nous avaient beaucoup intéressés. Notre professeur nous a donc proposé cette année d'utiliser de nouveau le principe des fusées à eau mais pour cette fois construire un véhicule avec des obligations bien précises.

## La problématique

### Concevoir un véhicule à propulsion hydraulique

Comment utiliser les propriétés de la matière pour propulser un véhicule :

- ✓ le plus loin possible
- ✓ en toute sécurité (suivre une direction précise et maintenir un contact physique constant avec l'environnement)
- ✓ en limitant les impacts sur l'Environnement ?

# I. Notre source d'énergie : de l'air comprimé... et un peu d'eau.

## A) Quelques connaissances théoriques

- des atomes aux molécules : nous avons appris cette année que la matière est constituée de sortes de petites sphères appelés les **Atomes**. Il existe des atomes d'Oxygène, d'Hydrogène, de Carbone, d'Or et bien d'autres encore. Ces atomes se comportent un peu comme des aimants et peuvent se lier entre atomes identiques ( par exemple : deux atomes d'oxygène pour faire du dioxygène) ou entre atomes différents (par exemple : un atome d'oxygène avec deux atomes d'hydrogène pour faire de l'eau). Plusieurs atomes ensemble font des molécules.
- des molécules aux états de la matière : de la même manière que les atomes peuvent s'assembler, les molécules peuvent être liées. En fonction des liaisons, il existe trois états de la matière : l'état gazeux, l'état solide ou l'état liquide.

État Solide	Les molécules sont très proches les unes des autres, très liées et immobiles (par exemple : la glace).
État liquide	Les molécules sont proches les unes des autres mais se déplacent (par exemple : l'eau du robinet).
État gazeux	Les molécules sont dispersées et ont des mouvements désordonnés (par exemple : l'air que nous respirons).

- En fonction des liaisons établies, chaque état a ses propres propriétés. Nous avons appris que l'état liquide et l'état solide était incompressible. Cependant, la matière à l'état gazeux peut être comprimée car les molécules sont éloignées les unes des autres et non liées. C'est cette possibilité de comprimer l'air que nous allons utiliser dans l'expérience suivante.

## B) L'expérience de base

Cette expérience consiste à augmenter la pression de l'air dans une bouteille en PET. Nous utilisons ce type de bouteilles car elles contiennent habituellement des boissons gazeuses et sont fabriquées pour résister à des pressions importantes (10 Bar.). De plus, ce sont des bouteilles qui peuvent être recyclées. Donc en les utilisant, nous espérons limiter les impacts sur l'environnement.

- **Le matériel**

Nous avons besoin du matériel suivant :



Une bouteille en PET (30cl)



Un bouchon de liège percé au milieu



Un embout de gonfleur à ballon



Une pompe à pied



Un tube en PVC

Le tube en PVC n'est pas indispensable pour projeter la bouteille mais il sert à la guider et à nous protéger au cas où la bouteille exploserait à cause de la pression.

### – Le déroulement de l'expérience

Première étape : il faut boucher la bouteille avec le bouchon de liège pour limiter les sorties d'air.



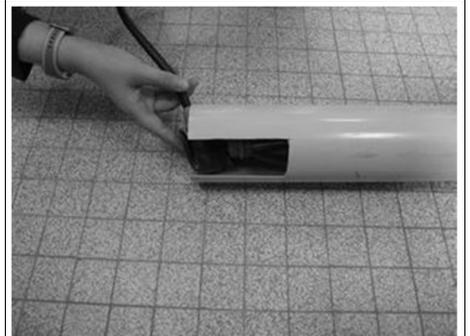
Deuxième étape : il faut placer l'embout de gonfleur à ballon au bout de la pompe.



Troisième étape : il faut enfoncer l'embout dans le bouchon en liège qui avait été percé avant d'être mis dans la bouteille.



Quatrième étape : on place la bouteille dans le tube en PVC. En face du tube en PVC, à deux mètres, nous avons mis des vêtements en tas pour que la bouteille s'arrête sans rebondir.

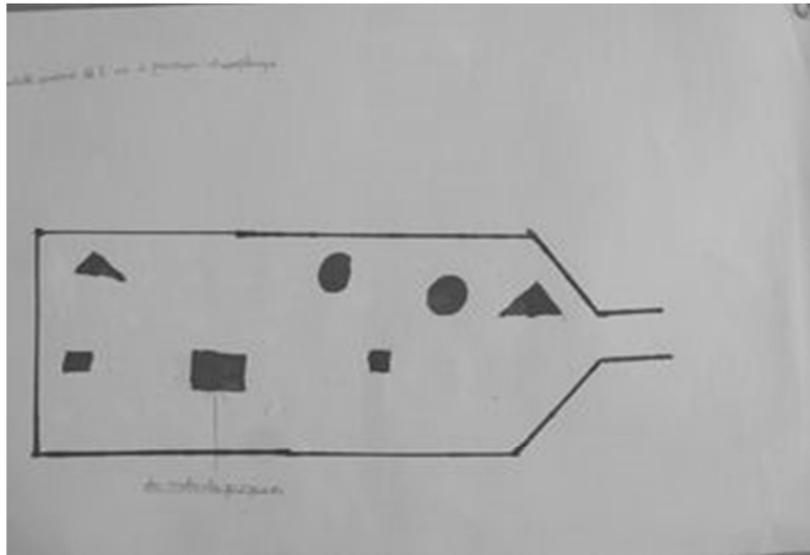


Cinquième étape : on pompe jusqu'à ce que la bouteille soit propulsée d'un coup dans le tube puis vers l'extérieur.

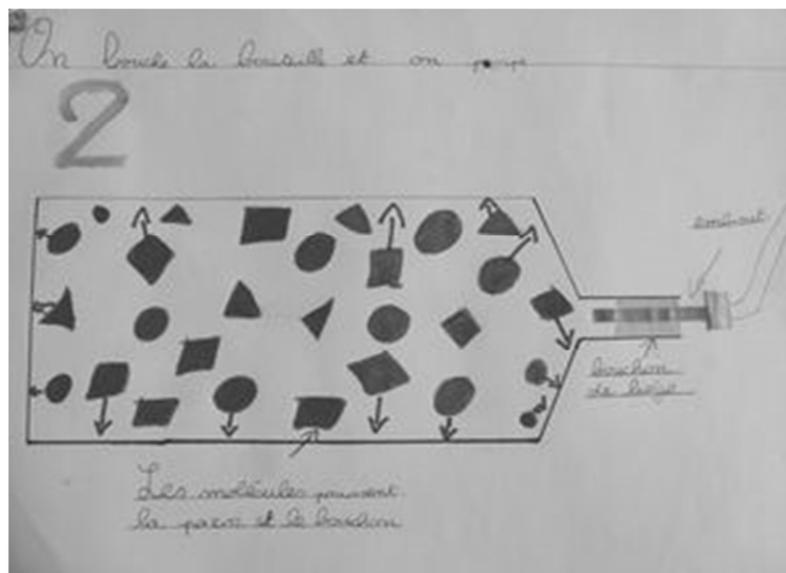


## – Compréhension et représentation de l'expérience

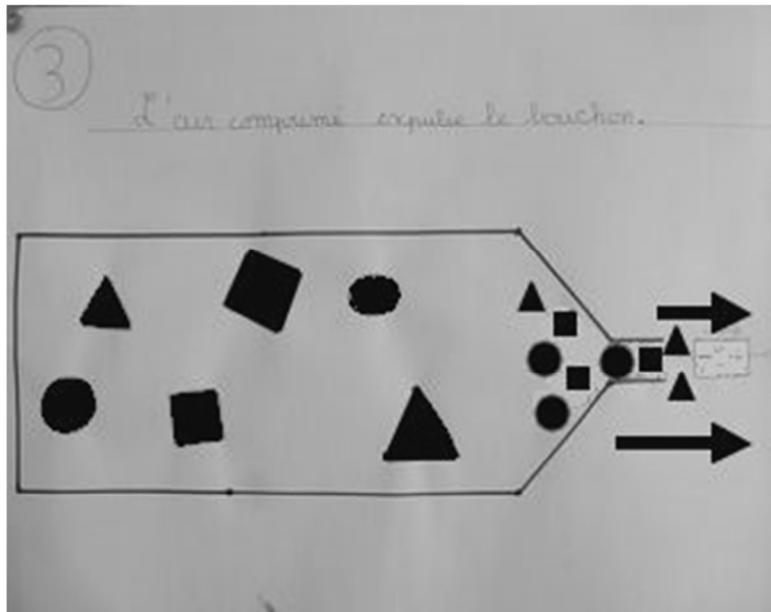
Au début de l'expérience (étape 1), la bouteille n'est pas bouchée. Donc à l'intérieur, l'air est le même que l'air ambiant à pression atmosphérique. Le nombre de molécules dépend donc du volume de la bouteille.



Lorsque nous pompons (étape 2), nous envoyons de nouvelles molécules dans la bouteille. Elles ne peuvent pas sortir car le bouchon de liège est collé aux parois du goulot de la bouteille. De plus, dans une pompe, l'air ne peut circuler que dans un sens. Les molécules sont de plus en plus serrées et exercent une pression sur la matière autour d'elle (la bouteille et le bouchon de liège). Lorsque la pression devient trop forte, le bouchon ne peut pas résister et il est expulsé par l'air qui sort de la bouteille. La bouteille est poussée dans le sens opposé.



Lorsque le bouchon de liège a été expulsé, le nombre de molécules dans la bouteille redevient le même qu'à l'étape 1. La pression dans la bouteille redevient égale à la pression atmosphérique (environ 1 bar.).



### C) Utilisation d'eau

L'année dernière, lorsque nous avons construit des fusées, nous avons vu sur Internet (sur le site de Papyjo : <http://fusees.free.fr/>) qu'il fallait mettre de l'eau dans la bouteille pour augmenter la distance à laquelle part la bouteille. Nous avons donc refait l'expérience avec le bouchon de liège en augmentant progressivement la quantité d'eau. Pour cette expérience, nous avons mis le tube à un angle de  $45^\circ$  par rapport à l'horizontale.

Quantité d'eau en Litres (L)	Distance parcourue en mètres (M) (en moyenne)
0	8
0,25	18
0,5	13
0,75	9



Nous pouvons constater deux choses :

- mettre de l'eau permet d'aller plus loin que sans eau : nous avons trouvé la raison de cela sur le site Wikipédia, à la page écrite pour les fusées à eau ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Fus%C3%A9e\\_%C3%A0\\_eau](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fus%C3%A9e_%C3%A0_eau)) :

*« La propulsion d'une fusée à eau est basée sur le principe bien connu d'action-réaction : lorsqu'une certaine masse (la masse d'eau, ici) est éjectée violemment d'un conteneur, il se crée une force de réaction dans le sens opposé. C'est par ce même principe que les fusées telles qu'Ariane sont propulsées, sauf qu'à la place d'une masse d'eau, ces engins éjectent une masse de gaz enflammés.*

*Dans les fusées à eau, la masse à éjecter est donc de l'eau, fluide parfaitement neutre et dépourvu d'énergie. Le moyen pour éjecter cette eau n'est pas une réaction chimique mais la mise sous pression de l'air dans le conteneur».*

- il ne suffit pas de mettre plus d'eau pour aller plus loin. Au-delà de 0,25 L d'eau, la bouteille est projetée moins loin. Nous avons pensé que la fusée partait moins loin à cause du poids plus élevé de l'eau. Pour pouvoir gagner en distance, nos expériences de l'année passée nous ont permis de comprendre qu'il faut pouvoir augmenter la pression dans la bouteille. Avec le bouchon de liège, nous ne pouvons pas gonfler à plus de 2,5 Bar car le bouchon est éjecté trop vite. Il faut donc utiliser un autre système de gonflage.

## **D) Amélioration du système de gonflage**

Afin de pouvoir choisir le moment de départ de la bouteille, nous utilisons des embouts de raccord de tuyau d'arrosage. Nous prenons d'abord une valve de chambre

à air de vélo pour pouvoir adapter notre pompe.. Nous mettons la valve dans un tuyau d'arrosage assez long pour pouvoir gonfler en étant loin du téléphérique. Au bout du tuyau nous mettons un raccord de jardinage.



Ce raccord est fait avec deux parties. Les deux parties se clipsent l'une sur l'autre. Au début de l'année, nous collions l'embout sur le bouchon plastique de la bouteille (fixation chimique). Mais la colle n'était pas assez solide et l'embout a été arraché plusieurs fois à cause de la pression.



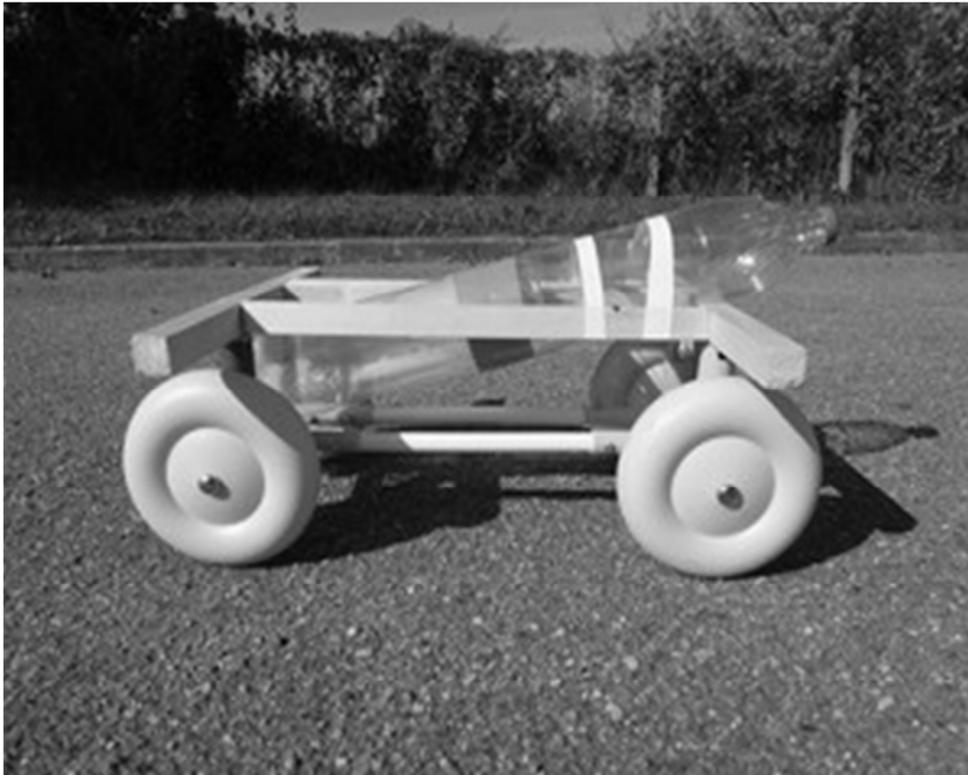
Nous utilisons maintenant des embouts qui sont vissés sur le bouchon plastique.

Grâce à ce système de gonflage, nous pouvons atteindre 8 Bar dans la bouteille. Les bouteilles en PET sont fabriquées pour pouvoir résister à 10 Bar. Mais nous gardons une marge de sécurité.

## II. Premier véhicule : la voiture à propulsion hydraulique

### A) Description du véhicule

Nous avons d'abord pensé à mettre une bouteille de 2 Litres sur une sorte de voiture à quatre roues. Pour construire cette voiture, nous avons utilisé un jouet pour enfant (une poussette). Nous avons gardé la base, les essieux et les roues en plastique.



Nous avons mis notre bouteille un peu inclinée pour que l'eau soit bien en bas. Comme cela, l'air est obligé de pousser l'eau pour sortir de la bouteille. C'est le même principe que nous avons utilisé l'année passée pour les fusées à eau. Nous verrons dans la suite du dossier que c'était une erreur.

### B) **Expérience avec le VPH : distance parcourue en fonction de la quantité d'eau**

**Notre hypothèse** : si on augmente l'eau, la distance va augmenter jusqu'à ce que la pression ne soit plus suffisante pour pousser le poids de l'eau.

Nous avons choisi une pression constante de 5 Bar car c'est une pression moyenne

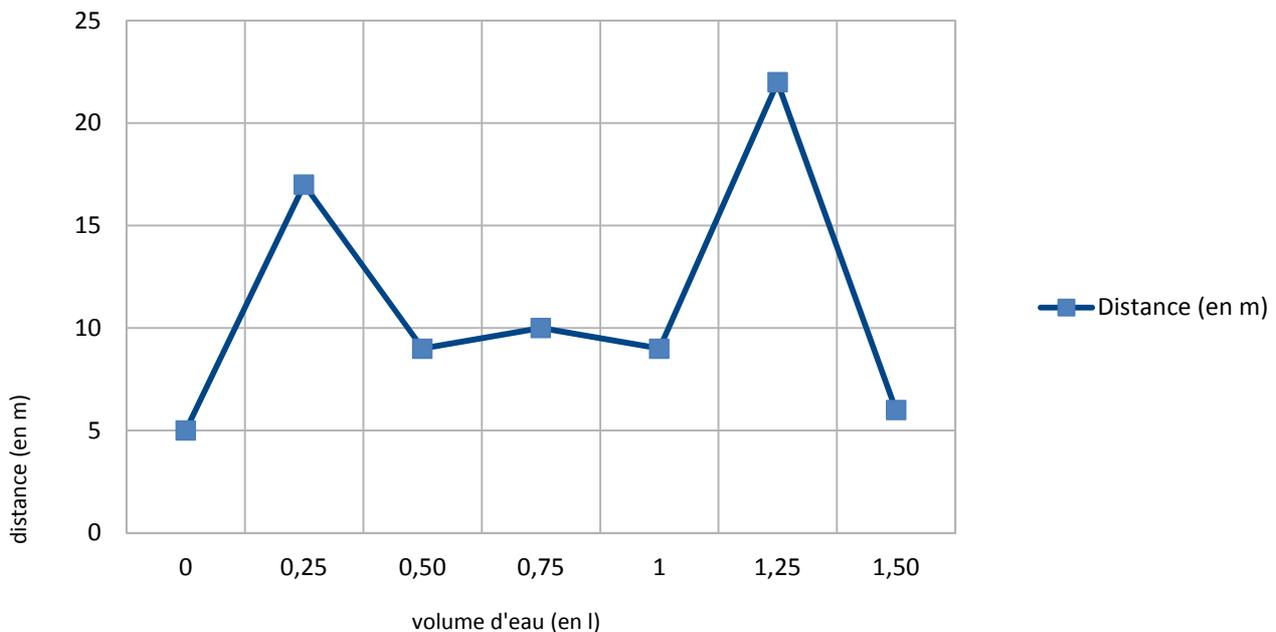
entre les 2 Bar du bouchon de liège et les 8 Bar que nous pouvons mettre au maximum.

### Les résultats de l'expérience :

Remarque : nous avons colorié en vert les résultats obtenus lorsque la voiture s'est arrêtée toute seule, en orange les résultats obtenus lorsque la voiture a tapé un obstacle

Volume d'eau (en l)	0	0,25	0,50	0,75	1	1,25	1,50
Distance (en m)	5	17	9	10	9	22	6

mesures de la distance en fonction du volume (5 bar)



### Observation et Interprétations des résultats :

- notre véhicule n'est pas assez stable, il ne parvient pas à suivre une direction précise. Il a heurté des obstacles plusieurs fois car il n'allait pas droit.
- Nos résultats ne nous permettent pas de valider notre hypothèse car nous ne pouvons pas connaître la distance qu'aurait parcourue la voiture si elle était allée tout droit.

### **C) Axe de progression : choix d'un autre type de véhicule**

Pour pouvoir tester correctement nos hypothèses, il nous faut un véhicule qui puisse

répondre à notre problématique de départ : suivre une direction précise et conserver un contact physique constant avec un environnement solide. Nous avons fait une liste de véhicule existant déjà et nous avons essayé de choisir lequel pourrait convenir.

Véhicule	Suivre une direction précise	Maintenir un contact physique avec un environnement solide
Avion	OUI	NON
Canoë Kayak	NON	NON
Train	OUI	OUI
Voiture	OUI	OUI
Sous-marin	OUI	NON
Hélicoptère	OUI	NON
Téléphérique	OUI	OUI

Nous avons tout d'abord éliminé la voiture car celle que nous avons réalisée ne nous convenait pas. Nous avons ensuite éliminé l'avion et l'hélicoptère car ils sont trop dangereux (risque de chute). Nous avons aussi enlevé les véhicules qui vont sur ou dans l'eau (canoë, sous-marin) parce que nous n'avons pas de piscine disponible pour les tester.

Le train aurait pu être un bon choix. Mais il aurait fallu installer des rails quelque part et pouvoir les enlever à chaque expérience. Ça nous aurait pris trop de temps.

Il reste donc le téléphérique. C'était possible car nous avons déjà du fil à linge pour faire le câble (60m). Nous avons donc choisi de construire un téléphérique à propulsion hydraulique (TPH).

### III. Deuxième véhicule : le téléphérique à propulsion hydraulique

Remarque : nous l'appelons TPH1 pour le différencier du TPH2 que nous avons construit ensuite.

#### A) Description du TPH1

Le TPH1 se compose d'une armature en bois de forme triangulaire. Nous avons choisi cette forme pour pouvoir pencher la bouteille et mettre l'eau en dessous de l'air (comme expliqué avec le VPH). Nous avons pris du bois pour le construire car c'est un matériau facile à travailler (scier, percer) et qui ne coûte pas trop cher. Pour rouler sur le câble, nous avons vissé deux poulies métalliques, une à l'avant du triangle et l'autre à l'arrière.

Notre câble mesure 60 mètres : c'est un câble avec des torons métalliques (2mm) recouvert d'une gaine en plastique. Nous l'accrochons sur des arbres ou des poteaux en ciment à environ 1m40 au-dessus du sol. Nous essayons de le tendre le plus possible sans trop tirer dessus.



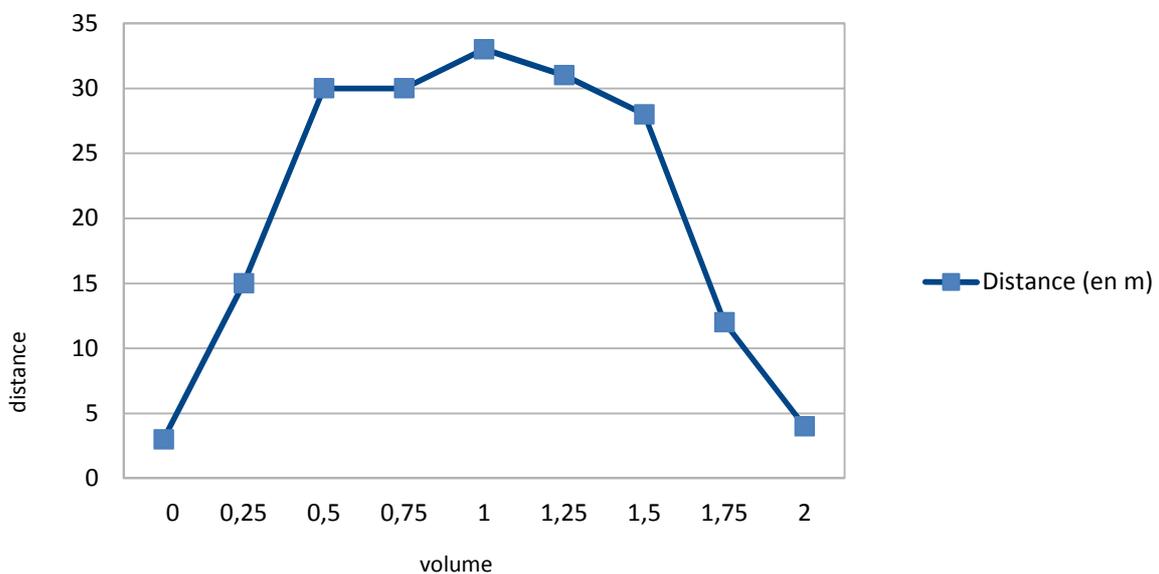
#### B) Expérience 1 : distance parcourue en fonction du volume d'eau (à 4 Bar)

**Notre hypothèse** : (nous avons conservé la première hypothèse que nous souhaitons testée avec le VPH) : si on augmente l'eau, la distance va augmenter jusqu'à ce que la pression ne soit plus suffisante pour pousser le poids de l'eau.

Remarque : pour cette première expérience, nous avons maintenu une pression constante de 4 Bar.

### Les résultats de l'expérience :

Volume (en l)	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
Distance (en m)	3	15	30	30	33	31	28	12	4



### **Observation et interprétations des résultats :**

– la courbe obtenue peut être découpée en trois phases : de 0 à 0,5 L, la distance **augmente** progressivement. De 0,5 à 1,5 L, la distance **stagne** avec un maximum pour 1 L. De 1,5 à 2 L, la distance **diminue** progressivement. Ces résultats semblent confirmer notre hypothèse : lorsqu'on augmente la quantité d'eau, la distance parcourue augmente aussi. C'est vrai jusqu'à une distance maximale (33 mètres pour 1 litre). Ensuite le TPH1 va moins loin. Nous pensons que c'est lié au poids de l'eau qui devient trop important par rapport à la pression.

– Le maximum est obtenu avec un volume proche de 1L, donc environ 50% du volume de la bouteille.

– À 0 L, le TPH1 est propulsé à 3 mètres. C'est le résultat de la force exercée par la pression de l'air. C'est la même force que celle qui propulsait la bouteille pour

la première expérience.

– A 2 L, le TPH1 est propulsé à 4 mètres. C'est étonnant car normalement il n'y a pas d'air comprimé dans la bouteille donc le TPH1 ne devrait pas avancer. Nous pensons que l'air provient du tuyau d'arrosage entre la pompe et la bouteille. Lorsque nous pompons, cet air remonte dans la bouteille et est comprimé ensuite, ce qui permet au TPH1 d'avancer sur quelques mètres.

### Hypothèse de travail futur

- faire la même expérience avec une pression supérieure pour vérifier trois choses :
  - si la distance augmente avec une pression supérieure
  - si la distance évolue de la même manière avec l'augmentation du volume d'eau
  - si le maximum est atteint avec 50% d'eau dans la bouteille



### C) Expérience 2 : distance parcourue en fonction du volume d'eau (à 8 Bar)

Première hypothèse : l'évolution de la distance en fonction du volume d'eau ressemblera à celle observée lors de la première expérience.

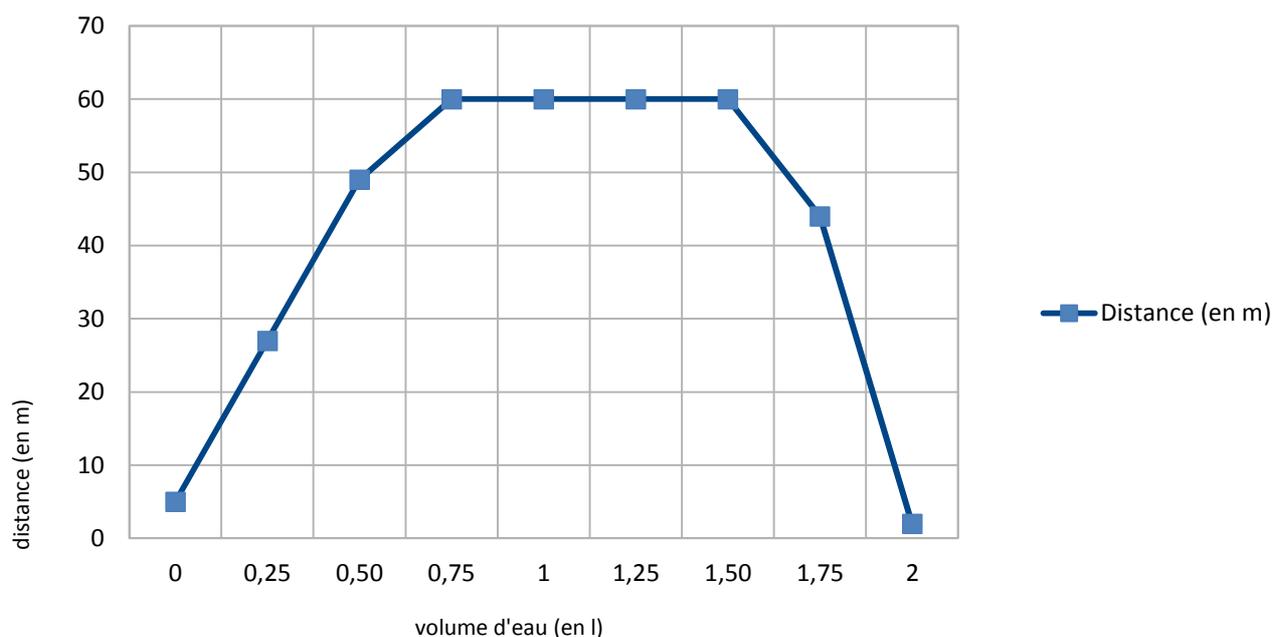
Deuxième hypothèse : le maximum sera obtenue avec un volume d'eau proche de 50% du volume total de la bouteille.

Troisième hypothèse : si on augmente la pression et qu'on conserve le même volume d'eau, la distance parcourue est plus grande.

#### Les résultats de l'expérience :

Volume d'eau (en l)	0	0,25	0,50	0,75	1	1,25	1,50	1,75	2
Distance (en m)	5	27	49	60	60	60	60	44	2

mesures de la distance en fonction du volume(8 bar)



Remarque : tous les résultats obtenus à 60m ne sont pas justes puisque c'est la

longueur maximum de câble dont nous disposons. A chacun de ces tests, le TPH1 a touché l'arbre sur lequel est attaché notre câble. On peut donc penser que le TPH1 aurait été plus loin avec un câble plus long.

**Observation et interprétation pour la première hypothèse** : la courbe obtenue peut encore être découpée en trois phases : de 0 à 0,5 L, la distance **augmente** progressivement. De 0,5 à 1,5 L, la distance **stagne** avec un maximum obtenu entre 1L et 1,25L. De 1,5 à 2 L, la distance **diminue** rapidement. Ces résultats semblent encore confirmer notre hypothèse : lorsqu'on augmente la quantité d'eau, la distance augmente dans un premier temps. Ensuite le volume d'eau est trop important par rapport au volume d'air qui peut être comprimé dans la bouteille.

**Observation et interprétation pour la deuxième hypothèse** : la courbe n'est pas très fiable car le câble n'est pas assez long. Mais nous pouvons penser que la distance maximale que nous aurions pu atteindre correspondrait à un volume proche de 1L ou 1,25L. Dans le cas de notre téléphérique, il faut donc remplir d'eau entre 50 et 60% du volume total de la bouteille. Ajouter plus d'eau ne sert à rien sauf à gaspiller de l'eau.

**Observation et interprétation pour la troisième hypothèse** :

Remarque : en bleu, les tests où la distance est plus grande avec une plus grande pression. En jaune, les tests où la distance est plus petite avec une plus grande pression

Volume (en l)	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
Distance (en m) à 4 Bar	3	15	30	30	33	31	28	12	4
Distance (en m) à 8 Bar	5	27	49	60	60	60	60	44	2
Écart	2	12	19	30	27	29	32	32	-2

Ce tableau nous permet de constater que la distance parcourue est presque toujours plus grande si on augmente la pression dans la bouteille, exceptée pour la dernière mesure. Cette mesure n'est pas fiable puisque nous avons déjà vu que normalement il n'y a pas d'air dans la bouteille avec 2 L d'eau.

D) **Conclusions des expériences menées avec le TPH1** :

Pour que notre véhicule aille le plus loin possible, il faut :

- comprimer l'air au maximum (8 Bar)
- choisir un volume d'eau approprié (entre 50 et 60 % du volume total de la bouteille soit 1L d'eau pour une bouteille de 2L)

### **E) Présentation de notre TPH1 et pistes de réflexion.**

Le Jeudi 11 Décembre, nous avons présenté notre véhicule à Messieurs Gilles Charles et Stéphane Pellerin, tous deux enseignants-chercheurs à la Faculté des Sciences de Bourges. Ils venaient pour observer nos expérimentations et discuter avec nous pour imaginer des pistes d'amélioration en lien avec la problématique énoncée.

#### Pistes d'amélioration évoquées par les élèves et les scientifiques :

- diminuer le poids du TPH (idée de Nycolas) : utiliser une structure fabriquée avec une autre matière que le bois.
- changer l'orientation de la bouteille (idée de Kévin) : L'observation d'un cliché pris au départ du TPH1 montre que celui ci se déplace vers l'avant mais également vers le haut. Notre câble étant tendu à l'horizontale, nous n'avons pas besoin que le TPH1 aille vers le haut. M. Charles a confirmé l'intérêt de l'idée de Kevin en expliquant que la pression de l'eau serait suffisante pour entraîner l'eau hors de la bouteille même si l'eau n'était pas située entre l'air et le goulot.



- aménager une base de départ : pour favoriser la poussée de l'eau dessus, pour

permettre un déclenchement plus sécurisé (idée de G. Charles)

- utiliser un clapet anti-retour pour éviter que l'eau ne revienne dans le tuyau d'arrosage (idée de G. Charles)
- utiliser des roulements plus performants que les poulies simples utilisées actuellement (idée de Kevin) pour limiter les frottements
- augmenter la taille du réservoir (idée d'Adrien et de S. Pellerin).



### **III. Troisième véhicule : le téléphérique à propulsion hydraulique (2ème version)**

Par manque de temps et d'argent, nous n'avons pas pu essayer toutes les pistes d'amélioration qui ont été listées dans la partie précédente. Nous en avons retenues trois :

- diminuer le poids du TPH
- changer l'orientation de la bouteille
- changer les poulies

Il aurait mieux fallu tester chacune des idées l'une après l'autre pour pouvoir vérifier si elles étaient bonnes ou non. Mais nous n'avons pas eu le temps de construire trois téléphériques (un plus léger, un avec des roulements et un avec la bouteille à l'horizontale) pour les comparer avec le TPH1. Nous n'avons pas pu faire toutes les expériences aussi à cause du temps (pluie, froid).

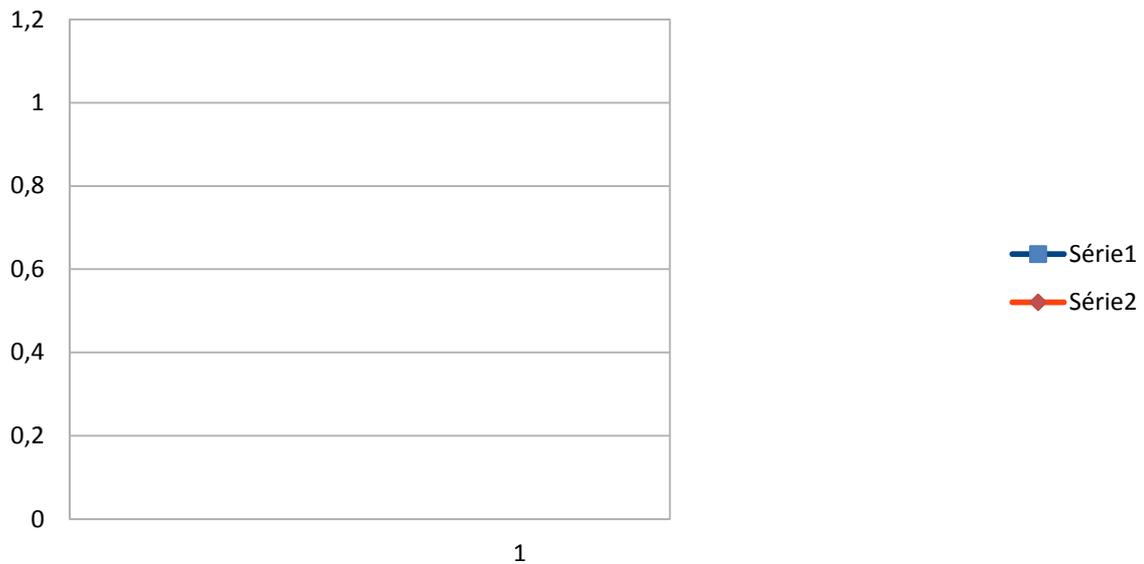
#### **A) Description du TPH2**

L'armature du TPH2 a été construite avec des tubes d'aluminium car ils sont plus légers que le bois. Les poulies métalliques ont été remplacées par des gorges en plastique dans lesquelles nous avons mis des roulements à billes de roller. Nous avons aussi attaché la bouteille à l'horizontale sur les barres d'aluminium.

Nous avons aussi mis quatre gorges de poulies : deux à l'avant et deux à l'arrière. Les poulies qui sont proches sont placées l'une au dessus de l'autre pour éviter que le câble sorte et frotte sur l'armature.







Paramètres testés	TPH1	TPH2
Distance parcourue sans eau à 8 Bar	5m	26m
Quantité d'eau minimale nécessaire pour parcourir 60m à 8 Bar	0,75 L	0,25 L
Pression minimale nécessaire pour parcourir 60m avec 1 L d'eau	7 Bar	4 Bar
Meilleure vitesse moyenne sur 60m	53 Km/h	78 Km/h

### C) Interprétation des résultats et conclusion :

Les performances du TPH2 sont bien meilleures que celles du TPH1 :

- il permet d'économiser de l'eau pour atteindre une distance donnée
- il permet d'économiser de l'énergie pour atteindre une distance donnée
- il atteint une vitesse supérieure avec une même quantité d'eau et d'énergie.

Ces résultats permettent de valider l'efficacité des améliorations apportées au Tph2 par rapport au TPH1.